

Estudio de Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental para la Implementación de un Sistema Solar Fotovoltaico en la Agropecuaria La Milagrosa, San Diego, Cesar.

**Andrés Manosalva Rodríguez
Diego Yezid Florián Lozano
Saul Fernando Moreno Moreno**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Magister en Administración de Empresas

Director (a):
Johana Moreno Ceballos

Modalidad:
Innovación organizacional
“Business case”

Universidad EAN
Facultad
Programa
Bogotá , Colombia
30 de abril de 2025

Contenido

Resumen ejecutivo	5
Propuesta de valor única.....	8
Resultados clave esperados	9
Objetivos y alineación estratégica.....	11
<i>Objetivo general</i>	<i>11</i>
<i>Objetivos específicos</i>	<i>11</i>
1 Contexto y desafío de innovación.....	12
1.1 <i>Análisis del ecosistema de innovación del sector y de la solución propuesta</i>	<i>12</i>
1.2 <i>Entendimiento de las necesidades del área y/o unidad de negocio (Diagnóstico interno).....</i>	<i>15</i>
1.3 <i>Mapa de empatía del cliente/usuario.....</i>	<i>17</i>
1.4 <i>Definición del problema utilizando "How Might We" (HMW)</i>	<i>18</i>
2 Solución Innovadora	23
2.1 <i>Descripción de la solución (storyboard)</i>	<i>26</i>
2.2 <i>Prototipo conceptual (imágenes o modelo 3D)</i>	<i>27</i>
2.3 <i>Propuesta de experiencia del usuario (journey map).....</i>	<i>30</i>
3 Análisis de mercado y competencia	31
3.1 <i>Mapa de posicionamiento de innovación.....</i>	<i>31</i>
4 Plan de implementación bajo metodologías ágiles.....	34
4.1 <i>Roadmap de innovación.....</i>	<i>34</i>
4.2 <i>Metodología de desarrollo.....</i>	<i>35</i>
4.2.1 <i>Design Sprint</i>	<i>35</i>
4.2.2 <i>Lean Startup</i>	<i>35</i>
4.2.3 <i>Scrum / Sprints de Ingeniería</i>	<i>36</i>
4.3 <i>Equipo y recursos necesarios</i>	<i>36</i>
5 Análisis Financiero y de Impacto.....	37
6 Gestión de riesgos y oportunidades	47

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

6.1	<i>Matriz de riesgos y estrategias de mitigación</i>	47
7	Métricas de éxito y KPIs de Innovación	49
7.1	<i>OKRs (Objectives and Key Results) del Proyecto</i>	49
7.2	<i>Métricas de innovación (ej. tasa de adopción, NPS)</i>	51
7.3	<i>Plan de medición y evaluación continua</i>	54
8	Plan de gestión del cambio y adopción	56
8.1	<i>Estrategia de comunicación interna y externa</i>	56
8.2	<i>Plan de capacitación y desarrollo de competencias</i>	57
8.3	<i>Cultura de innovación y mejora continua</i>	58
9	Conclusiones y próximos pasos	59
9.1	<i>Resumen de puntos clave</i>	59
10	Bibliografía	61

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.	16
Figura 2.	18
Figura 3.	27
Figura 4.	28
Figura 5.	29
Figura 6.	30
Figura 7.	31
Figura 8.	48
Figura 9.	48

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.	15
Tabla 2.	19
Tabla 3.	21
Tabla 4.	22
Tabla 5.	33
Tabla 6.	34
Tabla 7.	36
Tabla 8.	38
Tabla 9.	39
Tabla 10.....	39
Tabla 11	41
Tabla 12.....	41
Tabla 13.....	42
Tabla 14.....	43
Tabla 15.....	43
Tabla 16.....	51
Tabla 17.....	54
Tabla 18.....	55
Tabla 19.....	55
Tabla 20.....	55
Tabla 21.....	56
Tabla 22.....	57

Resumen ejecutivo

La acuicultura también es uno de los sectores de suministro de alimentos del mundo que más rápidamente se está expandiendo. La producción en kit de ambas especies de peces criadas en Colombia representa aproximadamente el 2 % de la producción total de la acuicultura en 2020 (FAO, 2022).

Dentro del departamento del Cesar, la acuicultura se ha convertido en una alternativa productiva importante y ahora se considera una actividad competitiva que complementa la ganadería y la agricultura tradicional, contribuyendo al desarrollo socioeconómico de la región (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). Sin embargo, el consumo de energía, principalmente por bombas y sistemas de aireación, puede representar hasta el 40 % de los gastos operativos de la piscifactoría, con graves consecuencias para su sostenibilidad financiera y ambiental (Timmons & Ebeling, 2012).

Con este fin, la adopción de energías renovables, específicamente la solar fotovoltaica (PV), ha surgido como una medida eficaz para la reducción de costos y compensación de carbono. El Atlas de Radiación Solar del IDEAM (IDEAM, 2017) en Colombia registra un promedio de 4,8 kWh/m² por día para San Diego, Cesar, suficiente para un sistema de 300 kWp que representa más de 1.200 kWh para el día con una eficiencia del 80 %. No obstante, también son escasas las investigaciones rigurosas sobre la viabilidad técnica, económica y ambiental de estos proyectos en la práctica de la industria acuícola en Colombia, generando incertidumbres sobre la inversión inicial y el período de recuperación (IRENA, 2022).

Este trabajo pretende cubrir ese vacío analizando la viabilidad técnica, económica y financiera del sistema solar fotovoltaico en la Agropecuaria La Milagrosa, ubicada en San Diego, Cesar. Se combinarán durante la evaluación metodologías de ingeniería fotovoltaica, evaluación financiera con flujos de caja descontados (tasa de descuento del 8 % según previsión de la IEA) (IEA, 2023) y análisis ambiental en relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 7 y 13). Esto conducirá a un conocimiento práctico que se utilizará para establecer las bases operativas y financieras para que la piscifactoría sea sostenible y escalable a otras industrias agropecuarias de la región.

Visión general del proyecto

Este estudio se basa en un "caso de negocio" de una innovación organizativa cuyo propósito es utilizar un análisis sistemático para demostrar que invertir en un sistema solar fotovoltaico de 300 kWp en Agropecuaria La Milagrosa (ubicada en San Diego, Cesar) es técnica, económica y ambientalmente viable. Para ello, el procedimiento consistirá en cinco etapas:

i. Caracterización del consumo y recurso solar

Curva de carga: Se monitorizará y perfilará el perfil de consumo horario relacionado con el bombeo y la aireación de los estanques, que hasta la fecha representa hasta el 40 % de los costos operativos.

Información climatológica: Disponibilidad de irradiación solar con un promedio de 4,8 kWh/m²·día para el lugar, determinado según registros de radiaciones solares del IDEAM (IDEAM, 2017).

ii. Tamaño y diseño del sistema

Cálculo de potencia: La demanda diaria (≈ 1.200 kWh) y la eficiencia (80 %) con el cálculo de la potencia pico requerida se computará usando

$$P_{instalada} = \frac{1200KWh}{\frac{4,8h}{día} * 0,80} \approx 312,5KWp$$

Componente: Se utilizarán 625 módulos monocristalinos de alta eficiencia en combinación con los inversores adecuados y baterías de respaldo para permitir un suministro eléctrico ininterrumpido.

iii. Modelización financiera

Flujos de caja descontados: Con una tasa de descuento del 8 % (IEA, 2023), se calculará la inversión de capital inicial, el coste operativo anual y el ahorro energético, obteniéndose los principales parámetros clave (VAN, TIR y período de recuperación).

Escenarios de sensibilidad: Se evaluará el efecto de los cambios en el precio de la electricidad y la insolación para caracterizar los riesgos y oportunidades.

iv. Evaluación de beneficios para el medioambiente

Reducción de emisiones: El ahorro de emisiones por año se calculará con 1 kg CO₂/kWh de la red colombiana.

Alineación con los ODS: Se informarán las contribuciones a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 7 (energía limpia) y 13 (acción climática).

v. Programa de implementación y gestión del cambio

Hoja de ruta híbrida: Un cronograma que refleja la implementación de prácticas PMBOK con sprints ágiles (Design Sprint, Scrum), roles y plazos asociados.

Capacitación y comunicación: Se elaborará un programa de formación para el personal de operaciones y una estrategia de comunicación interna para asegurar que el nuevo sistema sea aceptado y utilizado adecuadamente.

Mediante la adición de datos empíricos de consumo, modelos financieros en profundidad y la aplicación de una gestión del cambio sólida, el proyecto no solo validará la viabilidad del sistema solar fotovoltaico en La Milagrosa, sino que creará un modelo escalable aplicable a otras unidades productivas de la región.

Propuesta de valor única

La introducción del sistema solar fotovoltaico de 300 kWp en Agropecuaria La Milagrosa representa una solución integrada que trasciende el suministro de energía, reduce costos y ofrece independencia operativa, mientras contribuye a la sostenibilidad ambiental y reputacional, y genera una ventaja competitiva sostenible en la industria de la acuicultura.

Ahorros operativos inmediatos y sostenibles: Se ahorra hasta el 70% de la factura eléctrica (alrededor de 256 millones de COP al año) gracias a la autogeneración de energía limpia, lo que tiene el efecto de cancelar la inversión en menos de 3 años (con VAN positivo de 1.895 MM de COP durante 25 años y TIR superior al 30%).

Autonomía y confiabilidad ininterrumpidas: Combinado con baterías de emergencia y control en todo momento, proporciona suministro de energía las 24 horas para los sistemas de bombeo y aireación, y puede reducir los riesgos de interrupción y el número de peces muertos (Timmons & Ebeling, 2012).

Imagen sostenible y acceso al mercado: Alinea la granja con los ODS 7 y 13, mitigando más de 170 toneladas de CO₂ al año (IDEAM, 2017) y fortalece la reputación de La Milagrosa como empresa verde con clientes, certificadores y financieros.

Son replicables: El "caso de negocio" describe un modelo modular y adaptable que puede incorporarse a otras granjas y unidades productivas de la región, lo que permite estandarizar el proceso y propiciar una rápida expansión de la generación solar en este sector.

Esta propuesta de valor distintiva combina lo cuantitativo (ahorros, rendimiento financiero), lo cualitativo (reputación o sostenibilidad) y lo estratégico (autonomía o escalabilidad) para convertir la operación de La Milagrosa en un referente en términos de innovación energética en la acuicultura colombiana.

Resultados clave esperados

A. Generación Renovable

- 1 año de generación de energía \approx 440 MWh de energía limpia y cubre el 100% de la necesidad diaria de energía actual: 1,200 kWh/día.

B. Ahorros Económicos

- La factura de electricidad se reduce en un 70% y con un ahorro neto anual de \approx 256 millones COP.
- Retorno de inversión en menos de 3 años (2.96 años) con un VAN de \approx millones COP en 25 años y una TIR superior al 30%.

C. Impacto Ambiental

- Se evita la emisión de más de 170 tCO₂/año (factor de emisión de 1 kg CO₂/kWh de la red

colombiana) a kg/año.

- Relevancia directa para el ODS 7 (energía asequible y limpia) y el ODS 13 (acción por el clima).

D. Fiabilidad Operativa

- El sistema es capaz de proporcionar energía continua 24/7 para bombeo y aireación con una disponibilidad del sistema superior al 98% debido al respaldo de baterías y monitoreo en tiempo real (Timmons & Ebeling, 2013).

E. Construcción de Reputación y Entrada al Mercado

- Obtención de certificaciones "verdes" (ISO 14001, Etiqueta de Energía Renovable) tras el primer año de actividad.
- Imagen mejorada con consumidores y reguladores, otorgando acceso a créditos verdes e incentivos gubernamentales.

F. Replicabilidad y Escalabilidad

- Otros investigadores o comunidades de investigación también querrían responder las mismas preguntas (en diferentes conjuntos de datos).
- Elaboración de un kit técnico y un mapa de ruta de documentación para facilitar la copia de dicho sistema para su inclusión en al menos otras 3 granjas de la región en los próximos 2 años.
- Expectativa de un crecimiento del 50% en la capacidad instalada en los primeros 5 años.

G. Desarrollo de Capacidad Doméstica

- Capacitación de un mínimo de 10 técnicos locales en operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, incluyendo un certificado para el programa de capacitación.

- Establecimiento de un comité interno de sostenibilidad para revisar indicadores de energía y medio ambiente trimestralmente.

H. Monitoreo y Responsabilidad

- Creación de un sitio web interno de monitoreo con KPIs (kWh generados, ahorros, emisiones evitadas, disponibilidad) e informes trimestrales a la alta dirección. Estos datos permitirán a Agropecuaria La Milagrosa satisfacer sus propias necesidades energéticas de una manera limpia y rentable, y también la convertirán en un ejemplo de innovación y "agricultura verde" en la acuicultura colombiana.

