

**Plan de negocio para la implementación de sistemas de oxigenación con energía solar  
fotovoltaica, en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de**

**Lebrija Santander**

**María Angelica Villalba Santiago**

**Trabajo de grado para optar el título de Administrador de Empresas Agropecuarias**

**Director**

**Fanny Bernarda Patiño Becerra**

**Doctora en Educación**

**Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

**División de Ciencias Económicas, Administrativas y Contables**

**Facultad Administración de Empresas Agropecuarias**

**2026**

### **Dedicatoria**

A Dios, en primer lugar, por concederme el don de la vida y por guiar cada uno de mis pasos. Sin Él, nada de esto habría sido posible. Su fortaleza y bendiciones han sido el sostén fundamental para alcanzar esta meta.

A mis padres, quienes desde el cielo me acompañan y me cuidan. Ellos fueron los pilares que formaron a la persona que soy hoy, inculcándome valores, amor y perseverancia. De manera muy especial, a mi padre Reinel Villalba, el ángel más hermoso que tengo, cuya presencia y enseñanzas viven eternamente en mi corazón y son una fuente constante de inspiración.

A mi hijo José Carlos, mi mayor motivación y razón para seguir adelante. Su amor, su sonrisa y su existencia han sido el impulso más grande para no rendirme y luchar por alcanzar mis sueños.

Finalmente, a la docente Fanny Patiño, quien ha sido mucho más que una guía académica. Su apoyo, comprensión y amistad incondicional han sido fundamentales a lo largo de este proceso, brindándome confianza y acompañamiento en cada etapa de este logro.

A todos ellos, mi más profundo y sincero agradecimiento.

María Angelica Villalba Santiago.

### **Agradecimientos**

Agradezco a la Universidad Santo Tomás por brindarme las herramientas académicas y el respaldo institucional necesarios para el desarrollo de este proyecto.

Mi reconocimiento a la Dra. Fanny Bernarda Patiño Becerra por liderar la dirección de este trabajo con dedicación y acierto.

Dedico también este esfuerzo a los piscicultores de la vereda Lisboa en el municipio de Lebrija Santander, confiando en que esta propuesta se convierta en una herramienta útil para lograr implementar sistemas solares fotovoltaicos en cultivos intensivos de tilapia roja, aumentando su competitividad y estabilidad familiar.

## Contenido

Introducción .....	13
1. Plan de negocio para la implementación de sistemas de oxigenación con energía solar fotovoltaica, en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.....	15
1.1 Planteamiento del problema.....	15
1.2 Formulación del problema .....	17
2. Objetivos .....	18
2.1 Objetivo general.....	18
2.2 Objetivos específicos .....	18
3. Justificación .....	19
4. Marco referencial .....	21
4.1 Marco teórico.....	21
4.1.1 Teoría de la sostenibilidad y desarrollo rural.....	21
4.1.2 Teoría de porter: identificación de ventajas competitivas .....	22
4.1.3 Enfoque de la gestión estratégica.....	23
4.1.4 Modelos para de la evaluación financiera de proyectos .....	23
4.2 Marco conceptual.....	24
4.2.1 Autogenerador de pequeña escala con excedentes (AGPE) .....	24
4.2.2 Batería de Litio Ferro-fosfato (LiFePO4) .....	24
4.2.3 Energía solar fotovoltaica .....	25
4.2.4 Inversor híbrido.....	25

PLAN DE NEGOCIO OXIGENACIÓN SOLAR PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA	5
4.2.5 kWp (Kilovatio Pico).....	25
4.2.6 Sistemas intensivos .....	25
4.2.7 Sistemas de oxigenación .....	26
4.2.8 Plan de negocio .....	26
4.2.9 Tilapia roja.....	26
5. Diseño metodológico .....	27
5.1 Tipo de estudio.....	27
5.2 Población y muestra.....	27
5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información .....	28
5.3.1 Análisis documental.....	29
5.4 Fases del proyecto.....	30
5.4.1 Fase 1: análisis del contexto .....	30
5.4.2 Fase 2: caracterización técnica del sistema.....	30
5.4.3 Fase 3: análisis financiero.....	31
6.Contextualización y análisis técnico del proyecto .....	32
6.1 Análisis del contexto.....	32
6.2 Caracterización técnica del sistema .....	34
6.2.1 Costos operativos del consumo de energía eléctrica del proyecto y variables de producción .....	35
6.2.2 Determinación del costo unitario (CU) – ESSA- EPM 2026 .....	36
6.2.3 Cálculo del consumo de energía eléctrica mensual (kWh) .....	37
6.2.3.1 Cálculo del consumo de energía mensual (kWh) de la casa. ....	37

PLAN DE NEGOCIO OXIGENACIÓN SOLAR PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA	6
6.2.3.2 Cálculo del consumo de energía mensual (kWh) de las cargas y consumo de energía eléctrica de la casa. ....	38
6.2.3.3 Costo de facturación de energía eléctrica del proyecto. ....	39
6.2.4 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico .....	41
6.2.4.1 Acometida monofásica trifilar (120/240V).....	41
6.2.4.2 Datos de partida y recurso solar.....	42
6.2.4.3 Potencia del sistema solar fotovoltaico.....	42
6.2.5 Selección y cálculo de los paneles solares.....	42
6.2.5.1 Tecnología paneles solares. ....	42
6.2.5.2 Características técnicas paneles solares.....	43
6.2.5.3 Cantidad de paneles. ....	43
6.2.5.4 Montaje, ubicación y área efectiva de los paneles solares.....	44
6.2.6 Selección del inversor cargador híbrido con inyección a red .....	45
6.2.6.1 Tecnología y selección del inversor cargador híbrido con inyección a red.....	45
6.2.6.2 Ficha técnica del inversor cargador híbrido con inyección a red.....	46
6.2.7 Selección y cálculo del sistema de respaldo (baterías para 4 horas).....	47
6.2.7.1 Tecnología sistema de respaldo baterías.....	47
6.2.7.2 Características Técnicas del dimensionamiento baterías.....	48
6.2.7.3 Capacidad requerida en amperios-hora (Ah) baterías.....	48
6.2.7.4 Selección del módulo de batería. ....	48
6.2.7.5 Cálculo de unidades de batería. ....	49
6.2.8 Protecciones eléctricas y cableado.....	49
6.2.9 Medidor bidireccional.....	49

PLAN DE NEGOCIO OXIGENACIÓN SOLAR PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA	7
6.3 Análisis financiero .....	49
6.3.1 Implementación de la Ley 1715 de 2014.....	50
6.3.2 Exclusión de IVA (19%).....	51
6.3.3 Exención de derechos arancelarios .....	51
6.3.4 Presupuestos.....	51
6.3.5 Ahorro autoconsumo energía solar Vs. ESSA .....	52
6.3.6 Ahorro por neteo o balance neto del proyecto.....	54
6.3.7 Ahorro total del proyecto.....	56
6.3.8 Proyección flujo de caja a 5 años del proyecto.....	57
6.3.9 Proyección a 15 años, renovación del inversor del sistema solar fotovoltaico.....	59
6.3.10 Proyección a 25 años: vida útil de paneles solares y a 15 años baterías funcionando como respaldo.....	60
7. Evaluación financiera y ambiental.....	62
7.1 Evaluación financiera.....	62
7.1.1 Tasa de costo de oportunidad.....	62
7.1.2 Valor presente neto (VPN).....	63
7.1.3 Tasa interna de retorno (TIR) .....	63
7.1.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI) .....	63
7.2 Estudio ambiental y social .....	64
7.2.1 Beneficios ambientales: el respiro del ecosistema.....	64
7.2.2 Mitigación de la contaminación auditiva.....	65
7.2.3 Preservación de fuentes hídricas .....	65
7.2.4 Beneficios sociales: seguridad y progreso rural.....	66

PLAN DE NEGOCIO OXIGENACIÓN SOLAR PRODUCCIÓN DE TILAPIA ROJA	8
7.2.5 Oportunidades de mejoramiento: hacia la economía circular .....	66
7.2.5.1 Gestión responsable de residuos (Baterías). .....	66
7.2.5.2 Aprovechamiento de excedentes para biofiltros. ....	66
7.2.5.3 Sello verde y valor agregado.....	67
7.2.6 Plan de manejo ambiental (PMA).....	67
7.2.6.1 Programa de manejo de residuos especiales (RESPEL). ....	67
7.2.6.2 Programa de control de emisiones y confort acústico. ....	68
7.2.6.3 Programa de gestión eficiente del agua. ....	68
7.2.6.4 Programa de mantenimiento y buenas prácticas. ....	68
8. Conclusiones.....	69
9. Recomendaciones .....	71
Referencias.....	74
Apéndices.....	79

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1.</b> <i>Selección de instrumentos</i> .....	29
<b>Tabla 2.</b> <i>Cuadro de cargas estimado y consumo en kWh mensual de energía eléctrica de la casa</i> .....	38
<b>Tabla 3.</b> <i>Costos consumo de energía eléctrica fases de levante – engorde y consumo eléctrico de la casa</i> .....	39
<b>Tabla 4.</b> <i>Presupuesto del sistema solar fotovoltaico de 20 kWp, conectado a la red, con excedentes.</i> .....	52
<b>Tabla 5.</b> <i>Ahorro autoconsumo energía solar Vs ESSA</i> .....	54
<b>Tabla 6.</b> <i>Flujo de caja proyectado a 5 años del proyecto</i> .....	58
<b>Tabla 7.</b> <i>Flujo de caja proyectado a 25 años: vida útil de paneles solares y a 15 años baterías funcionando como respaldo</i> .....	60

**Lista de apéndices**

**Apéndice A.** *Informe potencial fotovoltaico Lebrija Santander* ..... 79

**Apéndice B.** *Ficha Técnica panel monocristalino trina solar 620 W tecnología PERC y Half-Cell.*  
..... 821

**Apéndice C.** *Ficha Técnica inversor cargador marca deye híbrido trifilar (120/240V) con  
inyección a red*..... 843

**Apéndice D.** *Ficha Técnica batería litio lifePO4 de 48V / 100Ah* ..... 876

### Resumen

En la vida moderna, el acceso a la energía es crucial para sostener las actividades productivas y la piscicultura no es la excepción. La producción de tilapia roja, en particular, se ha convertido en un pilar de la economía rural en Colombia, impulsada por la adopción de sistemas intensivos que integran el uso de energías renovables. La investigación se desarrolló siguiendo una metodología con enfoque cuantitativo para dar solución a este problema, que afecta la sostenibilidad y rentabilidad de la piscicultura. El análisis logró determinar los beneficios económicos del uso de los paneles solares, frente a los costos de inversión inicial de su instalación al incorporarlo al sistema intensivo para la producción de tilapias en tanques en geomembrana. Se presentan los diferentes aspectos de un plan de negocios que aplica la teoría de la sostenibilidad, que buscan un equilibrio entre la viabilidad económica, la responsabilidad social y la protección ambiental; por otra parte, se incorporan principios del análisis económico y financiero, donde se estudiaron los costos de inversión inicial, los costos operativos a largo plazo, el retorno de la inversión y los análisis de riesgo.

*Palabras clave:* aireadores, energía solar fotovoltaica, piscicultura sostenible, sistema intensivo, oxigenación.

### **Abstract**

In modern life, access to energy is crucial to sustaining productive activities, and fish farming is no exception. Red tilapia production, in particular, has become a pillar of the rural economy in Colombia, driven by the adoption of intensive systems that integrate the use of renewable energy. The research utilized a quantitative methodology to address this problem, which affects the sustainability and profitability of fish farming. The analysis aims to determine the economic benefits of using solar panels versus the initial investment costs of their installation when incorporated into the intensive system for tilapia production in geomembrane tanks. The paper presents the different aspects of a business plan that applies sustainability theory, seeking a balance between economic viability, social responsibility, and environmental protection. It also incorporates principles of economic and financial analysis, examining initial investment costs, long-term operating costs, return on investment, and risk analysis.

*Keywords:* aerators, photovoltaic solar energy, sustainable fish farming, intensive system, oxygenation.

## **Introducción**

A medida que los costos de la energía continúan aumentando y la conciencia sobre el cambio climático se vuelve más urgente, es esencial que el sector productivo busque alternativas energéticas más limpias y económicas. La energía solar fotovoltaica emerge como una solución prometedora que, no solo podría reducir los costos operativos a largo plazo, sino también mitigar el impacto ambiental. Sin embargo, la falta de información clara y objetiva sobre su factibilidad en el contexto específico de la piscicultura intensiva en el municipio de Lebrija- Santander, representa una barrera para su adopción generalizada.

Este trabajo de grado busca evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de implementar sistemas de oxigenación con energía solar fotovoltaica en cultivos intensivos de tilapia roja para el municipio de Lebrija, Santander. Se determina el potencial de una zona rural en el municipio, para evaluar la implementación de este sistema con energía solar fotovoltaica, logrando una producción ambiental y económicamente sostenible.

Para evaluar la viabilidad técnica del proyecto se realizó el análisis y selección de los componentes del sistema solar y los costos; se garantizó el cumplimiento de la normatividad vigente, aportándole funcionalidad, seguridad y eficiencia a las instalaciones. Con el análisis financiero se definieron los costos de inversión inicial, los costos operativos a largo plazo; la recopilación de costos sobre el consumo energético actual de los cultivos piscícolas; los datos relacionados con los costos de la electricidad por facturación o Kw/hora cobrada por el operador de red, fueron determinantes para establecer el retorno de la inversión, la financiación, la viabilidad económica y los tiempos para alcanzar el punto de equilibrio.