Objetivos y alineación estratégica

Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de la implementación de un sistema solar fotovoltaico en la Piscícola La Milagrosa, ubicada en el municipio de San Diego, Cesar, con el fin de reducir los costos energéticos, garantizar la sostenibilidad del suministro eléctrico, promover las buenas prácticas en piscicultura y validar la aceptación del proyecto con las partes interesadas.

Objetivos específicos

- Explorar el rol de la energía eléctrica en las actividades de piscicultura, identificando los principales procesos que requieren energía y su impacto en la eficiencia productiva, la calidad del agua y la sostenibilidad en Agropecuaria La Milagrosa.
- Analizar los requerimientos energéticos de los principales procesos de la piscicultura y Determinar la capacidad del sistema fotovoltaico considerando el consumo

energético actual, las condiciones climáticas de San Diego, Cesar de la Piscola La Milagrosa.

- Analizar la viabilidad económica y el retorno de inversión (ROI) del Proyecto.
- Evaluar la alineación del proyecto con las políticas ambientales locales, nacionales e internacionales, y su contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- Analizar cómo la adopción de energía renovable fortalece la imagen corporativa de Agropecuaria La Milagrosa y mejora su posicionamiento en mercados sostenibles
- Evaluar los beneficios del proyecto para los clientes, incluyendo la mejora de la calidad del producto, la estabilidad en el suministro y la trazabilidad sostenible.
- Proponer un plan de acción para la implementación del sistema solar fotovoltaico, diseñar un plan de acción detallado que incluya las fases de planificación, adquisición, instalación, monitoreo y mantenimiento, asegurando la sostenibilidad operativa y económica del sistema a lo largo del tiempo.

1 Contexto y desafío de innovación

1.1 Análisis del ecosistema de innovación del sector y de la solución propuesta

La piscicultura en el municipio de San Diego, Cesar, se ha convertido en una actividad económica relevante, complementando las prácticas agropecuarias tradicionales de la región. "Si bien la ganadería y la agricultura han sido tradicionalmente las actividades económicas principales, en los últimos años la piscicultura ha cobrado mayor relevancia, alcanzando una producción de 11.248 toneladas en 2022 y mostrando un crecimiento anual promedio del 10,5 % durante los últimos años." (DANE, 2022). Especies como la cachama negra y blanca,

híbridos de cachama, y la mojarra roja y plateada se cultivan en estanques que varían entre 6.000 y 8.000 m² (Timmons & Ebeling, 2012). La adopción de tecnologías innovadoras, como los sistemas de recirculación acuícola (RAS, por sus siglas en inglés) que pueden reutilizar hasta el 95 % del agua y reducir el consumo energético por kilo de pescado en un 40%, combinados con energías renovables y el uso de herramientas digitales para el monitoreo de parámetros críticos, ha sido limitada, pero su implementación está en crecimiento y cada día más presentes en la industria (Badiola, Basurko, Piedrahita, Hundley, & Mendiola, 2018). Un ejemplo destacado es la Piscícola La Milagrosa en San Diego, que implementa sistemas biofloc para optimizar la producción de tilapia y cachama, reduciendo hasta un 30 % el uso de agua y un 25 % la energía asociada al tratamiento del agua (Avnimelech, 2012) (Crab, Defoirdt, Bossier, & Verstraete, 2012). Además, iniciativas como la reproducción inducida de bocachico han permitido la entrega de 200.000 alevinos a más de 10 asociaciones en el Cesar, fortaleciendo la economía local y promoviendo prácticas sostenibles.

La colaboración entre agricultores, entidades gubernamentales y académicas es fundamental para fortalecer el ecosistema de innovación en la región. Programas de formación especializados han capacitado a más de 20 líderes del sector piscícola en la transformación de tilapia en productos de mayor valor agregado, como Nuggets y hamburguesas, diversificando la oferta y aumentando la competitividad; estas iniciativas reflejan una tendencia hacia la sostenibilidad y la transparencia en los procesos productivos, alineándose con las demandas del mercado actual (FAO, 2018).

La integración de tecnologías como el Internet de las Cosas y la automatización, aunque incipiente, tiene el potencial de mejorar la toma de decisiones, incrementar la eficiencia

operativa y elevar la calidad del producto final en la piscicultura de San Diego. La implementación de sensores para monitorear variables críticas en tiempo real temperatura, oxígeno disuelto y pH puede optimizar el manejo de los estanques, reducir costos y minimizar riesgos asociados a factores ambientales (Rastegari, Nadi, Lam, & Mhd, 2023). La digitalización y la adopción de prácticas sostenibles son pasos clave para consolidar la piscicultura como un sector estratégico en la economía local, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible de la región.

El estudio de viabilidad e implementación de un sistema solar fotovoltaico en la Agropecuaria La Milagrosa se alinea con las tendencias actuales de sostenibilidad y eficiencia energética en la piscicultura. En este sector, procesos como la aireación y el bombeo de agua representan hasta el 98% del consumo total de energía, especialmente durante la noche (Tacon & Metian, 2015). Al integrar energía solar apoyados en una irradiación promedio de 5,1 kWh/m²·día en Cesar (IDEAM, 2017) se pueden reducir significativamente los costos operativos, disminuyendo la dependencia de fuentes no renovables y mejorando la rentabilidad de la producción.

Sin embargo, la adopción de sistemas fotovoltaicos en la piscicultura enfrenta desafíos como la inversión inicial y la necesidad de capacitación técnica para su operación y mantenimiento. Un análisis preciso del retorno de inversión y la implementación de programas de formación basados en el Manual de Buenas Prácticas de la (FAO, 2018) y la Ley 1715 de 2014 serán esenciales para garantizar la viabilidad y el éxito a largo plazo de estas iniciativas. Al superar estos obstáculos, la Agropecuaria La Milagrosa no solo mejoraría su competitividad

en mercados nacionales e internacionales, sino que también contribuiría a un modelo de producción más eficiente, resiliente y alineado con los objetivos globales de sostenibilidad.

1.2 Entendimiento de las necesidades del área y/o unidad de negocio (Diagnóstico interno)

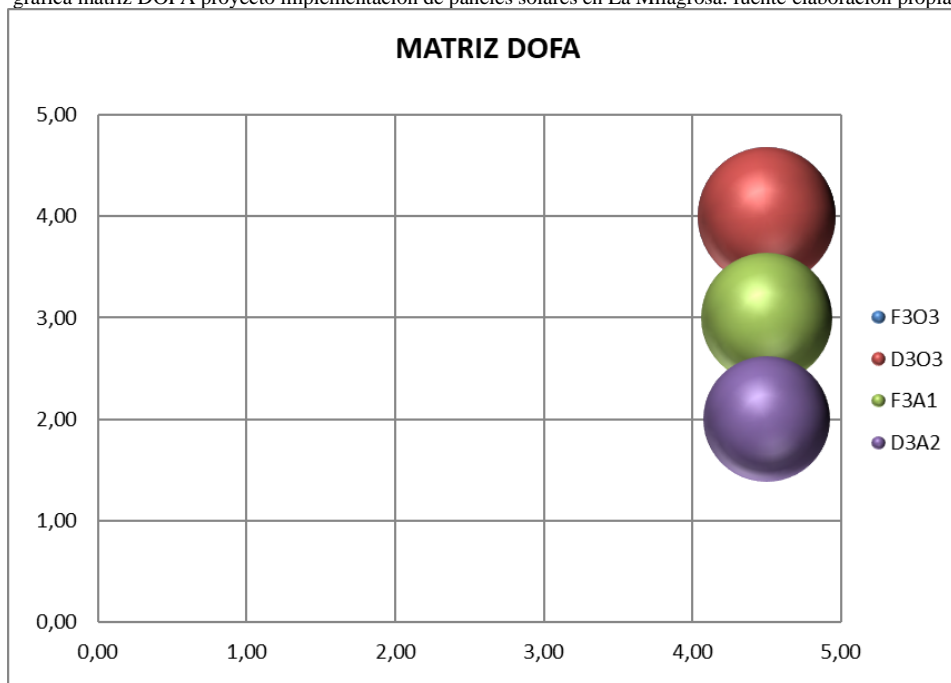
Para verificar las necesidades del proyecto se utiliza el análisis estratégico manejando la matriz DOFA. Posterior al análisis se seleccionaron las estrategias más influyentes que hacen parte de la solución.

Tabla 1.
matriz DOFA proyecto implementación de paneles solares en La Milagrosa. Fuente elaboración propia

ESTRATEGIA	ESTRATEGIAS FO	EXPLICACION
1	Implementar un sistema de monitoreo de cargas (sensores IoT + plataforma digital) para comparar perfil de consumo vs. energía solar generada.	Informe con curva de carga vs. generación, desviación aproximada $\leq 5\%$. Parámetro técnico indispensable para el posterior diseño eléctrico, teniendo en cuenta el consumo proyectado, tiempo de energización, entre otras variables.
	ESTRATEGIAS FA	
2	Realizar un estudio detallado de disponibilidad energética, incorporando datos de irradiación solar (IDEAM) y estimaciones de escenarios de falla de red.	El estudio tiene la finalidad de identificar la duración y la magnitud de la carga disponible del sistema, generando un Mapa de riesgo de cortes y plan de contingencia para picos nocturnos.
	ESTRATEGIAS DO	
3	Determinar cálculos de cargas para conocer disponibilidad de energía y Desarrollar un modelo de cálculo dinámico de cargas diario/semanal que valide oportunidades de optimización.	Conocer el requerimiento energético de conformidad con la oferta, para determinar la dinámica del proyecto y como puede expandirse según las necesidades de consumo.
	ESTRATEGIAS DA	
4	Ejecutar un análisis técnico-económico de sistemas de respaldo (baterías vs. generador diésel) para cubrir las horas sin generación solar.	Identificar las necesidades de trabajo energético en las noches para concluir su inversión fija y así determinar si es justificable la utilización de banco de baterías

Nota: Estructuración de estrategias a partir del análisis de matriz DOFA, realizada previamente.

Figura 1.
grafica matriz DOFA proyecto implementación de paneles solares en La Milagrosa. fuente elaboración propia



Nota: Esta grafica muestra que puntuaciones tiene las principales estrategias de acuerdo con la valoración realizada en el análisis, esto se realizó con el fin de determinar que estrategias eran las más impactantes y de esta manera como puede ser su implementación.

El análisis revela que, para maximizar el potencial de la Agropecuaria La Milagrosa, **las estrategias deben gestionarse de forma efectiva con métricas claras en términos de tiempos y KPIs**. Las oportunidades asociadas a la alta irradiación solar y las fortalezas tecnológicas **deben** explotarse mediante monitoreo continuo de cargas y estudios de disponibilidad que mitiguen el riesgo de picos nocturnos. Al mismo tiempo, las debilidades de datos e incertidumbre energética se convierten en catalizadores para adoptar IoT y modelos dinámicos de cálculo de demanda. Por último, la estrategia DA enfatiza la necesidad de un análisis técnico-económico riguroso de sistemas de respaldo, asegurando un retorno de inversión atractivo **y bien definido**. En conjunto, esta aproximación le otorga al proyecto un

rumbo táctico y medible, alineado con la sostenibilidad, la eficiencia operativa y la capacidad de maniobra, frente a fallas en el flujo eléctrico tercerizado.

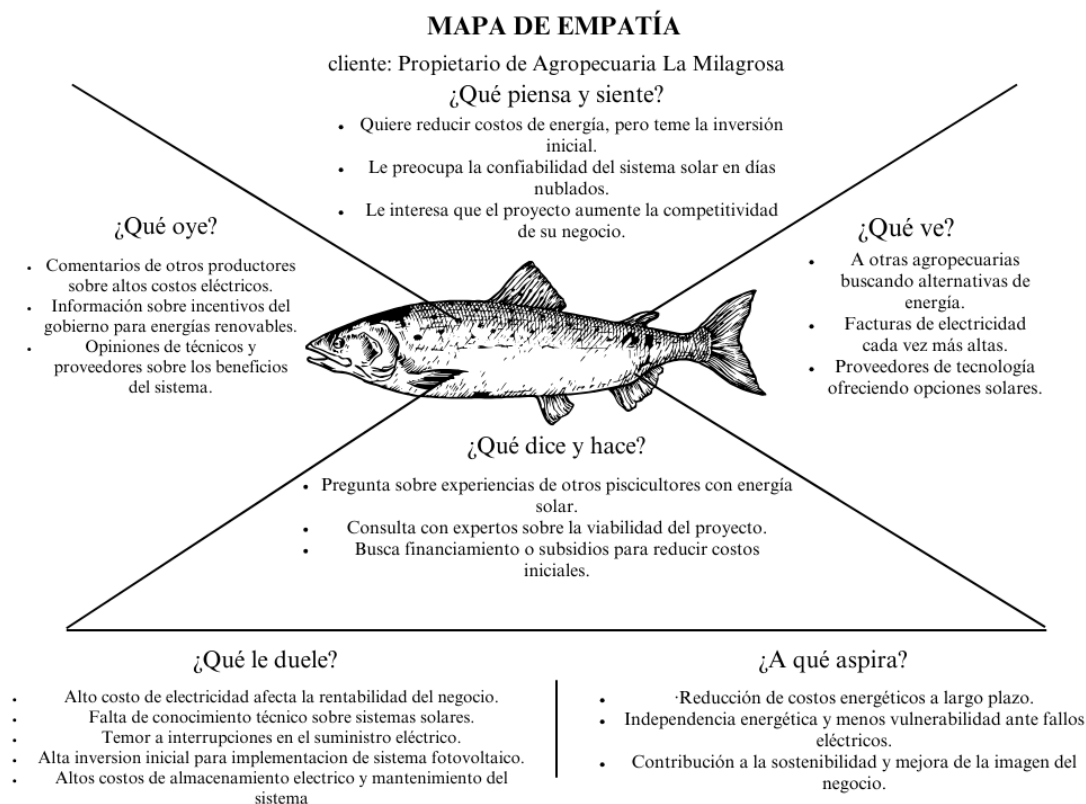
1.3 Mapa de empatía del cliente/usuario

La agropecuaria la milagrosa busca optimizar sus costos de producción y aumentar la competitividad, mediante una solución sostenible, con la implementación de un sistema solar fotovoltaico. Para dicha ejecución enfrenta barreras técnicas y financieras: la inversión inicial elevada y la incertidumbre en la generación durante condiciones meteorológicas adversas. Para conocer la incertidumbre que enfrenta el cliente se desarrolló una encuesta (ANEXO 1) que dio como resultado un mapa de empatía el cual usaremos de base para atacar las dolencias del cliente y generar una solución efectiva que ataque de la manera más óptima el problema, usando los recursos mínimos.