El documento está organizado por capítulos, iniciando con el planteamiento del problema y la formulación de la pregunta de investigación; en el segundo capítulo se presenta la justificación; el tercer capítulo establece los objetivos; el cuarto capítulo muestra la fundamentación teórica; el quinto capítulo describe el diseño metodológico que organiza las acciones propias del trabajo investigativo; el sexto capítulo establece los datos geográficos y técnicos del proyecto, así como evaluación financiera y el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, el séptimo capítulo presenta las conclusiones y finalmente en el capítulo octavo se muestran las recomendaciones.

# **1. Plan de negocio para la implementación de sistemas de oxigenación con energía solar fotovoltaica, en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander**

## **1.1 Planteamiento del problema**

Internacionalmente, la integración de energías renovables en la piscicultura no es una idea nueva. En países con alta radiación solar como China y la India, se han documentado proyectos que utilizan la energía fotovoltaica para alimentar sistemas de acuaponía y oxigenación. Un caso notable es el de la acuavoltaica, donde los paneles solares flotantes no solo generan electricidad, también ayudan a regular la temperatura del agua y reducir el estrés en los peces (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (Min Ambiente, 2021).

La acuicultura ha evolucionado a nivel global, y Colombia no es una excepción. El sector ha experimentado una transición de métodos de cultivo rústicos y tradicionales hacia sistemas más tecnificados e intensivos para maximizar la producción por unidad de área (Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP], 2024). Sin embargo, esta modernización ha traído consigo nuevos desafíos, especialmente en lo que respecta a la dependencia energética de equipos de aireación y bombeo.

En el municipio de Lebrija, Santander, el cultivo intensivo de tilapia roja ha ganado popularidad, pero la necesidad de mantener altos niveles de oxígeno en los estanques de geomembrana, ha elevado significativamente los costos operativos asociados al consumo eléctrico. Estos sistemas, aunque altamente productivos, dependen significativamente de la energía eléctrica para el funcionamiento de los aireadores, los cuales son vitales para garantizar la calidad del agua y la supervivencia de los peces (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] &

Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP], 2024). No obstante, esta dependencia genera una alta vulnerabilidad ante las fluctuaciones en el precio de la energía y los cortes de servicio, lo que afecta directamente la rentabilidad y sostenibilidad de los cultivos.

A nivel nacional, la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) ha resaltado la necesidad de optimizar el consumo de energía en el sector productivo para mejorar la competitividad. Estudios han revelado que los costos energéticos pueden representar hasta el 30% de los gastos operativos en la acuicultura, lo que subraya la urgencia de buscar alternativas rentables. Sin embargo, a pesar de la existencia de tecnologías y la promoción de políticas de transición energética, los productores locales de Lebrija carecen de una evaluación integral que les permita tomar decisiones informadas sobre la viabilidad de la energía solar en sus propios cultivos.

El sector piscícola en Colombia ha experimentado una transición significativa en los últimos años, migrando de métodos tradicionales de cultivo a sistemas intensivos con el fin de aumentar la productividad por unidad de área (AUNAP, 2024). Específicamente, en el municipio de Lebrija, Santander, la producción de tilapia roja en estanques de geomembrana de alta densidad se ha popularizado, permitiendo un control más estricto del ambiente de cultivo y mejorando la supervivencia de los peces. Sin embargo, esta tecnificación ha creado una dependencia crítica de la energía eléctrica convencional, principalmente para el funcionamiento de los aireadores, los cuales son vitales para mantener los niveles de oxígeno disuelto en el agua.

Esta dependencia plantea dos desafíos fundamentales. En primer lugar, la energía eléctrica es uno de los mayores costos operativos en los sistemas intensivos, representando entre el 20% y el 30% del total de los gastos, lo que afecta directamente la rentabilidad de los productores (UPME, 2022). En segundo lugar, la vulnerabilidad de la red eléctrica ante los fenómenos climáticos como

El Niño y los cortes de servicio, pone en riesgo toda la producción. Una interrupción del suministro, incluso por unas pocas horas, puede llevar a la mortalidad masiva de los peces.

A pesar de que el país está promoviendo el uso de energías renovables no convencionales, como la solar, para reducir la dependencia de combustibles fósiles (Min Ambiente, 2021), la adopción de esta tecnología en la piscicultura aún es incipiente. Los piscicultores locales carecen de información clara y objetiva sobre la factibilidad técnica y económica de integrar sistemas de oxigenación con energía solar fotovoltaica, los diseños e implementaciones con energías limpias, la inversión inicial de sistemas solares fotovoltaicos, el cumplimiento de la normatividad vigente y de la seguridad para instalaciones eléctricas con energía solar fotovoltaica y la necesidad de un suministro 24/7 para garantizar la supervivencia de los peces. Tampoco tienen conocimiento de los posibles riesgos y oportunidades asociadas a esta transición, lo que limita su capacidad para tomar decisiones informadas.

Por lo tanto, la falta de un análisis integral que valide la viabilidad de la oxigenación solar como alternativa a la energía convencional, se ha convertido en una barrera significativa para la sostenibilidad económica y ambiental de la producción de tilapia en Lebrija. Abordar esta problemática es crucial para garantizar la continuidad y el crecimiento del sector piscícola en la región y en el país.

## **1.2 Formulación del problema**

¿Cómo formular un plan de negocios para la implementación de sistemas de oxigenación con energía solar fotovoltaica, en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander?

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

Evaluar la viabilidad técnica, económica y financiera de implementar sistemas de oxigenación con energía solar fotovoltaica para la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Identificar los costos operativos y las variables de producción (consumo energético, costos eléctricos, tasas de mortalidad, etc.) en las diferentes fases de la producción de tilapia en sistemas intensivos tradicionales determinando los requisitos del sistema y su incidencia en la viabilidad del proyecto.

- Evaluar técnicamente el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico para suplir las necesidades energéticas de los aireadores, para la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.

- Realizar una evaluación financiera, que compare la inversión inicial y los costos operativos del sistema fotovoltaico frente a la energía convencional, en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.

- Evaluar los beneficios y oportunidades de mejoramiento ambiental y social al implementar los sistemas de paneles solares para la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.

### 3. Justificación

La piscicultura en Colombia es un sector económico con gran potencial de crecimiento, pero aún enfrenta desafíos que limitan su desarrollo sostenible. Según el MADR y la AUNAP, la producción total de peces cultivados alcanzó aproximadamente 177.000 toneladas en 2023, lo que representa un aumento de casi el 10% en comparación con el año anterior y en el caso particular para el año 2023, la tilapia roja y plateada representó cerca del 63% de la producción, mientras que la trucha contribuyó con el 26% (MADR & AUNAP, 2024). Las exportaciones de productos piscícolas colombianos, especialmente de tilapia y trucha, han mostrado un crecimiento notable. En 2023, las exportaciones superaron los 90 millones de dólares, con los principales mercados en Estados Unidos y la Unión Europea (AUNAP & DANE, 2024).

La transición de métodos de cultivo tradicionales hacia sistemas intensivos, particularmente en la producción de tilapia roja, ha incrementado la productividad por unidad de área, pero ha generado una dependencia crítica del suministro eléctrico para la aireación. En el municipio de Lebrija, Santander, esta situación es particularmente relevante, ya que las operaciones a menudo se ven afectadas por los altos costos de la energía y la vulnerabilidad ante interrupciones del servicio, lo que puede resultar en la pérdida total de la cosecha. La búsqueda de soluciones innovadoras que aborden estos problemas es, por lo tanto, una necesidad imperativa para el sector.

La implementación de sistemas de oxigenación alimentados por energía solar fotovoltaica se presenta como una alternativa viable y pertinente. Desde una perspectiva económica, esta solución ofrece la posibilidad de reducir significativamente los costos operativos a largo plazo, mitigando el riesgo asociado a las fluctuaciones en las tarifas eléctricas y garantizando un

suministro de energía constante y autónomo. Un estudio de la UPME (2022) destaca que los costos energéticos pueden representar hasta el 30% del gasto total en la industria acuícola, lo que subraya la importancia de encontrar alternativas eficientes.

Desde una perspectiva ambiental, el uso de energía solar contribuye a la sostenibilidad del sector al reducir la huella de carbono asociada al consumo de electricidad generada por fuentes convencionales. Esto se alinea con las políticas nacionales de transición energética y de desarrollo bajo en carbono, promovidas por entidades como el Min. Ambiente (2021). La propuesta de un modelo de negocio facilitará la adopción de esta tecnología, mejorando la competitividad de los productores locales y promoviendo la resiliencia de sus operaciones frente a los desafíos del mercado y el clima.

La presente investigación es relevante y oportuna, ya que busca llenar el vacío de información que existe en la región sobre la factibilidad de esta solución, ofreciendo una guía práctica para el desarrollo de una piscicultura más eficiente, rentable y sostenible en Lebrija si no que daría respuesta a la dependencia energética, mediante energías sostenibles, como lo es la Energía Solar Fotovoltaica, para satisfacer las demandas del mercado nacional e internacional, sino que también se contribuye a lograr las metas propuestas por la ONU (2015) en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que integran las dimensiones social, económica y ambiental del desarrollo y abordan desafíos globales como el hambre, la desigualdad, el cambio climático y la degradación del medio ambiente en nuestro país.

La innovación en la piscicultura hacia métodos intensivos en ambientes controlados con energía solar fotovoltaica representa una oportunidad significativa para mejorar la productividad y la calidad del producto final, al tiempo que se minimizan los impactos ambientales y se asegura la sostenibilidad a largo plazo del sector. Finalmente, desde una perspectiva social, el proyecto

busca empoderar a los piscicultores de la región, proporcionándoles una herramienta tecnológica para la toma de decisiones informadas.

## **4. Marco referencial**

### **4.1 Marco teórico**

Este proyecto se fundamenta en un marco teórico que integra principios de economía y sostenibilidad; para el desarrollo de un plan de negocios pueden considerarse diversas teorías administrativas desde las cuales se pueda orientar la gestión y la toma de decisiones estratégicas.

#### ***4.1.1 Teoría de la sostenibilidad y desarrollo rural***

El proyecto se enmarca en la teoría de la sostenibilidad tripartita, que considera los aspectos económicos, ambientales y sociales. La energía solar es una alternativa ambientalmente limpia que reduce la huella de carbono de los cultivos. Socialmente, la autonomía energética podría mejorar la calidad de vida de los productores y, económicamente, los hará más competitivos.

La sostenibilidad económica se evidencia en la adaptación del proyecto a las dinámicas del mercado, lograr la optimización del proceso productivo con la incorporación de tecnologías que puedan reducir los costos y aumentar los ingresos.

En cuanto a la sostenibilidad ambiental se consideran aspectos relacionados con la contaminación de fuentes de agua con desechos; la introducción de especies no nativas en los hábitats y el consumo de energía que impactan la huella de carbono. La Organización de las

Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2018) en recientes estudios ha señalado que en la acuicultura el impacto en la huella de carbono está relacionado con el uso de alimentos concentrados y el consumo de energía; en este sentido, se ha propiciado la búsqueda de otras fuentes de energía amigables con el ambiente, como la solar fotovoltaica.

La sostenibilidad social se relaciona con el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades generando empleo bien remunerado y aportando conocimientos para darle valor agregado. Se refiere a la capacidad que tiene la sociedad para conservar el equilibrio entre tres aspectos: el desarrollo económico, el bienestar social y la protección del medio ambiente (Gallega de Distribuidores de Alimentación [GADISA], 2022). La sostenibilidad social se evidencia en la cohesión social, la inclusión, la resiliencia y la legitimidad de los procesos (Barron et al., 2023, p. 4).

#### ***4.1.2 Teoría de porter: identificación de ventajas competitivas***

Esta teoría formulada por Porter (1985) afirma que las empresas pueden establecer las ventajas competitivas mediante estrategias de liderazgo basadas en los costos o mediante estrategias de diferenciación. Al proporcionar un valor superior a los compradores y usuarios, ofreciendo productos de calidad, características y servicios, se establecen las estrategias de diferenciación (Porter, 1985). Las empresas pueden competir con estrategias enfocadas en disminuir los costos de producción para afianzarse en el mercado; por otra parte, es posible establecer diferencias frente a los competidores al ofrecer mejoras en la calidad del producto, la sostenibilidad ambiental y la independencia energética.

En relación con el proyecto, se propone establecer los beneficios del uso de energía solar en el funcionamiento de los aireadores, generando ahorro en el uso de energía eléctrica y

disminuyendo las pérdidas generadas en la mortalidad de los peces por fallas en el suministro; de esta forma se define la estrategia de diferenciación.

#### ***4.1.3 Enfoque de la gestión estratégica***

Sin duda las empresas actualmente fortalecen los procesos de gestión estratégica, priorizando los procesos de formular, implementar y evaluar para alcanzar los objetivos estratégicos. Para el análisis se utiliza la matriz DOFA que define los actores externos e internos y su incidencia. En los procesos productivos, la gestión estratégica es asumida como una habilidad que desde el conocimiento puede generar, implementar y realizar la evaluación de las decisiones que, en cada fase, facilitan el logro de los objetivos (David, 2011).