De este modo, las inquietudes sobre costos y confiabilidad se convierten en confianza operativa, traducida en reducción sostenida de la factura eléctrica, mayor resiliencia ante cortes y un retorno de inversión claro que respalde la apuesta por la energía renovable.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Figura 2.
Mapa de empatía. Fuente elaboración propia



Nota: Este mapa de empatía sintetiza las motivaciones, preocupaciones y aspiraciones del propietario de Agropecuaria La Milagrosa en relación con la adopción de un sistema solar fotovoltaico. Divide la experiencia en seis cuadrantes; qué piensa y siente, qué oye, qué ve, qué dice y hace, qué le duele y a qué aspira, para guiar el diseño de propuestas de valor que reduzcan sus miedos (inversión inicial, confiabilidad) y potencie sus expectativas (ahorro de costos, sostenibilidad y competitividad).

1.4 Definición del problema utilizando "How Might We" (HMW)

Reformulación del problema en forma de pregunta "¿Cómo podríamos...?"

A partir del diagnóstico preliminar sobre el alto costo energético, la necesidad de sostenibilidad operativa y las oportunidades de mejora en la eficiencia productiva de la Piscícola La Milagrosa, se han generado diferentes versiones de la pregunta "How Might We" (¿Cómo podríamos?) para explorar el problema desde diversos ángulos: Múltiples versiones de HMW para explorar diferentes ángulos:

A. ¿Cómo podríamos reducir los costos energéticos en la Piscícola La Milagrosa mediante el uso de energías renovables?

B. ¿Cómo podríamos garantizar un suministro eléctrico sostenible y continuo para las actividades de piscicultura en La Milagrosa?

C. ¿Cómo podríamos mejorar la eficiencia productiva de la piscicultura a través de soluciones energéticas limpias y sostenibles?

D. ¿Cómo podríamos implementar un sistema solar fotovoltaico que sea técnica, económica y ambientalmente viable en la Piscícola La Milagrosa?

E. ¿Cómo podríamos fortalecer la sostenibilidad y el posicionamiento comercial de la Piscícola La Milagrosa mediante el uso de energía solar?

F. ¿Cómo podríamos promover buenas prácticas ambientales y sostenibles en la piscicultura mediante la transición energética?

G. ¿Cómo podríamos asegurar la trazabilidad sostenible del producto piscícola usando fuentes de energía renovable?

Criterios para seleccionar el HMW final:

Tabla 2.
criterios para la selección del HMW final. Fuente elaboración propia

Criterio	Evaluación
Amplitud	Ni muy genérico ni demasiado específico
Inspirador y orientado a la acción	Permite generar soluciones innovadoras
Centrado en el usuario	Enfocado en las necesidades de La Milagrosa
Alineado con los objetivos del negocio	Compatible con sostenibilidad, rentabilidad y posicionamiento

Nota: en la tabla se presentan los cuatro criterios clave para escoger la formulación final de la pregunta “How Might We” (HMW); amplitud, capacidad de inspirar acción, enfoque en el usuario y alineación con los objetivos del negocio, junto con la evaluación de cada uno, garantizando que la pregunta resultante sea lo suficientemente concreta, motive la innovación, responda a las necesidades de La Milagrosa y refuerce la sostenibilidad, rentabilidad y posicionamiento de la agropecuaria.

HMW final seleccionado:

¿Cómo podríamos implementar un sistema solar fotovoltaico técnica, económica y ambientalmente viable en la Piscícola La Milagrosa, que garantice un suministro energético sostenible, reduzca costos operativos y fortalezca su posicionamiento comercial?

por qué se seleccionó:

Esta formulación permite abordar el problema de manera integral, incluye los tres enfoques de evaluación (técnico, económico y ambiental), se orienta a la acción concreta (implementación del sistema), mantiene el foco en el usuario (Piscícola La Milagrosa) y está totalmente alineada con los objetivos del estudio y con el propósito estratégico del negocio.

Subproblemas o áreas de oportunidad derivados del HMW principal:

- Área Técnica: ¿Qué tecnologías solares son las más adecuadas para las condiciones climáticas de San Diego, Cesar?
- Área Económica: ¿Cuál es la relación costo-beneficio y el retorno de inversión esperado?
- Área Ambiental: ¿Qué impacto positivo puede tener la adopción del sistema solar sobre el entorno y el cumplimiento de políticas ambientales?
- Área Operacional: ¿Qué fases y recursos se requieren para una implementación efectiva y sostenible en el tiempo?
- Área Social y Comercial: ¿Cómo se percibe el proyecto por parte de las partes interesadas y qué valor agregado aporta al posicionamiento de la piscícola?

Desarrollo de Subproblemas y Preguntas de Investigación Secundarias

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Tabla 3.
desarrollo de subproblemas y preguntas de investigación. Fuente elaboración propia

Subproblema / Área de oportunidad	Pregunta de investigación secundaria
1. Área Técnica (Viabilidad técnica del sistema fotovoltaico en función de las condiciones climáticas y requerimientos energéticos)	¿Qué tipo de tecnología fotovoltaica es más adecuada para satisfacer las necesidades energéticas de la Piscícola La Milagrosa, considerando el perfil de consumo y las condiciones climáticas de San Diego, Cesar?
2. Área Económica (Costo-beneficio y retorno de inversión del proyecto)	¿Cuál es el costo total de implementación del sistema solar fotovoltaico y cuál es el retorno esperado de la inversión (ROI) en función del ahorro en los costos energéticos actuales?
3. Área Ambiental (Impacto ambiental positivo y cumplimiento normativo)	¿Cómo contribuye la implementación del sistema solar fotovoltaico al cumplimiento de las políticas ambientales locales, nacionales e internacionales y a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)?
4. Área Operacional (Factibilidad y sostenibilidad operativa del sistema)	¿Qué plan de acción y qué recursos se requieren para asegurar una implementación exitosa del sistema fotovoltaico, su mantenimiento y monitoreo a largo plazo?
5. Área Social y Comercial (Percepción de las partes interesadas y valor estratégico)	¿Cómo perciben las partes interesadas (clientes, comunidad, autoridades ambientales) la transición energética y de qué manera esta puede fortalecer la imagen corporativa y el posicionamiento sostenible de La Milagrosa en el mercado piscícola?

Nota: La tabla desglosa el reto principal en cinco áreas de oportunidad; técnica, económica, ambiental, operacional y social/comercial, además asocia a cada una con una pregunta de investigación secundaria. De este modo, se asegura un enfoque integral que cubre desde la selección de la tecnología fotovoltaica óptima y el análisis de costos y retorno de inversión, hasta el impacto ambiental, la factibilidad operativa y la percepción de los grupos de interés, garantizando así una evaluación exhaustiva y alineada con los objetivos de Agropecuaria La Milagrosa.

Justificación del Problema

La piscicultura, como actividad productiva en crecimiento, enfrenta desafíos asociados al suministro energético confiable, eficiente y ambientalmente sostenible. En el caso de la Piscícola La Milagrosa, ubicada en San Diego, Cesar, el consumo de energía eléctrica representa uno de los costos operativos más significativos, afectando directamente la rentabilidad y sostenibilidad del negocio.

El presente proyecto busca dar respuesta al interrogante clave: ¿Cómo podríamos implementar un sistema solar fotovoltaico que sea técnica, económica y ambientalmente viable en la Piscícola La Milagrosa para garantizar un suministro energético sostenible, reducir costos y fortalecer su posicionamiento en el mercado?

Este enfoque permite abordar múltiples dimensiones del problema, derivando subproblemas estratégicos que, a su vez, se alinean con los objetivos específicos del estudio:

Tabla 4.
Relación de subproblemas con los objetivos específicos. Fuente, elaboración propia.

Subproblema identificado	Objetivo específico asociado
Viabilidad técnica del sistema según clima y demanda energética	Determinar la capacidad del sistema fotovoltaico considerando el consumo energético actual y condiciones climáticas locales.
Evaluación económica del proyecto y retorno de inversión (ROI)	Analizar la viabilidad económica y el retorno de inversión del proyecto.
Contribución a políticas ambientales y ODS	Evaluar la alineación del proyecto con políticas ambientales locales, nacionales e internacionales, y su aporte a los ODS.
Requisitos para implementación, operación y mantenimiento	Diseñar un plan de acción detallado que incluya planificación, adquisición, instalación, monitoreo y mantenimiento.
Aceptación social y valor estratégico de sostenibilidad	Analizar cómo la adopción de energía renovable fortalece la imagen corporativa y mejora el posicionamiento comercial.

Nota: Esta tabla vincula cada subproblema clave del estudio; desde la viabilidad técnica y económica hasta el alineamiento ambiental, operatividad y aceptación social, con su correspondiente objetivo específico. De este modo se garantiza que cada desafío identificado cuente con una meta clara y medible, alineada con el consumo y clima locales, el retorno de inversión, los marcos normativos y políticas de sostenibilidad, el plan de implementación y el fortalecimiento de la imagen corporativa de Agropecuaria La Milagrosa.

Este proyecto no solo se justifica desde el punto de vista técnico, sino también por su impacto económico y ambiental. Entre los beneficios cuantitativos esperados se destacan:

- Reducción de costos energéticos entre un 30% y 70% (estimaciones dependientes del dimensionamiento y autoconsumo).
- Disminución de emisiones de CO₂ en aproximadamente 5 a 10 toneladas por año.
- Aumento del ROI y reducción del periodo de recuperación de la inversión.

Entre los beneficios cualitativos se incluyen:

- Mejora en la imagen institucional y reputación ambiental.
- Estabilidad en la producción piscícola mediante un suministro eléctrico confiable.

- Generación de capacidades técnicas en energías renovables en el personal de la piscícola.
- Alineación estratégica con tendencias de sostenibilidad exigidas por nuevos mercados.

2 Solución Innovadora

La Agropecuaria La Milagrosa, ubicada en el municipio de San Diego (Cesar), enfrenta altos costos operativos y una creciente vulnerabilidad energética en sus sistemas de producción piscícola. En este escenario, la adopción de un sistema solar fotovoltaico representa una solución viable y estratégica para mejorar la sostenibilidad económica, operativa y ambiental, en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por la FAO (FAO, 2020).

Tendencias Globales y Potencial Local

La energía solar fotovoltaica, reconocida por su bajo impacto ambiental y sus reducidos costos operativos, ha sido adoptada en sistemas acuícolas a nivel global para alimentar aireadores, bombas, sistemas de alimentación automática y unidades de calentamiento (Panwar, Kaushik, & Kothari, 2011). Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), para el año 2050 se proyecta que entre el 30% y el 50% de la generación eléctrica mundial será de origen fotovoltaico (IEA, 2023).

Colombia posee un alto potencial solar, especialmente en regiones como el Cesar. De acuerdo con el IDEAM, el departamento tiene niveles promedio de irradiación superiores a los

5 kWh/m²/día, lo que convierte a San Diego en una zona favorable para la implementación de tecnologías solares (IDEAM, 2017).

Modelos de Implementación: Resultados Comparativos

Un estudio desarrollado en Colombia comparó tres esquemas de suministro eléctrico en la producción de tilapia roja:

- 100% energía convencional (conectada a la red),
- sistema híbrido 50% solar – 50% red,
- sistema 100% solar autónomo.

Aunque el sistema convencional presentaba una menor inversión inicial, los esquemas solares mostraron una mayor rentabilidad a largo plazo debido al ahorro en costos operativos y la reducción de riesgos por fallos eléctricos, el estudio también concluyó que es necesario un periodo de análisis de más de 20 años para lograr ver la rentabilidad en la aplicación de sistemas fotovoltaicos (Ocampo & Valencia Correa, 2020).

Gestión Inteligente y Optimización Energética

Como lo indican algunos autores, “La eficiencia energética en sistemas de recirculación acuícola puede incrementarse notablemente al integrar sistemas de gestión automatizada basados en sensores de oxígeno disuelto y temperatura”, los autores, (Zhang, Li, & Zhu, 2015), desarrollaron una red de sensores inalámbricos y un controlador automático de aireadores en estanques de tilapia, logrando así reducir el consumo de energía eléctrica en un 18% y mejorar la relación de conversión alimenticia en un 12% al ajustar el encendido de los

equipos en función de los niveles de oxígeno disuelto. Por otro lado, los autores, (Ebeling, Timmons , & Bisogni, 2000) demostraron que el control dinámico de motobombas y aireadores reduce la mortalidad temprana de juveniles en torno al 15 % y aumenta la tasa de crecimiento hasta un 10 % en el primer ciclo, lo cual puede elevar la rentabilidad operativa de las granjas en más de un 25 % cuando se proyecta a cinco años.

Evaluación Económica del Proyecto

Aunque la inversión inicial de un sistema solar fotovoltaico puede parecer elevada, esta se compensa con:

- Reducciones de entre el 30% y el 70% en los costos energéticos,
- Vida útil de más de 20 años con mantenimiento mínimo,
- Mayor continuidad operativa al reducir fallas eléctricas.

Proyecciones financieras a 15–20 años indican un retorno de inversión (ROI) atractivo y una mejora en la estabilidad financiera de la operación (Ocampo & Valencia Correa, 2020).

Beneficios Adicionales

- Almacenamiento energético nocturno
- Reducción de dependencia de la red eléctrica
- Menor huella ambiental y acceso a mercados sostenibles

Recomendaciones para La Milagrosa

- Adaptar el sistema a condiciones locales (radiación solar, consumo actual, ubicación)
- Evaluar sistemas híbridos como transición gradual

- Aprovechar el potencial solar de San Diego, según el IDEAM (IDEAM, 2017)

Teniendo en cuenta proyectos similares y los resultados positivos que se han generado en este tipo de implementaciones, el proyecto de energía solar en La Milagrosa representa una solución técnica, económica y ambientalmente viable. Más allá de reducir costos, transforma la operación en una actividad resiliente, alineada con estándares sostenibles internacionales.

2.1 Descripción de la solución (storyboard)

- Escena 1: Diagnóstico del problema Una piscícola operando con energía convencional muestra facturas de electricidad elevadas y equipos trabajando con intermitencias. El gerente observa preocupado el impacto en sus costos operativos.
- Escena 2: Evaluación del potencial solar un técnico especializado realiza una evaluación del sitio usando instrumentos de medición solar y consulta datos climáticos de San Diego, Cesar. Se identifican zonas óptimas para ubicar los paneles.
- Escena 3: Instalación del sistema solar se instalan los paneles solares en la cubierta del área administrativa y zonas técnicas del cultivo. El clima favorable del entorno permite aprovechar al máximo la radiación solar.
- Escena 4: Conexión y operación del sistema los paneles se conectan a inversores que suministran energía limpia a bombas de agua, aireadores y sistemas de control de calidad del agua. Se garantiza la estabilidad operativa.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

- Escena 5: Monitoreo y gestión de energía el sistema muestra en tiempo real, a través de un dashboard, el ahorro energético logrado, la reducción de emisiones de CO₂ y la eficiencia operativa diaria.
- Escena 6: Beneficios alcanzados y cierre exitoso el gerente de la piscícola estrecha la mano con el técnico en señal de satisfacción. El entorno muestra tanques saludables, paneles solares operativos y una piscicultura sostenible y rentable.

Figura 3.
storyboard implementación energía solar en piscícola, fuente: imagen generada con AI por autores



Nota: Imagen en seis escenas que sintetiza el recorrido desde el diagnóstico de altos costos energéticos, pasando por el piloto técnico y el escalamiento del sistema fotovoltaico, hasta la operación estabilizada, el monitoreo inteligente y el refuerzo de la imagen sostenible de Agropecuaria La Milagrosa.

2.2 Prototipo conceptual (imágenes o modelo 3D)

Inicialmente se verifica el lugar donde se instalarán los paneles solares

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Figura 4.
Terreno disponible para la instalación de los paneles solares. fotografía fuente elaboración propia



Nota: Imagen panorámica de la finca La Milagrosa en la cual se muestra en una franja verde la ubicación y ocupación del sistema solar fotovoltaico, especialmente del área a ocupar por las celdas solares calculadas.

Resumen del Proyecto

La Agropecuaria La Milagrosa, ubicada en San Diego, Cesar, Colombia, tiene un consumo por hora de 50 kWh. Se propone la implementación de un sistema solar fotovoltaico para reducir costos energéticos y mejorar la sostenibilidad de la operación piscícola.

Cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico

Parámetros Clave:

- Consumo por hora: 50 kWh
- Horas de operación diaria: 24 horas
- Demanda diaria: $50 \text{ kW/h} \times 24 \text{ h} = 1200 \text{ kW/día}$
- Horas pico de sol en San Diego, Cesar: 5 horas/día
- Eficiencia del sistema: 80% (considerando pérdidas)
- Cálculo de la Capacidad del Sistema: Si se utilizan paneles solares de 500 Wp:

- Área Requerida: Cada panel tiene un tamaño aproximado de 2 m², por lo que el área total necesaria es de 1200 m²

Componentes del Sistema

Paneles Solares: 600 unidades de 500 Wp (monocristalinos de alta eficiencia).

Inversores: 3 inversores de 100 kW o configuración equivalente.

Estructuras de Montaje: Aluminio o acero galvanizado, resistentes a la corrosión.

Sistema de Almacenamiento (Opcional): Teniendo en cuenta la carga instalada de 1200kwh

Baterías de ion-litio de la misma capacidad (1200 kWh para respaldo), partiendo que tendría respaldo para 1 día de operación completo.

Cableado y Protecciones: Cableado de cobre resistente a intemperie y protecciones contra sobretensiones.

Sistema de Monitoreo: Plataforma en línea con sensores de rendimiento y alerta de fallas.

Figura 5.
Ejemplo de paneles monocristalinos a instalar. Fuente: Diaz, T.; Carmona, G. (2015).



Nota: Imagen que muestra como es la instalación de las celdas solares del material monocristalino, incluyendo como es su inclinación y el montaje de la estructura metálica diseñada para el montaje en hileras de varias celdas solares.

Figura 6.
Inversor Solar para un SSFV, tomada de (SUNFIELDS, 2025)



Nota: Imagen que muestra el montaje y la instalación de un módulo de inversión eléctrica, convirtiendo la tensión generada en DC a tensión a consumir en AC, esta incluye la instalación de baterías que se muestran en la parte inferior del montaje, las cuales han de acumular la energía en el momento que el sistema no abastezca energía al proyecto.

2.3 Propuesta de experiencia del usuario (journey map)

Esta propuesta tiene como propósito ilustrar de manera clara y estructurada cada etapa del recorrido que sigue el operador y los diferentes actores involucrados, desde la planificación e instalación de los paneles solares hasta el monitoreo y mantenimiento diario. Permitiendo identificar los puntos de contacto críticos tales como la selección de proveedores, la configuración de los inversores y la gestión de alertas energéticas.

Figura 7.
Journey map. Fuente, elaboración propia



Nota: Journey map del cliente que ilustra, etapa por etapa desde la consciencia hasta la recomendación, las acciones, puntos de contacto, emociones y oportunidades de mejora en el proceso de adopción del sistema solar fotovoltaico en Agropecuaria La Milagrosa.

3 Análisis de mercado y competencia

3.1 Mapa de posicionamiento de innovación

Las partes interesadas en la implementación del sistema fotovoltaico en la Piscícola La Milagrosa se dividen en actores internos y externos. Entre los stakeholders internos, los propietarios y administradores buscan reducir costos operativos, mejorar la eficiencia energética y fortalecer la sostenibilidad del negocio, aunque enfrentan preocupaciones sobre la inversión inicial y el tiempo de recuperación. Por su parte, los empleados y operarios se beneficiarán de un suministro eléctrico más estable y seguro, pero podrían requerir capacitación y enfrentar desafíos en el mantenimiento del sistema.

En cuanto a los stakeholders externos, los proveedores de tecnología fotovoltaica ven en este proyecto una oportunidad de expansión de mercado, aunque dependen de la capacidad de pago de la piscícola y la disponibilidad de infraestructura adecuada. Las entidades gubernamentales y reguladoras apoyan la transición a energías renovables y ofrecen incentivos fiscales, pero exigen el cumplimiento de normativas ambientales y técnicas.

Los clientes y consumidores finales pueden valorar la sostenibilidad del producto y mejorar la percepción de la marca, aunque un posible aumento en costos podría generar resistencia. Las entidades financieras y bancos ven una oportunidad de inversión en proyectos sostenibles, pero requieren garantizar la viabilidad económica del sistema. Organizaciones ambientales y de sostenibilidad pueden apoyar la iniciativa con certificaciones verdes y alianzas estratégicas, siempre que se garantice un impacto ambiental positivo. Finalmente, la comunidad local podría beneficiarse con generación de empleo y reducción de impactos ambientales, aunque podrían surgir preocupaciones sobre cambios en la dinámica laboral y en el uso de recursos locales.

Con base en los resultados de la encuesta para la validación del modelo de viabilidad de un sistema fotovoltaico, podemos analizar los datos obtenidos y emitir un concepto sobre la viabilidad de la implementación del sistema solar en la empresa Piscícola La Milagrosa.

a. Recolección y organización de los datos

Se recopilieron las respuestas de los encuestados en cada uno de los ítems evaluados. Por ejemplo:

- **Barreras para la implementación:** porcentaje de encuestados que consideran la inversión inicial como la principal barrera.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

- **Reducción de costos:** grado de acuerdo respecto a la disminución de costos energéticos.
- Otros ítems relacionados con la sostenibilidad, calidad, ROI, alineación con políticas ambientales, imagen corporativa y necesidad de capacitación.

b. Tabulación de resultados

Los datos se organizan en una tabla donde se muestran, por cada ítem, los porcentajes se encuentran desde "completamente de acuerdo" hasta "en desacuerdo". Como sigue:

Tabla 5.
Tabulación de datos obtenidos en encuesta Anexo 1. Fuente elaboración propia

Ítem	Completamente de Acuerdo (%)	De Acuerdo (%)	Ligeramente de acuerdo (%)	Ligeramente en desacuerdo (%)	En desacuerdo (%)
1. La elección de paneles solares monocristalinos de 500 Wp es adecuada para maximizar la eficiencia en condiciones climáticas como las de San Diego, Cesar.		57,1%		28,8%	14,3%
2. La incorporación de baterías de ion-litio con una capacidad de 2400 kWh representa una estrategia efectiva para asegurar continuidad operativa en caso de baja radiación solar.	12,5%	50,0%	25,0%	12,5%	
3. El uso de estructuras de montaje en aluminio o acero galvanizado es suficiente para garantizar la durabilidad del sistema en ambientes agroindustriales.	25,0%	37,5%	37,5%		
4. El sistema de monitoreo propuesto con alertas de fallas y análisis de rendimiento es una solución adecuada para garantizar el control operativo del sistema.		62,5%	25,0%		12,5%
5. La configuración de 3 inversores de 100 kW permite una operación eficiente, segura y flexible del sistema fotovoltaico.	12,5%	75,0%	12,5%		
6. La eficiencia global estimada del sistema (80%) se ajusta a los valores reales que se pueden esperar en este tipo de instalación.	12,5%	25,0%	37,5%		25,0%
7. La capacidad instalada de 300 kW (600 paneles de 500 Wp) es suficiente para cubrir la demanda diaria de 1200 kWh, considerando 5 horas pico solares y 80% de eficiencia.		37,5%	25,0%	12,5%	25,0%
8. El área estimada de 1200 m ² es adecuada para la instalación de los 600 paneles solares, considerando requerimientos de mantenimiento y separación.	25,0%	25,0%	12,5%	12,5%	12,5%
9. La configuración planteada cumple con los requisitos técnicos mínimos para operar en una instalación agropecuaria con funcionamiento continuo (24/7).		37,5%	37,5%	12,5%	12,5%
10. Este prototipo de sistema fotovoltaico tiene potencial para ser replicado en otras agroindustrias con características similares.		50,0%	25,0%	12,5%	12,5%

Nota: En algunos casos, solo se registró un porcentaje (por ejemplo, en la percepción de la barrera de inversión), mientras que en otros se capturaron dos niveles de acuerdo.

c. Análisis de los datos

A continuación, se describen los aspectos más importantes:

Elegir paneles monocristalinos es la mejor opción, por factores de dimensionamiento (area ocupada) y por la elevada temperatura que resisten dadas las condiciones de San Diego (Cesar), manteniendo unas buenas condiciones de eficiencia que, con el paso del tiempo, se empiezan a ver en ahorros económicos de mantenimiento y de generación eléctrica.