En relación con el proyecto se utiliza este análisis para definir las oportunidades de mejoramiento de la competitividad con el ahorro en los costos de producción y las posibles ventajas derivadas de políticas públicas de apoyo al uso de energías renovables.

#### ***4.1.4 Modelos para de la evaluación financiera de proyectos***

Es importante determinar la viabilidad de los proyectos evaluando los riesgos y cuantificando variables como el valor del dinero y el tiempo; se construyen indicadores como la Tasa Interna de Retorno TIR para asegurar la rentabilidad potencial de los proyectos. Al calcular la TIR se pueden tomar decisiones sobre el valor de los gastos y los posibles ingresos. La TIR es una medición que puede interpretarse fácilmente, permite evaluar y comparar los rendimientos de un proyecto (Milanesi, 2018).

Para establecer los parámetros de viabilidad del proyecto es necesario calcular la TIR en un proyecto de producción de tilapia que implementa la energía fotovoltaica, comparándolo con un proyecto de explotación tradicional.

## **4.2 Marco conceptual**

El marco conceptual define los términos y conceptos clave del proyecto para asegurar una comprensión clara y unificada.

### ***4.2.1 Autogenerador de pequeña escala con excedentes (AGPE)***

Es la categoría legal bajo la cual se registra este proyecto. Se refiere a los usuarios que producen energía principalmente para atender sus propias necesidades (como la oxigenación de la tilapia y el consumo de la casa), pero que, al tener una capacidad instalada (19,17 kWp) que a veces supera su consumo instantáneo, entregan el sobrante a la red de la ESSA. Según la Resolución CREG 174 de 2021, estos excedentes se valoran y se compensan en la factura de energía, permitiendo que el medidor genere créditos a favor del productor.

### ***4.2.2 Batería de Litio Ferro-fosfato (LiFePO4)***

Tecnología de almacenamiento de energía de última generación, elegida para este proyecto por su larga vida útil (hasta 15 años) y su alta seguridad térmica en comparación con las baterías de plomo tradicionales.

#### ***4.2.3 Energía solar fotovoltaica***

Es la energía obtenida directamente de la radiación solar mediante la conversión fotovoltaica. Un sistema fotovoltaico se compone de paneles, inversores, controladores y baterías. Los sistemas que utilizan la energía solar en proyectos productivos agropecuarios muestran una gran viabilidad, al comparar los costos iniciales de instalación y los ahorros de energía convencional que se generan a largo plazo; esto se logra con una evaluación de la inversión inicial y el tiempo necesario para recuperar la inversión (Rodríguez Pineda, 2018).

#### ***4.2.4 Inversor híbrido***

Dispositivo electrónico (como el Deye de este proyecto) que convierte la corriente continua de los paneles en corriente alterna, gestionando simultáneamente la carga de baterías y el flujo de energía con la red eléctrica.

#### ***4.2.5 kWp (Kilowatio Pico)***

Unidad de medida que indica la potencia máxima que puede generar un panel o sistema solar bajo condiciones ideales de radiación y temperatura.

#### ***4.2.6 Sistemas intensivos***

Se refiere a los métodos de cultivo que buscan maximizar la producción por unidad de área o volumen, manteniendo una alta densidad de peces. Esto requiere tecnologías como la aireación artificial y la gestión rigurosa de la calidad del agua. La FAO (2012) recomienda el mantenimiento de los niveles de calidad del agua especialmente en sistemas intensivos en los que este factor es crítico, ya que puede generar la mortalidad de las tilapias.

#### ***4.2.7 Sistemas de oxigenación***

Proceso de disolver oxígeno en el agua para satisfacer las necesidades metabólicas de los peces. En sistemas intensivos, se logra mediante aireadores, equipos que consumen una gran cantidad de energía. Los sistemas de oxigenación son necesarios en sistemas intensivos que manejan grandes volúmenes de tilapias; en los sistemas que utilizan estanques de geomembranas, la demanda de oxígeno aumenta haciendo que el uso de aireadores sea un requerimiento técnico (FAO, 2012).

#### ***4.2.8 Plan de negocio***

Es la estrategia o plan que una empresa utiliza para generar ingresos; en el ámbito de los proyectos productivos en el sector piscícola, además de los indicadores financieros, se deben considerar los impactos sociales y ambientales. En este proyecto, se propone un modelo para que los piscicultores adopten la tecnología fotovoltaica. El plan de negocio es una herramienta para que los proyectos productivos se puedan ejecutar de manera exitosa, al orientar la toma de decisiones que aporten a la rentabilidad y la sostenibilidad social y ambiental. (Londoño Vélez, 2020). Puede afirmarse que, el plan de negocio es una hoja de ruta que guía a los emprendedores facilitando la gestión de su negocio (Berry, 2021).

#### ***4.2.9 Tilapia roja***

Una de las especies de peces de agua dulce más cultivadas en Colombia debido a su rápido crecimiento, resistencia y alta demanda en el mercado. Esta especie tiene una significativa capacidad de conversión alimenticia, gran capacidad de adaptación a las diferentes condiciones de

las fuentes de agua; estas características les dan una buena adaptación a sistemas intensivos, manteniendo un bajo nivel de pérdidas y alta rentabilidad (Waidyaratne et al., 2011).

## **5. Diseño metodológico**

Para cumplir con los objetivos del proyecto, se ha diseñado una metodología de investigación de tipo cuantitativa. Esta metodología, permitirá una evaluación integral y rigurosa de la factibilidad de la implementación de sistemas de oxigenación con energía solar fotovoltaica.

### **5.1 Tipo de estudio**

Al considerar los resultados del proyecto, en cuanto al conocimiento que puede generarse, este trabajo es de alcance descriptivo; teniendo en cuenta que, se analizó la viabilidad del uso de sistemas de energía solar en sistemas de producción intensiva de tilapia roja que se encuentran en el municipio de Lebrija, Santander. Desde un enfoque cuantitativo, la aproximación al objeto de estudio se realizó a partir de la recolección de información numérica sobre el consumo de energía eléctrica, el valor del Kw/h, los costos de los paneles, junto con su rendimiento y la incidencia sobre la viabilidad financiera del proyecto.

### **5.2 Población y muestra**

Para la realización de este proyecto se consideró como población los documentos que presentan información sobre aspectos, técnicos, operativos y financieros relacionados con la producción de tilapia con sistemas tradicionales y sistemas sustentados con paneles solares en el

Municipio de Lebrija. La información disponible en bases de datos permite establecer una línea de base con información sobre consumo energético, costos de operación de los sistemas, rendimiento de los sistemas fotovoltaicos. Los documentos normativos sobre el uso de energías renovables, los indicadores de impactos sociales y ambientales en el sector acuícola son considerados como parte de la población. La información fue obtenida de fuentes de información primaria XXXX y secundaria de alta calidad científica y confiabilidad metodológica.