La potencia entre tres inversores de 100 kW facilita el desarrollo técnico, y vuelve el sistema flexible y de mejor expansión.

El sistema de monitoreo puede notificar si un módulo levanta temperatura mayor a la máxima bajo funcionamiento normal de operación. Con datos on-line, se puede planear mantenimientos y evitar posibles fallas.

4 Plan de implementación bajo metodologías ágiles

Teniendo en cuenta la naturaleza del proyecto se determinó que lo más viable y efectivo es combinar la disciplina del PMBOK con ciclos cortos de validación ágil para iterar prototipos, mitigar riesgos y asegurar la entrega de valor en cada fase.

4.1 Roadmap de innovación

Tabla 6.
Roadmap de innovación para el desarrollo del proyecto. Fuente, elaboración propia

Fase	Objetivo clave	Duración	Entregables
------	----------------	----------	-------------

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Sprint 0: Descubrimiento	Recopilar requisitos, mapear stakeholders y validar HMW.	2 semanas	Canvas de modelo de negocio, mapa de empatía validado
Fase 1: Prototipado	Validar soluciones con Design Sprint y pruebas de concepto (PoC).	3 sprints de 2 semanas	Prototipo funcional (paneles + inversor), informe PoC
Fase 2: Pilotaaje	Desplegar sistema piloto de 50 kWp, medición de rendimiento.	4 sprints de 2 semanas	Informe de rendimiento, ajustes de diseño
Fase 3: Escalamiento	Instalación completa (300 kWp), integración con sistemas de monitoreo.	6 sprints de 2 semanas	Sistema instalado y dashboard operativo
Cierre & Lecciones aprendidas	Evaluación final, documentación y transferencia de know-how.	2 semanas	Manual operativo, informe de cierre y lecciones

Nota: Ruta de innovación dividida en cinco fases; desde el sprint de descubrimiento hasta el cierre y lecciones aprendidas, que especifica en cada etapa el objetivo clave, la duración estimada y los entregables (canvas validados, prototipos, piloto de 50 kWp, instalación completa de 300 kWp, dashboard operativo y documentación final), asegurando un avance ágil y controlado del proyecto fotovoltaico.

4.2 Metodología de desarrollo

4.2.1 Design Sprint

- **Duración:** 5 días
- **Objetivo:** Crear y testear rápidamente un prototipo de la solución (ubicación y conexión de paneles, interfaz de monitoreo).
- **Actividades clave:** Mapa de experiencia, sketch, storyboards, prototipo de baja fidelidad, test con usuarios internos (técnicos, gerentes).

4.2.2 Lean Startup

- **Ciclo Build–Measure–Learn** para validar hipótesis críticas:
 - **Hipótesis técnica:** rendimiento real de paneles vs. estimado.

- **Hipótesis económica:** ahorro vs. coste.
- **Hipótesis ambiental:** reducción de emisiones.
- **Métricas:** indicadores de rendimiento (kWh generados), ROI preliminar, satisfacción de stakeholders.

4.2.3 Scrum / Sprints de Ingeniería

- **Sprints de 2 semanas** para desarrollo de ingeniería eléctrica, mecánica y software de monitoreo.
- **Ceremonias:**
 - **Sprint Planning:** definir backlog técnico (cálculo de cargas, diseño de estructuras, integración de inversores).
 - **Daily Stand-up:** seguimiento de impedimentos.
 - **Sprint Review:** demostración de avances (wireframes de software, módulos eléctricos instalados).
 - **Retrospectiva:** lecciones y mejora continua.

4.3 Equipo y recursos necesarios

Tabla 7.
Equipo y recursos necesarios para el desarrollo del proyecto. Fuente, elaboración propia

Rol / Área	Responsabilidad clave	Cantidad
Sponsor Ejecutivo	Alinear proyecto con objetivos estratégicos, aprobación de presupuesto.	1
Project Manager / PMO	Gestión de alcance, coste, cronograma y riesgos (PMBOK).	1
Product Owner	Representar al cliente interno (gerencia de la piscícola), priorizar backlog.	1

Scrum Master / Agile Coach	Facilitar ceremonias, eliminar impedimentos, fomentar cultura ágil.	1
Ingeniero Solar / Fotovoltaico	Cálculo de dimensionamiento, selección de paneles e inversores.	1-2
Ingeniero Eléctrico	Diseño del sistema eléctrico, protecciones y cableado.	1-2
Especialista Ambiental	Evaluación de impacto, cumplimiento de normativas ambientales.	1
Analista de Datos	Diseño de métricas, configuración de IoT y dashboard de monitoreo.	1
UX Researcher / Investigador	Pruebas de usabilidad del dashboard, validación de experiencia de usuario.	1
Técnico de Instalación	Montaje de paneles, estructuras y conexionado en sitio.	2-3
Lean Startup Coach	Acompañar ciclos Build-Measure-Learn y diseño de experimentos.	1
Stakeholders clave	Gerente de la piscícola, finanzas, operaciones.	Variable

Nota: Tabla de roles y recursos clave para el proyecto, detallando cada área (desde sponsor ejecutivo y PMO hasta especialistas técnicos y de datos), sus responsabilidades principales y la cantidad recomendada de participantes, garantizando así una estructura organizativa completa y balanceada para el desarrollo del sistema fotovoltaico.

5 Análisis Financiero y de Impacto

Como antecedente del proyecto, la Agropecuaria La Milagrosa, ubicada en San Diego, Cesar (Colombia), registra un consumo energético promedio de 1.200 kWh diarios, derivado de su operación piscícola continua. Con un costo promedio de \$1.062 COP por kilovatio hora en la región, el gasto mensual por concepto de energía eléctrica asciende a aproximadamente \$38.232.000 COP. Para cubrir esta demanda de manera sostenible y reducir los costos operativos, se plantea la implementación de un sistema solar fotovoltaico de 300 kWp,

conformado por 600 paneles de 500 Wp cada uno. Este sistema, con una eficiencia estimada del 80% y basado en un promedio de 5 horas pico solares diarias, está diseñado para suplir el 100% del consumo energético diario de la agropecuaria (1.200 kWh/día).

Tabla 8.
Resumen Técnico. Fuente elaboración propia.

RESUMEN TÉCNICO	
Ubicación	San Diego, Cesar
Consumo Diario	1200Kwh/día
Potencia del Sistema	300Kwp(600 paneles de 500Wp)
Tarifa Energía Eléctrica	1062 COP/kWh
Inflación energética anual	5,16% (Dane, 2025)
Hora pico de Sol	5h/día
Eficiencia estimada	80%
Producción estimada	$300 \times 5 \times 0,8 = 1200\text{kwh/día}$

Nota: Resumen técnico se relacionan datos iniciales para la elaboración del análisis financiero

A continuación, se presenta el desglose detallado de la inversión inicial requerida para la implementación del sistema solar fotovoltaico en la Agropecuaria La Milagrosa. La tabla incluye los principales componentes del sistema, sus costos unitarios estimados, cantidades necesarias y los subtotales correspondientes. Además, se contempla un sistema de almacenamiento opcional con baterías de ion-litio, lo cual representa una inversión adicional significativa destinada a garantizar la autonomía energética en caso de interrupciones del servicio.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Tabla 9.
Inversión inicial. Fuente elaboración propia

INVERSIÓN INICIAL SISTEMA FOTOVOLTAICO AGROPECUARIA LA MILAGROSA				
Item	Unidad	Cantidad/Capacidad	Costo Unitario(COP)	Total(COP)
Paneles Solares (500Wp)	UN	600	\$ 640.000,00	\$ 384.000.000,00
Inversores (100 kW)	UN	3	\$ 40.000.000,00	\$ 120.000.000,00
Estructura de montaje	UN	600	\$ 160.000,00	\$ 96.000.000,00
Cableado y protecciones	GB	1	\$ 60.000.000,00	\$ 60.000.000,00
Sistema de monitoreo	UN	1	\$ 12.000.000,00	\$ 12.000.000,00
Instalación y mano de obra	GB	1	\$ 67.200.000,00	\$ 67.200.000,00
Ingeniería y permisos	GB	1	\$ 20.000.000,00	\$ 20.000.000,00
Transporte y logística	GB	1	\$ 20.000.000,00	\$ 20.000.000,00
Contingencias	GB	1	\$ 38.960.000,00	\$ 38.960.000,00
Subtotal (sin baterías)				\$ 818.160.000,00
Sistema de baterías (opcional)	GB	1	\$ 3.840.000.000,00	\$ 3.840.000.000,00
			TOTAL	\$ 4.658.160.000,00

Nota: Se discriminan los costos de todos los componentes del sistema fotovoltaico

Para evaluar la viabilidad económica del proyecto, se realizaron proyecciones financieras a 25 años, considerando variables clave como el ahorro generado por la producción solar del sistema fotovoltaico, los costos de mantenimiento y la estabilidad tarifaria. Estas proyecciones permiten estimar el flujo de caja anual neto del sistema, así como determinar su impacto en la rentabilidad y recuperación de la inversión a largo plazo.

Tabla 10.
Proyección financiera Sistema sin Baterías. Fuente, elaboración propia.

PROYECCIÓN FINANCIERA ANUAL	
Producción anual del sistema	1200 kWh/d × 365 días = 438 000 kWh/año
Tarifa de Kilovatio hora generado	650 COP/kWh
Ahorro bruto anual	\$ 284.700.000,00
Mantenimiento anual	\$ 8.760.000,00
Ahorro neto anual	\$ 275.940.000,00

Nota: Se relaciona el ahorro bruto Anual, costos de mantenimiento, Ahorro neto o flujo de caja.

El costo del kilovatio hora (kWh) generado por el sistema solar fotovoltaico se estima en 650 COP, lo que equivale al 61% del valor facturado por el operador de red en San Diego, Cesar (1.062 COP/kWh). Esta diferencia se explica por los costos adicionales que encarecen la energía suministrada por la red, incluyendo los gastos de transporte y distribución

(subestaciones, líneas y pérdidas técnicas), así como márgenes de comercialización, tasas regulatorias y costos administrativos establecidos por la CREG. Al generar energía en sitio, el sistema fotovoltaico evita estos cargos, ofreciendo una alternativa más económica y estable a largo plazo.

Los costos operativos proyectados para el funcionamiento del sistema fotovoltaico de la Agropecuaria La Milagrosa se estiman en **\$20 COP por kilovatio/hora (kWh) generado**. Este valor incluye dos componentes principales: primero, el mantenimiento general anual del sistema fotovoltaico, que abarca actividades como la limpieza de los paneles, la verificación del estado de los inversores y otros equipos esenciales, así como la revisión y reparación de posibles fallas. En segundo lugar, se contempla el costo de los operadores y técnicos que se encargarían de gestionar cualquier contingencia o eventualidad, como la reparación de componentes dañados o la actualización del sistema. Este cálculo tiene en cuenta la necesidad de asegurar el buen rendimiento y la durabilidad del sistema a lo largo de su vida útil, garantizando así su eficiencia y operatividad continua.

El flujo de caja proyectado refleja los ahorros anuales en costos de energía gracias al sistema fotovoltaico, considerando un crecimiento del 5,16% anual por inflación energética. Se parte de un ahorro neto de 275.940.400 COP en el primer año, que se incrementa cada año aplicando dicha tasa, alcanzando 337.918.359 COP en el año 5. Esta proyección permite estimar con mayor precisión el retorno económico de la inversión.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Tabla 11
Flujo de caja Sistema sin Baterías. Fuente, elaboración propia.

ANO	PROYECCIONES				
	2025	2026	2027	2028	2029
VENTAS ANUALES \$	284.700.000,0	299.390.520,0	314.958.827,0	331.336.686,0	348.566.193,7
COSTOS ANUALES \$	8.760.000,0	9.198.000,0	9.657.900,0	10.140.795,0	10.647.834,8
MARGEN OPERATIVO \$	275.940.000,0	290.192.520,0	305.300.927,0	321.195.891,0	337.918.359,0

Nota: Se relaciona el flujo de caja teniendo en cuenta los costos operativos y la inflación energética anual hasta el año 2029, para un sistema sin Baterías.

El análisis financiero de la implementación del sistema solar fotovoltaico sin baterías para la Agropecuaria La Milagrosa revela un escenario altamente favorable. Con una inversión inicial de 818,160,000 COP, se estima un ahorro neto en 5 años de 1,530,547,697 COP, lo que genera una tasa interna de retorno (TIR) del 17.08% anual indicando una rentabilidad superior al costo de capital esperado. El proyecto presenta un periodo de recuperación de aproximadamente 3,08 años, destacándose además un Valor Presente Neto (VPN) positivo de 509,017,703 COP a 5 años con una tasa de descuento del 5,16%, indicando una rentabilidad superior al costo de capital esperado.