A partir de un muestreo no probabilístico y atendiendo a criterios de conveniencia del investigador se seleccionó la muestra; identificando los documentos de actualidad, que por su contenido y respaldo institucional son un referente para conocer los sistemas de producción en granjas piscícolas que operan con sistemas de aireación que funcionan con energía obtenida con paneles solares. Se priorizaron las fuentes con información técnica y financiera que posibilitaron el análisis de los beneficios financieros, sociales y ambientales de la implementación de una solución solar fotovoltaica. La adecuada selección de las fuentes y el registro de la información para su posterior procesamiento garantizó que la información recolectada permite sustentar la viabilidad técnica y financiera del proyecto.

### **5.3 Técnicas e instrumentos de recolección de información**

Se utilizaron fuentes de información primaria y secundaria para la recolección de los datos, que se registraron en instrumentos diseñados teniendo en cuenta las variables del problema que se desean evaluar.

**Tabla 1.***Selección de Instrumentos*

<b>Objetivos específicos</b>	<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Caracterizar los niveles de consumo de energía eléctrica en las diferentes fases de la producción de tilapia en sistemas intensivos tradicionales determinando los requisitos del sistema y su incidencia en la viabilidad del proyecto.	Análisis documental técnico	Rejillas de selección y organización de datos sobre consumo.
Evaluar técnicamente el rendimiento de un sistema solar fotovoltaico para suplir las necesidades energéticas de los aireadores, en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.	Análisis documental técnico	Tabla de caracterización energética y geográfica
Realizar una evaluación financiera, que compare la inversión inicial y los costos operativos de la solución solar frente a la energía convencional, en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.	Análisis documental	Rejillas de selección y organización de datos sobre tarifas y costos.
Evaluar los beneficios y oportunidades de mejoramiento ambiental y social al implementar los sistemas de paneles solares en la producción de tilapia roja en sistemas intensivos, en el municipio de Lebrija Santander.	Análisis documental	Rejillas de selección y organización de datos sobre beneficios sociales y ambientales.

**5.3.1 Análisis documental**

El análisis documental o análisis de contenidos, parte de una revisión de fuentes y proveedores de sistemas solares fotovoltaicos, que pueden ofrecer información sobre factores financieros que afectan indicadores como la TIR, la inversión inicial, los costos operativos del proyecto y las expectativas de ahorro en los sistemas que utilizan energía fotovoltaica. Los datos se organizaron, con el uso de rejillas y tablas que facilitaron el análisis estadístico sobre los costos en tarifas de energía eléctrica con tendencia al año 2026 y los informes sobre tarifas de la Electrificadora de Santander ESSA-EPM, operador de red de la región, para el municipio de Lebrija- Santander.

Con la información extraída de los documentos se analizaron variables que facilitaron la caracterización de los niveles de consumo, evaluar el rendimiento del sistema solar para proyectar

la evaluación financiera y ambiental. Se logró evidenciar los beneficios de la transición energética en proyectos de producción de tilapia roja.

## **5.4 Fases del proyecto**

### ***5.4.1 Fase 1: análisis del contexto***

El análisis del contexto tiene como finalidad definir factores externos que afectan el proyecto como: las políticas de apoyo al sector piscícola, los incentivos al uso de tecnologías amigables con el ambiente, tendencias económicas que afectan el mercado y el consumo de tilapia; regulaciones ambientales sobre el aprovechamiento de fuentes hídricas.

En esta fase de caracterización, mediante revisión documental, se establecieron los datos técnicos de los sistemas de producción que utilizan energía solar. La información sobre los costos operativos, indicadores de producción, análisis técnico del sistema de oxigenación con paneles fotovoltaicos en sistemas intensivos fue clave para la comprensión del proceso.

### ***5.4.2 Fase 2: caracterización técnica del sistema***

El primer paso es determinar la viabilidad técnica del sistema. Para esto, se realizó un estudio de la demanda energética de los aireadores, una simulación del sistema fotovoltaico, junto con el análisis de fichas técnicas y selección de componentes. Se consultó e interpretó bibliografía especializada en el diseño y las tecnologías de los sistemas solares fotovoltaicos, datos del consumo de los aireadores que se utilizan en los cultivos intensivos de tilapia roja en Lebrija, Santander, junto con el dimensionamiento del sistema solar híbrido sin excedentes a la red, junto con el funcionamiento del operador de red en horas de la noche y respaldo de energía por medio

de baterías, si ocurre una falla o caída de tensión de la red de energía eléctrica, garantizando siempre la oxigenación en cada una de las fases del proyecto. Los datos de radiación solar global y temperatura de la zona de Lebrija se obtuvieron de bases de datos meteorológicas de entidades especializadas.

La evaluación técnica se basó en el cálculo de la demanda energética de los aireadores y en la simulación del rendimiento del sistema solar en las condiciones climáticas de Lebrija para garantizar un suministro fiable.

### ***5.4.3 Fase 3: análisis financiero***

En esta fase, se realizó un análisis de costos y beneficios para comparar la solución fotovoltaica con el uso de la energía convencional. Se recolectó información de mercado sobre los precios actuales de los componentes fotovoltaicos (paneles, inversores, baterías y aireadores solares) y los costos de instalación. También, se recopilamos datos de las tarifas eléctricas vigentes en la región y/o el operador de red que suministra el servicio de energía en Lebrija- Santander.

Con el análisis financiero se definieron los costos de inversión inicial, los costos operativos a largo plazo, la recopilación de costos sobre el consumo energético actual de los cultivos piscícolas, los costos de la electricidad por facturación o Kw/hora cobrada por el operador de red, el retorno de la inversión, la financiación, la viabilidad económica y los tiempos para alcanzar el punto de equilibrio.

El análisis financiero se apoyó en la teoría de la evaluación de proyectos. Se calcularon los indicadores de viabilidad financiera como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) para comparar la solución fotovoltaica

con el uso de la energía convencional. Este enfoque permitirá determinar si la inversión inicial en energía solar es rentable a largo plazo para el piscicultor.

### **5.5 Procesamiento de la información**

Los datos obtenidos en cada fase serán analizados utilizando herramientas de análisis cuantitativo como Excel.

## **6.Contextualización y análisis técnico del proyecto**

Para el desarrollo del plan de negocios, se especifican a continuación los datos geográficos y técnicos del proyecto.

### **6.1 Análisis del contexto**

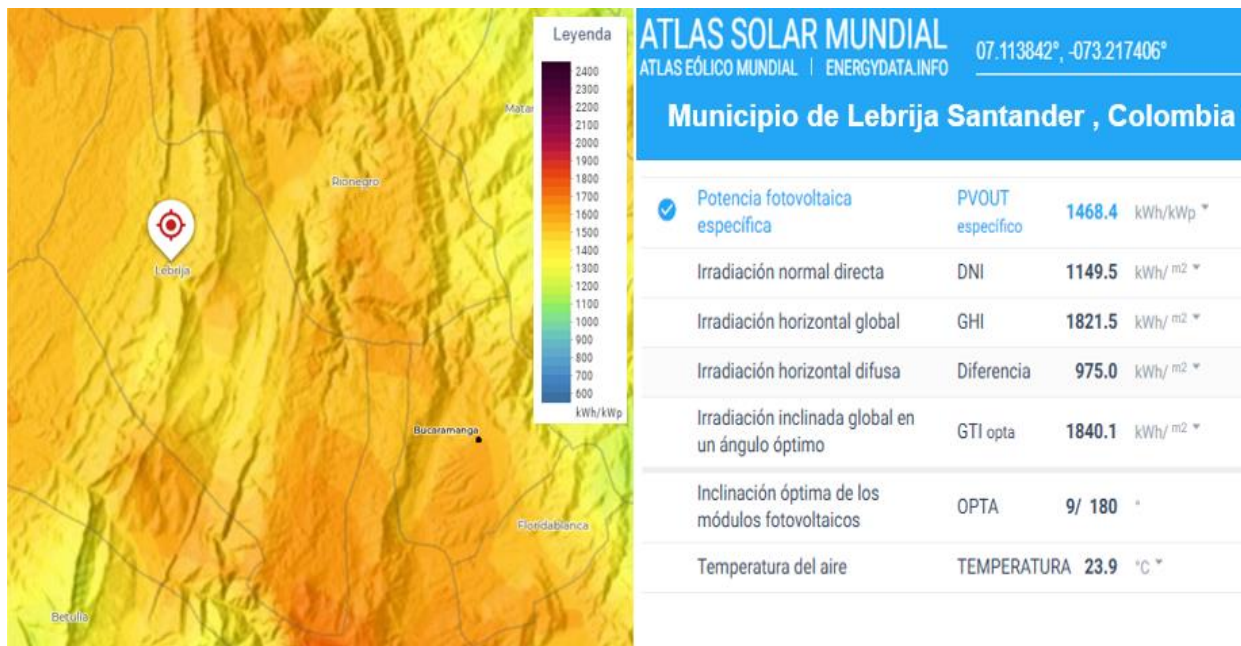
El presente proyecto fue realizado en el departamento de Santander, específicamente en el municipio de Lebrija, conocido por su importancia en el sector agroindustrial regional. El área de intervención se localiza en la vereda Lisboa, un sector estratégico situado en el flanco occidental de la cordillera Oriental (Alcaldía Municipal de Lebrija, 2024).

La vereda Lisboa se encuentra en las coordenadas aproximadas 7° 06' 15" N y 73° 15 '45" W. Se caracteriza por estar ubicada en una zona de transición hacia el valle del Magdalena Medio, lo que le otorga una altitud que oscila entre los 450 y 750 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Instituto Geográfico Agustín Codazzi [IGAC], 2026). Esta condición altimétrica es determinante para el proyecto, ya que, al situarse por debajo de los 1.000 msnm, el área se clasifica técnicamente

como clima cálido, factor que influye tanto en la tasa metabólica del cultivo de tilapia como en la aplicación del límite de consumo de subsistencia energética, que es de 173 kWh mensuales, según la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME, 2004).

**Figura 1.**

*Potencial fotovoltaico de Lebrija Santander kWh/kWp/año*



Tomado de: Atlas solar mundial (2026). Informe del potencial fotovoltaico de la zona de Lebrija Santander.

De acuerdo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2026), la zona presenta una temperatura promedio anual que fluctúa entre los 24°C y 31°C. Estas condiciones térmicas, sumadas a una radiación solar global horizontal estimada entre 4,8 y 5,3 kWh/m<sup>2</sup> por día, posicionan a la vereda Lisboa como un escenario idóneo para la producción acuícola intensiva y la posible implementación de sistemas de autogeneración de energía fotovoltaica, como se sustentará en este trabajo de investigación.

El municipio de Lebrija se encuentra en una zona montañosa que hace parte de la región andina, las condiciones de altitud y latitud aseguran un significativo potencial de irradiación solar; los estudios realizados por IDEAM & UPME. (2017) en el nodo Lebrija - Aeropuerto Palonegro - Vereda Lisboa consideran la zona como potencial por su baja nubosidad y corrientes de aire seco; los valores de horas solares superan el promedio nacional, siendo un potencial energético regional.

## **6.2 Caracterización técnica del sistema**

El proyecto se dimensiona, para la producción de 8000 alevinos de tilapia roja, con cultivo intensivo, con seis estanques en geomembrana, fuente de agua constante, ubicado en un predio plano de 0,5 hectáreas, en la vereda Lisboa del municipio de Lebrija- Santander, Acometida Monofásica trifilar (120/240 V), con un sistema solar fotovoltaico híbrido con excedentes a la red, donde la energía que no se consume en las horas solar Pico (HSP 4.8 kWh/m<sup>2</sup>/día o 4.8 horas), para las cargas a alimentar en el cultivo y en la casa, esta será exportada a la red, con su respectiva tasa representativa de pago, según las resoluciones del Operador de Red y en la noche o en las horas diferentes a las horas solar pico, se utilizara la energía del operador de red para alimentar estas cargas.

En las horas solar pico, se utilizara la generación de energía eléctrica, para cargar las baterías de respaldo y para los equipos del sistema de aireación de los dos tanques de levante por sopladores industriales (Blower) de 0.5 HP, así como para los equipos de aireación de los cuatro tanques de engorde por sopladores industriales tipo Splash de 1.0 HP y como respaldo de energía en el caso de que no funcione o se presente una falla en el suministro de energía eléctrica del predio, un respaldo por baterías.

La etapa de levante tiene una duración de 2 meses, se desarrolla en dos tanques de 7 metros de diámetro, aquí se lleva a cabo la siembra y levante de los alevinos. Se sembrarán 8000 alevinos de tilapia roja, para luego ser trasladados al estanque de engorde. El estanque de levante se sembrará escalonado, inmediatamente realizado el traslado. Se calcula un porcentaje de sobrevivencia de 80%. Al final de esta fase, se espera cosechar 6400 peces con un peso promedio entre 15 a 25 (g). Los dos estanques de levante contarán con un sistema de aireación por sopladores industriales (Blower) de 0.5 HP, trabajando 12 horas al día, conectado con tubería de PVC la cual conducirá el aire y finalizan con manguera microperforada y/o discos difusores que transferirán el oxígeno a través de microburbujas a la columna de agua, asegurando la calidad del agua y disminuyendo los riesgos de mortalidad de los peces.