Tabla 12.
Indicadores Financieros Sistemas sin Baterías. Fuente, elaboración propia.

EVALUACION FINANCIERA Y PUNTO DE EQUILIBRIO						VOLVER AL MENÚ
TASA DE EVALUACION DEL PROYECTO	0,00%					
FLUJO DE CAJA DE PROYECTO	INVERSION ANO 0	2025	2026	2027	2028	2029
	-\$818.160.000,00	\$199.677.228,87	\$243.676.561,05	\$268.017.135,53	\$294.043.386,58	\$321.763.391,36
VALOR PRESENTE NETO DEL PROYECTO =	\$ 509.017.703,38					
TASA INTERNA DE RETORNO =	17,08%					PERIODO DE RECUPERACIÓN: 3,08 AÑOS

Nota: Indicadores financieros VPN, TIR, ROI.

El análisis financiero de la implementación del sistema solar fotovoltaico con sistema de almacenamiento de energía para la Agropecuaria La Milagrosa revela un escenario altamente favorable. Con una inversión inicial de 818,160,000 COP, se estima un ahorro neto en 5 años de

1,530,547,697 COP, lo que genera una tasa interna de retorno (TIR) del 17.08% anual indicando una rentabilidad superior al costo de capital esperado. El proyecto presenta un periodo de recuperación de aproximadamente 3,08 años, destacándose además un Valor Presente Neto (VPN) positivo de 509,017,703 COP a 5 años con una tasa de descuento del 5,16%, indicando una rentabilidad superior al costo de capital esperado.

Tabla 13.
Proyección financiera sistema con baterías. Fuente, elaboración propia

PROYECCIÓN FINANCIERA ANUAL	
Producción anual del sistema	1200 kWh/d × 365 días = 438 000 kWh/año
Tarifa de Kilovatio hora generado	650 COP/kWh
Ahorro bruto anual	\$ 284.700.000,00
Mantenimiento anual	\$ 30.660.000,00
Ahorro neto anual	\$ 254.040.000,00

Nota: Se relaciona el ahorro bruto Anual, costos de mantenimiento, Ahorro neto o flujo de caja.

Los costos operativos proyectados para el funcionamiento del sistema fotovoltaico de la Agropecuaria La Milagrosa se estiman en \$70 COP por kilovatio/hora (kWh) generado. Este valor incluye dos componentes principales: primero, el mantenimiento general anual del sistema fotovoltaico, mantenimiento a los bancos de baterías, actividades como la limpieza de los paneles, la verificación del estado de los inversores y otros equipos esenciales, así como la revisión y reparación de posibles fallas.

El flujo de caja proyectado refleja los ahorros anuales en costos de energía gracias al sistema fotovoltaico, considerando un crecimiento del 5,16% anual por inflación energética. Se parte de un ahorro neto de 254.040.000 COP en el primer año, que se incrementa cada año aplicando dicha tasa, alcanzando 311.298.772 COP en el año 5. Esta proyección permite estimar con mayor precisión el retorno económico de la inversión.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Tabla 14,
Flujo de caja Sistema con baterías. Fuente, elaboración propia.

ANO	PROYECCIONES				
	2025	2026	2027	2028	2029
VENTAS ANUALES \$	284.700.000,0	\$ 299.390.520,0	\$ 314.958.827,0	\$ 331.336.686,0	\$ 348.566.193,7
COSTOS ANUALES \$	30.660.000,0	\$ 32.193.000,0	\$ 33.802.650,0	\$ 35.492.782,5	\$ 37.267.421,6
MARGEN OPERATIVO	\$ 254.040.000,0	\$ 267.197.520,0	\$ 281.156.177,0	\$ 295.843.903,5	\$ 311.298.772,1

Nota: Se relaciona el flujo de caja teniendo en cuenta los costos operativos y la inflación energética anual hasta el año 2029, para un sistema con Baterías.

El análisis financiero de la implementación del sistema solar fotovoltaico con sistema de almacenamiento por medio de baterías para la Agropecuaria La Milagrosa revela un escenario poco favorable. Con una inversión inicial de 4,658,160,000 COP, se estima un ahorro neto en 5 años de 1,407,536,372 COP, lo que genera una tasa interna de retorno (TIR) del -21.90% anual indicando implica que el proyecto genera pérdidas a lo largo del tiempo. El proyecto presenta un periodo de recuperación de aproximadamente 9,80 años, destacándose además un Valor Presente Neto (VPN) negativo de 2,281,980,787 COP a 5 años con una tasa de descuento del 5,16%, indicando una rentabilidad inferior al costo de capital esperado en plazo establecido.

Tabla 15.
Indicadores Financieros Sistema con Baterías. Fuente, elaboración propia.

EVALUACION FINANCIERA Y PUNTO DE EQUILIBRIO						
TASA DE EVALUACION DEL PROYECTO	0,00%					
FLUJO DE CAJA DE PROYECTO	INVERSION ANO 0	2025	2026	2027	2028	2029
	-\$4.658.160.000,00	\$1.220.873.598,41	\$169.576.196,81	\$245.138.099,31	\$326.524.499,31	\$414.066.818,30
VALOR PRESENTE NETO DEL PROYECTO =	(\$ 2.281.980.787,87)					
TASA INTERNA DE RETORNO =	-21,90%					
PERIODO DE RECUPERACIÓN:	9,80 AÑOS					

Nota: Indicadores financieros VPN, TIR, ROI.

Análisis de Impacto Ambiental del Proyecto Solar Fotovoltaico en la Agropecuaria La Milagrosa.

La implementación del sistema solar fotovoltaico en la Agropecuaria La Milagrosa representa una significativa contribución a la reducción de la huella de carbono. Al sustituir el consumo de energía eléctrica proveniente de fuentes fósiles por energía limpia generada por el sol, se estima una disminución de más de 170 toneladas de CO₂ al año. Esta reducción no solo beneficia la operación de la agropecuaria, sino que también impacta positivamente en la mitigación del cambio climático.

En cuanto al uso de recursos naturales, el sistema fotovoltaico aprovecha la radiación solar, un recurso renovable e inagotable, lo que disminuye la dependencia de fuentes no renovables. Esto, junto con la integración de equipos modernos y tecnologías avanzadas de monitoreo en tiempo real, mejora la eficiencia energética de la operación piscícola, optimizando el consumo energético y reduciendo el desperdicio.

Respecto a la gestión de residuos y reciclaje, los componentes clave del sistema paneles solares, inversores y baterías tienen una vida útil prolongada. Al final de su ciclo de vida, gran parte de estos materiales, como el aluminio de las estructuras, el vidrio de los paneles y el litio de las baterías, pueden ser reciclados, lo que contribuye a reducir el impacto ambiental asociado con su disposición final.

Este proyecto, además, promueve la economía circular, al alargar el ciclo de vida útil de los materiales y fomentar prácticas operativas que minimizan el desperdicio energético. Al integrar un modelo sostenible de uso de recursos, se refuerza la idea de maximizar la reutilización de los elementos y reducir al máximo el desperdicio de recursos.

En términos de protección de ecosistemas, el impacto ambiental de la instalación será mínimo, ya que se llevará a cabo en áreas previamente intervenidas, como techos o terrenos de

la finca. Además, la reducción de emisiones y la disminución de la contaminación térmica indirectamente protegerán tanto la biodiversidad acuática como terrestre de la región.

El proyecto está alineado con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, contribuyendo de manera directa a la consecución de los siguientes:

- **ODS 7:** Energía asequible y no contaminante.
- **ODS 8:** Trabajo decente y crecimiento económico.
- **ODS 9:** Industria, innovación e infraestructura.
- **ODS 12:** Producción y consumo responsables.
- **ODS 13:** Acción por el clima.

Para medir el impacto social y ambiental del proyecto, se establecerán métricas específicas, como la reducción anual de CO₂, el porcentaje de energía renovable utilizada, el ahorro energético en pesos colombianos, el índice de eficiencia del sistema y el número de personas capacitadas o empleadas en la transición hacia energías renovables.

Para maximizar los impactos positivos y mitigar los negativos, se implementarán diversas estrategias, tales como la capacitación técnica del personal local, la contratación de proveedores sostenibles, el monitoreo constante de la eficiencia del sistema y el desarrollo de un plan de reciclaje y disposición final responsable de los componentes del sistema fotovoltaico.

En cuanto al análisis de costo-beneficio social y ambiental, el proyecto se presenta como altamente favorable. Con una inversión inicial de aproximadamente 818 millones COP, el ahorro energético anual es de más de 276 millones COP. Además, los beneficios intangibles

relacionados con la salud ambiental, la reducción de emisiones y el liderazgo en sostenibilidad aumentan significativamente el valor social y ambiental de la inversión.

Para comunicar el impacto a los stakeholders, se establecerán informes semestrales de sostenibilidad que incluirán infografías sobre el impacto en las instalaciones. Además, se promoverá el proyecto como un caso de éxito en redes sociales y eventos agroambientales, destacando los beneficios tanto económicos como ambientales.

El proyecto también buscará obtener certificaciones relevantes, tales como la Certificación de Energía Renovable (IREC), la Certificación ISO 14001 en gestión ambiental y el registro en plataformas de bonos de carbono voluntarios, lo que garantizará su alineación con estándares internacionales en sostenibilidad.

Finalmente, se identificarán y gestionarán posibles riesgos, tales como la degradación de los paneles solares, el impacto del cambio climático (con menos radiación solar) y los riesgos de robo o vandalismo. Para mitigar estos riesgos, se implementarán medidas como el mantenimiento preventivo periódico, la sobredimensión del sistema para enfrentar variabilidad en la radiación solar y la instalación de sistemas de seguridad y monitoreo remoto.

Por último, se explorarán oportunidades de colaboración con organizaciones sociales y ambientales, como ONG locales, universidades y programas del Ministerio de Ambiente, para promover la educación comunitaria sobre sostenibilidad y fomentar prácticas medioambientales responsables en la región.

6 Gestión de riesgos y oportunidades

6.1 Matriz de riesgos y estrategias de mitigación

Se desarrolló una matriz de riesgos que identifica, evalúa y clasifica los principales eventos adversos que podrían afectar el desarrollo del proyecto. Este análisis se estructuró evaluando factores de riesgo económicos, técnicos, ambientales y legales. Para cada riesgo se definieron su impacto, probabilidad y nivel de riesgo resultante, así como estrategias de mitigación, responsables designados. Esta herramienta constituye una guía preventiva que fortalece la planificación del proyecto y contribuye a la toma de decisiones informada, anticipando posibles desviaciones en los objetivos técnicos, financieros y ambientales.

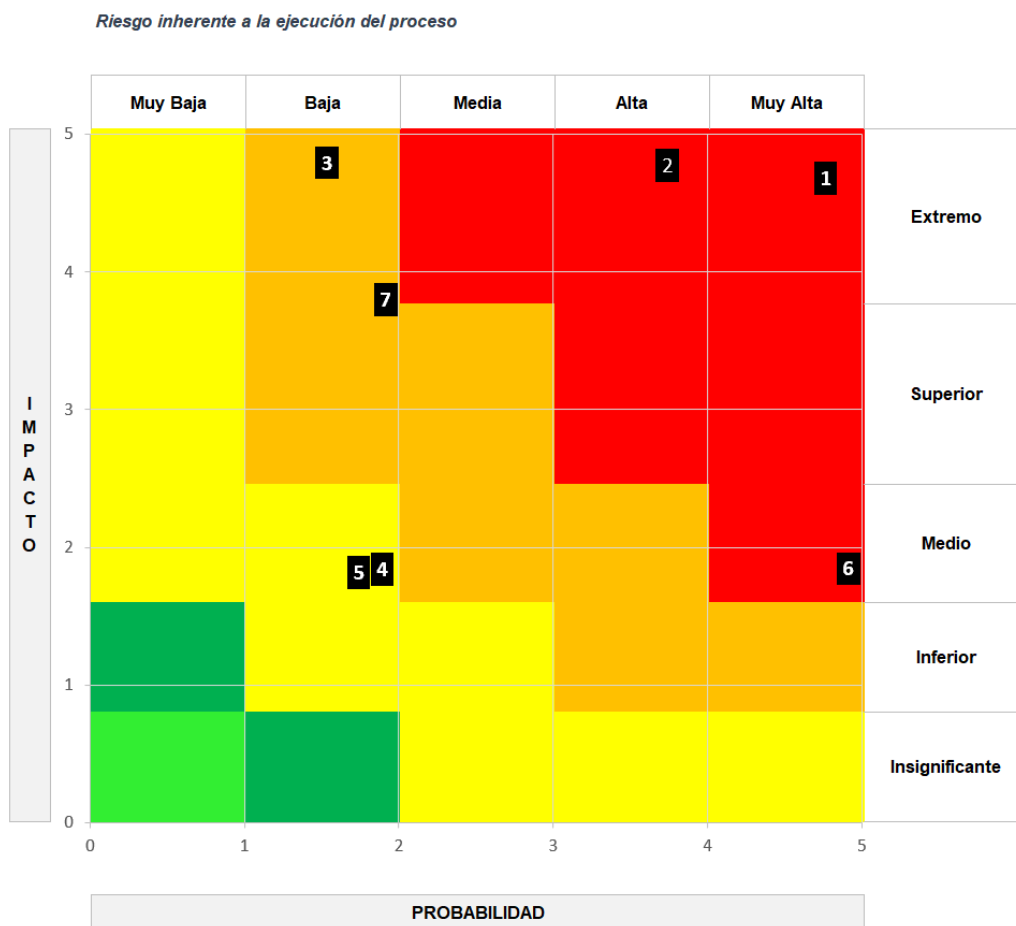
ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Figura 8.
Matriz de riesgo. Fuente, elaboración propia.

#	Riesgo	MITIGACIÓN/RESPONSABLE	RIESGO INHERENTE	
			Impacto	Probabilidad
1	Variación del tipo de cambio COP/USD afecta costos de importación de equipos.	Establecer cláusulas de ajuste en contratos; crear fondo de contingencia/GERENCIA.	5,00	5,00
2	Fallas en inversores o paneles por defectos de fábrica o mal manejo.	Implementar protocolos de prueba y mantenimiento preventivo/Personal tecnico.	5,00	4,00
3	Bajo rendimiento por errores en el diseño o instalación.	Auditorías externas; capacitación continua del personal técnico.	5,00	2,00
4	Reducción en la generación de energía; menores ingresos.	Implementación de sistemas de almacenamiento; diversificación de fuentes energéticas/Diseñadores.	2,00	2,00
5	Impacto visual o alteración mínima del entorno local.	Programas de sensibilización comunitaria; monitoreo ambiental continuo/Gestor Ambiental.	2,00	2,00
6	Incremento en costos de operación y mantenimiento no previstos.	Contratos de mantenimiento a largo plazo; revisión periódica de presupuestos/ Gerencia- Personal tecnico	2,00	5,00
7	Cambios regulatorios o normativos desfavorables.	Asesoría legal continua; participación en gremios del sector/ Asesor legal.	4,00	2,00

Nota: Se relaciona los riesgos técnicos, económicos y ambientales, mitigación, se determinan su impacto y probabilidad.

Figura 9.
Matriz de calor de riesgo. Fuente, elaboración propia.



Nota: Se representan gráficamente en la matriz de calor el impacto y la probabilidad de los riesgos determinados para el sistema.

El análisis de la matriz evidenció que los riesgos económicos y técnicos concentran la mayoría de los niveles de riesgo alto, especialmente aquellos relacionados con la volatilidad del tipo de cambio, retrasos financieros, fallas en equipos y actos de vandalismo. No obstante, se identificaron medidas de mitigación claras como contratos en moneda local, planes financieros estructurados, selección de proveedores certificados, y sistemas de seguridad física. Los riesgos ambientales, en su mayoría, presentan una valoración baja o media gracias a la ubicación estratégica del sistema en zonas previamente intervenidas y a la implementación de planes de manejo de residuos. En general, la matriz demuestra que, con una gestión adecuada, el proyecto presenta riesgos controlables y manejables, lo cual refuerza su viabilidad y sostenibilidad en el largo plazo. La correcta asignación de responsables y la aplicación de planes de contingencia asegurarán una respuesta oportuna ante cualquier eventualidad.

7 Métricas de éxito y KPIs de Innovación

7.1 OKRs (Objectives and Key Results) del Proyecto

Optimizar el diseño eléctrico mediante monitoreo en tiempo real

- Instalar sensores de carga en el 100 % de las bombas.
- Integrar y configurar la plataforma digital de visualización de datos antes de un mes, posterior a la instalación.
- Generar informe de curva de carga vs. generación solar con desviación ≤ 5 %.

Asegurar la continuidad del suministro frente a variaciones de red

- Realizar el estudio de disponibilidad energética
- Documentar un plan de contingencia para picos nocturnos y fallas de red.
- Realizar al menos 2 simulacros de corte de red con respuesta de respaldo (batería/generador) en menos de 30 min cada uno.

Optimizar el dimensionamiento energético dinámico del criadero

- Calcular los perfiles de carga diarios y semanales basados en datos reales de operación durante 4 semanas consecutivas.
- Identificar al menos 5 oportunidades de optimización (p. ej. desplazamiento de cargas, reducción de picos) con impacto estimado $> 10\%$ en demanda.
- Validar la precisión del modelo dinámico con un error $\leq 8\%$ entre simulación y datos reales durante el primer mes de prueba.

Seleccionar la solución de respaldo más costo-eficiente para horas sin sol

- Ejecutar un análisis técnico-económico comparando banco de baterías y generador diésel, con TCO y ROI calculados.
- Incluir el sistema de respaldo seleccionado en el cronograma de implementación del proyecto.

7.2 Métricas de innovación (ej. tasa de adopción, NPS)

Tabla 16.

Métricas de innovación. Fuente, elaboración propia.

Objetivo 1: Optimizar el diseño eléctrico mediante monitoreo en tiempo real		
Métrica de Innovación	Definición	Meta propuesta
1. Frecuencia de pruebas rápida	Número de iteraciones de prueba de sensor y plataforma antes de la versión “estable”.	≥ 3 iteraciones antes de lanzamiento
2. Nuevas fuentes de información incorporadas	% de nuevas variables (e.g., temperatura, vibración) añadidas al dashboard tras el piloto inicial.	≥ 4 nuevas variables
3. Rapidez en aplicar mejoras	Tiempo promedio desde la propuesta de mejora hasta su despliegue en producción.	≤ 7 días por entrega
4. Uso de análisis automático	% de eventos de anomalía o pico detectados automáticamente por algoritmos de ML en lugar de a mano.	≥ 60 % de detecciones automatizadas
5. Satisfacción de los primeros usuarios	Puntuación promedio (1–5) en feedback sobre usabilidad de la plataforma en el primer mes de uso.	$\geq 4,2/5$
Objetivo 2: Asegurar la continuidad del suministro frente a variaciones de red		
Métrica de Innovación	Definición	Meta propuesta

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

1. Robustez del sistema digital	% de componentes del sistema (sensores, CI, comunicaciones) con redundancia o conmutación automática.	≥ 85 % resilientes
2. Actualización constante del plan de emergencia	Número de veces que el plan incorpora nuevos escenarios o datos IDEAM tras simulacros o incidentes reales.	≥ 2 veces al año
3. Simulacros con apoyo de simulación	% de simulacros ejecutados usando herramientas de simulación dinámica vs. solo pruebas físicas.	≥ 50 % digitales
4. Velocidad de alerta ante fallos de red	Tiempo medio desde la ocurrencia de la falla hasta la alerta automática mediante IA o reglas inteligentes.	≤ 2 minutos
5. Grado de automatización del respaldo	% de activaciones de batería/generador gestionadas automáticamente sin intervención humana.	≥ 70 % automatizadas
Objetivo 3: Optimizar el dimensionamiento energético dinámico del criadero		
Métrica de Innovación	Definición	Meta propuesta
1. Exactitud de las predicciones	Error medio (%) de las predicciones de consumo vs.	≤ 8 % de error

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CÉSAR.

	datos reales tras cada ciclo de entrenamiento del modelo.	
2. Rapidez de ajuste del modelo	Tiempo que tarda el modelo en incorporar 4 semanas nuevas de datos y generar recomendaciones actualizadas.	≤ 48 horas
3. Cantidad de sugerencias de optimización	Total, de reglas o “insights” automáticos (e.g., reagrupación de bombas, desplazamiento de cargas) sugeridos.	≥ 5 reglas identificadas
4. Adopción de las recomendaciones	% de recomendaciones del modelo que son implementadas por el equipo técnico.	≥ 75 % de adopción
5. Energía efectivamente ahorrada	kWh ahorrados en el primer mes de prueba gracias a las optimizaciones propuestas por el modelo.	≥ 10 % de reducción
Objetivo 4: Seleccionar la solución de respaldo más costo-eficiente para horas sin sol		
Métrica de Innovación	Definición	Meta propuesta
1. Nivel de detalle en el análisis costo-beneficio	Número de criterios distintos (TCO, ROI, Costo por kWh, huella de carbono, vida útil, mantenibilidad) usados en el análisis.	≥ 6 criterios
2. Rapidez en generar las proyecciones financieras	Horas que tarda la herramienta de simulación (hoja de cálculo avanzada o software	≤ 4 horas por escenario

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

	especializado) en generar el TCO/ROI.	
3. Grado de uso de herramientas digitales	% del análisis realizado con herramientas colaborativas online (e.g., Google Sheets con scripts, plataformas BI).	≥ 80 % digital
4. Rondas de feedback con el equipo	Número de rondas de revisión con finanzas, operaciones y dirección para ajustar hipótesis y supuestos.	≥ 3 iteraciones
5. Originalidad de la solución propuesta	Evaluación cualitativa (1–5) sobre integración de tecnologías emergentes (e.g., baterías LFP, sistemas híbridos).	≥ 4/5

Nota: La Tabla 12 reúne de forma estructurada los indicadores clave de innovación del proyecto (cada métrica con su definición y meta asociada); la utilizamos para medir objetivamente el progreso de las iniciativas, garantizar la toma de decisiones informada y promover la mejora continua en el desarrollo del sistema fotovoltaico.

7.3 Plan de medición y evaluación continua

Tabla 17.
Métricas para medición OKR 1. Fuente, elaboración propia.

Objetivo 1: Optimizar el diseño eléctrico mediante monitoreo en tiempo real					
Métrica	Fuente / Herramienta	Frecuencia	Responsable	Reporte	Acción Correctiva
1. Frecuencia de pruebas rápidas	Bitácora de prototipos (Jira)	Semanal	Equipo I+D	Dashboard semanal	Revisar cuellos de botella en pruebas
2. Nuevas fuentes de información	Configuraciones del dashboard	Mensual	Lead de Data	Informe mensual	Priorizar incorporación de variables faltantes
3. Rapidez en aplicar mejoras	Fecha propuesta vs. fecha deploy	Tras cada release	DevOps	Reporte en pipeline CI/CD	Ajustar procesos de revisión / aprobación
4. Uso de análisis automático	Logs de ML/alertas	Diario	Data Scientist	Alerta en plataforma de monitoring	Revisar precisión de reglas o modelos
5. Satisfacción de primeros usuarios	Encuesta online (Typeform/SurveyMonkey)	Mensual	Product Owner	Resumen en reunión mensual	Profundizar entrevistas cualitativas

Nota: El monitoreo en tiempo real permite identificar ineficiencias, prever fallos y ajustar el diseño eléctrico según el comportamiento real del sistema, mejorando la seguridad, la eficiencia energética y la toma de decisiones.

ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA, ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EN LA AGROPECUARIA LA MILAGROSA, SAN DIEGO, CESAR.

Tabla 18.

Métricas para medición OKR 2. Fuente, elaboración propia.

Objetivo 2: Asegurar la continuidad del suministro frente a variaciones de red					
Métrica	Fuente / Herramienta	Frecuencia	Responsable	Reporte	Acción Correctiva
1. Robustez del sistema digital	Inventario de componentes	Trimestral	IT Manager	Informe trimestral	Plan de redundancia o upgrade de equipos
2. Actualización del plan de emergencia	Versionado del documento	Después de cada simulacro	Operaciones	Acta de simulacro + actualización	Incorporar lecciones aprendidas inmediatamente
3. Simulacros con apoyo de simulación	Registro de simulacros	Semestral	Jefe de Operaciones	Dashboard de simulacros	Capacitación adicional y ajustes en software
4. Velocidad de alerta ante fallos de red	Logs de SIEM / plataforma de alertas	Continuo	Seguridad TI	Alerta inmediata + resumen diario	Refinar umbrales y reglas de detección
5. Grado de automatización del respaldo	Logs de control de respaldo	Mensual	Mantenimiento	Reporte mensual de activaciones	Ajustar lógica de conmutación automática

Nota: Implementar sistemas de protección y respaldo permite mantener la operación continua ante caídas de tensión, picos de carga u otras perturbaciones, garantizando estabilidad y confiabilidad en el suministro eléctrico.

Tabla 19.

Métricas para medición OKR 3. Fuente, elaboración propia.

Objetivo 3: Optimizar el dimensionamiento energético dinámico del criadero					
Métrica	Fuente / Herramienta	Frecuencia	Responsable	Reporte	Acción Correctiva
1. Exactitud de las predicciones	Comparativa modelo vs. real	Mensual	Data Scientist	Informe de validación mensual	Retrain o ajustar hiperparámetros
2. Rapidez de ajuste del modelo	Tiempo de pipeline ML	Tras cada ciclo de datos	MLOps	Dashboard de entrenamiento	Optimizar ETL y recursos de cómputo
3. Cantidad de sugerencias generadas	Logs de recomendaciones	Mensual	Analista Energético	Listado mensual de insights	Revisar umbrales de generación de reglas
4. Adopción de las recomendaciones	Informe de operaciones	Mensual	Jefe de Planta	KPI en reunión operativa	Taller de sensibilización / workshops
5. Energía efectivamente ahorrada	Facturas y datos de consumo	Mensual (primer mes intensivo)	Finanzas	Informe de ahorro mensual	Recalibrar modelo o mejorar ejecución

Nota: El dimensionamiento energético dinámico permite ajustar el consumo a las necesidades reales del criadero, mejorando la eficiencia, reduciendo costos operativos y garantizando un ambiente óptimo para el desarrollo de las especies.

Tabla 20.

Métricas para medición OKR 4. Fuente, elaboración propia.

Objetivo 4: Seleccionar la solución de respaldo más costo-eficiente					
Métrica	Fuente / Herramienta	Frecuencia	Responsable	Reporte	Acción Correctiva
1. Nivel de detalle análisis C-B	Checklist de criterios	Único (entrega)	Analista Financiero	Informe final	Incorporar criterios faltantes en versiones anteriores
2. Rapidez en proyecciones financieras	Tiempos de script / software	Por escenario	Equipo de FP&A	Bitácora de modelado	Optimizar plantillas / automatizar cálculos
3. Grado de uso de herramientas digitales	Repositorios / reportes BI	Durante estudio	PM Digital	Dashboards de progreso	Migrar más pasos a plataformas colaborativas
4. Rondas de feedback con stakeholders	Actas y versiones de documento	Hasta aprobación	PM del Proyecto	Registro de reuniones	Asegurar convocatorias y seguimiento puntual
5. Originalidad de la solución elegida	Evaluación cualitativa	Entrega de propuesta	Comité Técnico	Informe de innovación	Revisar tecnologías emergentes adicionales

Nota: Elegir una solución de respaldo adecuada implica balancear inversión, mantenimiento y confiabilidad, priorizando tecnologías que ofrezcan continuidad operativa al menor costo total a lo largo del tiempo.

8 Plan de gestión del cambio y adopción

Para asegurar la correcta transición al sistema solar fotovoltaico y su operación sostenible en la Agropecuaria La Milagrosa, este plan contempla tres pilares: comunicación, capacitación y fomento de una cultura de innovación continua.

8.1 Estrategia de comunicación interna y externa

Tabla 21.
Estrategia de comunicación para optimizar desarrollo del proyecto. Fuente, elaboración propia.

Público	Mensaje clave	Canal	Frecuencia	Responsable
Equipo operativo	Beneficios técnicos y su rol en la operación diaria	Reuniones presenciales, WhatsApp	Semanal (durante la implantación) / Quincenal (operación)	Jefe de Operaciones
Gerencia y finanzas	Indicadores financieros (ROI, payback, ahorros proyectados)	Informes ejecutivos, email	Mensual	Director de Proyecto
Stakeholders externos (proveedores, entes gubernamentales)	Avances del proyecto, beneficios ambientales y sociales	Boletines, webinars, redes sociales corporativas	Trimestral	Coordinador de Comunicaciones
Comunidad local	Impacto ambiental positivo y oportunidades de empleo	Charlas comunitarias, folletos	Bimensual	Oficial de RSE

Nota: La tabla muestra a todos los actores del proyecto y como son los atributos de la gestión de la comunicación entre ellos.

- **Mensajes clave:** Ahorro financiero, reducción de emisiones, creación de capacidades locales.
- **Canales digitales:** Plataforma interna (intranet o Google Workspace), WhatsApp Business para alertas operativas.
- **Feedback:** Formulario breve tras cada sesión para ajustar mensajes, resolver dudas y hacer seguimiento efectivo.

8.2 Plan de capacitación y desarrollo de competencias

Tabla 22.
plan de capacitación. Fuente, elaboración propia.

Módulo	Objetivo	Duración	Participantes	Metodología	Evaluación
1. Fundamentos de energía solar	Explicar principios básicos de PV, tipos de paneles e inversores.	4 h	Técnicos de instalación	Clase magistral + videos	Quiz de comprensión (≥80 %)
2. Operación y monitoreo del sistema	Manejo de plataforma SCADA, interpretación de datos de rendimiento y alarmas.	6 h	Operarios y supervisores	Taller práctico in situ	Caso práctico (resolución de alarmas)
3. Mantenimiento preventivo y correctivo	Procedimientos de limpieza, revisión de conexiones, sustitución de componentes y registros en bitácora.	6 h	Técnicos de mantenimiento	Demostración + hands-on	Checklist de habilidades
4. Seguridad eléctrica y ambiental	Protocolos de bloqueo/etiquetado (“lockout/tagout”), uso de EPP y manejo de residuos de baterías y paneles al final de vida útil.	4 h	Todo el personal involucrado	Simulaciones de riesgos	Simulación de incidentes (score)
5. Mejora continua y reporte de KPIs	Uso del dashboard, análisis de tendencias y propuesta de ajustes operativos a partir de datos de rendimiento.	4 h	Supervisor y analista de datos	Taller con casos reales	Elaboración de mini-informe

Nota: La tabla muestra como es el plan de mejora y capacitación, teniendo en cuenta diferentes características que se evidencia deficiencias para que conocer y entender de gran manera el proyecto.

- **Cronograma:** 5 sesiones semanales, una por módulo, durante el primer mes tras la instalación.
- **Certificación interna:** Emisión de constancias tras aprobación de evaluaciones; actualización anual.
- **Herramientas de e-learning:** Plataforma Moodle o Google Classroom para módulos teóricos y foros de discusión.

8.3 Cultura de innovación y mejora continua

- Comité de Innovación Energética
 - Composición: PMO, Ingeniero Solar, Representante de Operaciones y Analista de Datos.
 - Funciones: Revisión trimestral de KPIs, validación de propuestas de mejora y pilotaje de nuevas ideas (p.ej. optimización de orientaciones de paneles, algoritmos de control de inversores).
- Ciclo PDCA (Deming)
 - Plan: Identificar oportunidades a partir de datos de monitoreo.
 - Do: Implementar pruebas piloto a pequeña escala.
 - Check: Evaluar resultados vs. KPI objetivo (disponibilidad, eficiencia).
 - Act: Estandarizar prácticas exitosas.
- Espacio de innovación abierta

- Buzón digital y físico para sugerencias de mejora (“Kaizen”), con recompensa semestral a la idea más impactante.
- Hackathons internos cada 6 meses para que equipos multidisciplinares propongan optimizaciones técnicas o de procesos.
- Aprendizaje organizacional
 - Lecciones aprendidas documentadas tras cada sprint y publicadas en la intranet.
 - Rotación de roles: cada 6 meses, técnicos pasan por operación, monitoreo y mantenimiento para comprender el sistema en su totalidad.
- KPIs de mejora continua
 - Reducción de tiempo de respuesta a alarmas (< 30 min)
 - Incremento anual de la eficiencia del sistema (> 1 % anual)
 - Número de sugerencias implementadas (objetivo ≥ 5 al año)

Con esta estrategia, la Agropecuaria La Milagrosa no solo adoptará el sistema solar con éxito, sino que cimentará una cultura organizacional orientada a la innovación, la participación activa de su personal y la mejora constante de sus procesos energéticos.

9 Conclusiones y próximos pasos

9.1 Resumen de puntos clave

- El análisis demuestra que la implementación de un sistema solar fotovoltaico de 300 kWp en la Piscícola La Milagrosa es técnica, económica y ambientalmente viable.
Con una capacidad diseñada para cubrir el 100 % del consumo diario de 1.200 kWh

(\approx 440 MWh anuales), se garantiza la continuidad operativa de bombeo y aireación sin recurrir a la red convencional.

- Teniendo en cuenta el rol de la energía en la piscicultura, se identificaron los procesos de bombeo y aireación como los que concentran hasta el 40 % de los costos energéticos, justificando el dimensionamiento del sistema en 300 kWp, con 625 módulos monocristalinos y tres inversores de 100 kW cada uno.
- En función del dimensionamiento técnico, El sistema, con una eficiencia promedio del 80 % y 5 horas pico solares diarias, se adapta a las condiciones climáticas de San Diego (\approx 4,8 kWh/m²·día), asegurando un suministro fiable y flexible.
- La viabilidad económica y ROI en el escenario sin baterías, la inversión inicial de COP \$818.160.000,00 se traduce en un ahorro neto de COP \$1.530.547.697,00 en cinco años, una TIR del 17,08 % anual, un VPN de COP \$509.017.703,00 y un plazo de recuperación de 3,08 años. El caso con baterías, con un desembolso de COP \$4.658.160.000,00, arroja TIR negativa (-21,9 %), VPN -COP \$2.281.980.787,00 y payback de 9,8 años, indicando que la configuración recomendada es sin almacenamiento adicional.
- En la alineación con políticas ambientales y ODS, se concluye que la sustitución de energía de red evita la emisión de más de 170 tCO₂/año (factor de 1 kg CO₂/kWh), aportando directamente a los ODS 7 y 13 y cumpliendo los lineamientos de la Ley 1715 de 2014.

- La adopción de fuentes limpias permitirá certificar a la agropecuaria con estándares ISO 14001 y Etiqueta de Energía Renovable, fortaleciendo su reputación y acceso a créditos verdes, mejorando notablemente la imagen corporativa de la compañía.
- Para el plan de implementación, se concluye que la mejor opción por la naturaleza del proyecto es un roadmap híbrido (PMBOK + sprints ágiles) que estructura fases de descubrimiento, prototipado, pilotaje y escalamiento, con entregables claros en cada etapa y un cronograma total de 18 sprints de dos semanas más sprint inicial y cierre.
- La propuesta modular es replicable en al menos tres unidades adicionales de la región en los próximos dos años, gracias a un “kit técnico” estandarizado y al crecimiento previsto del 50 % en capacidad instalada en 5 años. Además, la capacitación de 10 técnicos locales y el establecimiento de un comité de sostenibilidad asegurarán la transferencia de conocimientos y la mejora continua mediante KPIs trimestrales.
- En conjunto, estos hallazgos respaldan plenamente los objetivos planteados y cierran el estudio con una recomendación clara: avanzar con la instalación de un sistema fotovoltaico de 300 kWp sin almacenamiento por baterías, garantizando rentabilidad financiera a corto plazo, mitigación de emisiones y generación de valor estratégico para Agropecuaria La Milagrosa.

10 Bibliografía

- Avnimelech, Y. (2012). Control of microbial activity in aquaculture systems: active suspension ponds. *World Aquaculture*, 19-21.
- Badiola, M., Basurko, O., Piedrahita, R., Hundley, P., & Mendiola, D. (2018). Energy use in Recirculating Aquaculture Systems (RAS): A review. *Aquacultural Engineering*, 57-70.

- Crab, R., Defoirdt, T., Bossier, P., & Verstraete, W. (2012). Biofloc technology in aquaculture: Beneficial effects and future challenges. *Aquaculture*, 351-356.
- DANE. (2022). *Boletín Estadístico Sectorial Agropecuario*. gobierno de colombia.
- Ebeling, J., Timmons, M., & Bisogni, J. (2000). Engineering analysis of the energy use in recirculating aquaculture systems. *Aquacultural Engineering*, 17-27.
- FAO. (2018). *The state fisheries and aquaculture*. roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2020). *Contexto y Viabilidad de la Implementación de Energía Solar en Sistemas Piscícolas Rurales*. FAO.
- FAO. (2022). THE STATE OF WORLD FISHERIES AND ACUACULTURE. *FAO*.
- IDEAM. (2017). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*. Bogota: IDEAM.
- IEA. (2023). WORLD ENERGY OUTLOOK. *INTERNATIONAL ENERGY*.
- IRENA. (2022). *RENEWABLE POWER GENERATIONS COSTS IN 2021*. ABU DHABI: IRENA.
- Ocampo, A. M., & Valencia Correa, T. (2020). *Evaluación técnica y económica de comparar 3 sistemas de producción*.
- Panwar, N., Kaushik, S., & Kothari, S. (2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1513-1524.
- Rastegari, H., Nadi, F., Lam, S., & Mhd, I. (2023). Internet of Things in aquaculture: A review of the challenges and potential solutions based on current and future trends. *Smart Agricultural Technology*.
- Tacon, A., & Metian, M. (2015). Feed Matters: Satisfying the Feed Demand of Aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1-10.
- Timmons, M., & Ebeling, J. (2012). *Recirculating Aquaculture Systems*.
- Zhang, Y., Li, Y., & Zhu, D. (2015). Development of a wireless sensor network for real-time water quality monitoring in aquaculture. *Sensors*, 17160–17173.