La etapa de engorde tiene una duración de 4 meses aproximadamente y se compone de 4 tanques de 14 metros de diámetro, recibirá 6400 juveniles aproximadamente, donde allí cumplirán su ciclo hasta llegar al peso de cosecha (400 g). Con un 95% de sobrevivencia se espera cosechar 6080 peces. Los cuatro tanques de engorde dispondrán de un aireador tipo Splash de 1,0 HP, trabajando 20 horas al día, el cual produce un efecto fuente que permite aumentar la concentración de oxígeno en el agua a través del contacto aire- agua. Estos equipos tienen efecto desgasificador, el cual es adecuado para extraer el anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) y el amoníaco (NH<sub>4</sub>) del agua. Este equipo tiene capacidad para mover 3.5 toneladas en biomasa, pero se recomienda trabajar el cultivo a una densidad menor, para conocer el cultivo y evitar inconvenientes con la calidad del agua.

### ***6.2.1 Costos operativos del consumo de energía eléctrica del proyecto y variables de producción***

A continuación, se describen los costos relacionados con la facturación de energía eléctrica, según los datos de referencia, establecidos por el Operador de Red (ESSA- EPM), con tendencia

al año 2026, para calcular el consumo de los equipos que suministran oxígeno en las etapas de levante y engorde y el consumo de energía de la casa.

Para el año 2026, el esquema de facturación para un predio rural Estrato 1, ubicado en la vereda de Lisboa del municipio de Lebrija se rige bajo el costo Unitario de Prestación del Servicio (CU).

### ***6.2.2 Determinación del costo unitario (CU) – ESSA- EPM 2026***

El Costo Unitario de Prestación del Servicio (CU) es el valor económico que representa la totalidad de los costos en los que incurre el operador de red (ESSA-EPM), para entregar un kilovatio hora (kWh) en el predio del usuario.

Para el año 2026, en la vereda Lisboa (Lebrija), este valor se desglosa en los siguientes componentes:

Basado en la fórmula tarifaria de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG, 2024), el CU proyectado de \$1.012/kWh sin subsidios, para la zona rural de Lebrija se compone de:

Generación (G): Costos de producción en hidroeléctricas y térmicas.

Transmisión (T): Transporte por el Sistema Interconectado Nacional.

Distribución (D): Mantenimiento de redes locales en Santander y Lebrija.

Comercialización (C): Costos administrativos y de facturación de la ESSA.

Pérdidas y Restricciones (PR y R): Costos de eficiencia y seguridad del sistema.

El incremento proyectado respecto a años anteriores se fundamenta en la Resolución CREG 101 028 de 2024, la cual regula el cobro de los saldos pendientes de la "Opción Tarifaria" acumulados por las empresas comercializadoras (Electrificadora de Santander [ESSA], 2025). Este

componente, sumado a la indexación mensual por el Índice de Precios al Consumidor (IPC), sitúa la tarifa plena en el margen superior de los mil pesos por unidad de energía.

Aplicando el subsidio, que se establece únicamente sobre el límite establecido por la Resolución UPME 0355 de 2004, al estar Lisboa en clima cálido (altitud < 1.000 msnm), el límite es de: 173 kWh/mes.

Porcentaje de Subsidio (Ley 142 de 1994): 60% para Estrato 1.

Valor del kWh Subsidiado:  $\$1012 \times (1 - 0,60) = \$404,8$

Costo de los primeros 173 kWh:  $173 \times \$404,8 = \$70030$

### ***6.2.3 Cálculo del consumo de energía eléctrica mensual (kWh)***

**6.2.3.1 Cálculo del consumo de energía mensual (kWh) de la casa.** En la tabla 2, se resume el cuadro de cargas estimado y el consumo de 150 kWh (5 kWh diarios) por mes de la energía eléctrica de la casa. El consumo de esta energía eléctrica en la casa se estima en los siguientes horarios, según las horas solar pico del lugar:

Sistema Solar fotovoltaico (8:00 AM - 4:00 PM): Los 150 kWh/mes de la casa son cubiertos directamente por los paneles. En este horario, la casa no le solicita energía a la red.

Operador de red (5:00 PM - 7:00 AM): La casa consume energía de la red de la ESSA.

Al final del mes, como nuestro proyecto es con excedentes a la red de la ESSA, esta resta los excedentes que inyectamos durante el día de estos consumos nocturnos (Ley 1715 de 2014).

**Tabla 2.**

*Cuadro de cargas estimado y consumo en kWh mensual de energía eléctrica de la casa*

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas/día	Consumo/mes (kWh)
Nevera (Eficiencia A)	1	150	8	36
Iluminación LED	8	9	5	10.8
Televisor LED 42"	1	80	8	19.2
Ventilador de pedestal	2	50	8	24
Licuadaora	1	400	0.2 (12 min)	2.4
Carga de Celulares/PC	4	20	4	9.6
Electrobomba (0.5 HP)	1	375	1	11.25
Otros (Radio, módem, etc.)	-	50	24	36
Total, Estimado				149.25 kWh/mes

### 6.2.3.2 Cálculo del consumo de energía mensual (kWh) de las cargas y consumo de energía eléctrica de la casa.

Se utilizó la constante de conversión  $1 \text{ HP} = 0,746 \text{ kW}$

Para 2 Blowers de 0.5 HP (12 h/día) para los dos estanques de levante, se tendría:

- Potencia total:  $2 \times 0.5 \text{ HP} = 1 \text{ HP}$  son  $0,746 \text{ kW}$
- Consumo diario:  $0,746 \text{ kW} \times 12 \text{ h} = 8,95 \text{ kWh/día}$
- Consumo mensual:  $8,95 \times 30 = 268,5 \text{ kWh/mes}$
- Para 4 Splash de 1 HP (20 h/día)
- Potencia total: 4 HP son  $2,984 \text{ kW}$
- Consumo diario:  $2,984 \text{ kW} \times 20 \text{ h} = 59,68 \text{ kWh/día}$
- Consumo mensual:  $59,68 \times 30 = 1790,4 \text{ kWh/mes}$

El Consumo Total de Energía Mensual (kWh) de los 2 blowers y 4 Splash es de:

$$268,5 \text{ kWh} + 1790,4 \text{ kWh} = 2058,9 \text{ kWh/mes.}$$

El funcionamiento y consumo de energía eléctrica, para los 6 meses del proyecto, teniendo en cuenta el consumo de energía eléctrica de la casa es de:

El 1 mes funciona un solo Blower + 150 kWh para un total de 284,25 kWh/mes

El 2 mes funcionan solo 2 Blowers + 150 kWh para un total de 418,5 kWh/mes

El 3 mes funcionan solo 2 Blowers y un Splash + 150 kWh para un total de 866,1 kWh/mes

El 4 mes funcionan solo 2 Blower y 2 Splash + 150 kWh para un total de 1313,7 kWh/mes

El 5 mes funcionan solo 2 Blower y 3 Splash + 150 kWh para un total de 1492,8 kWh/mes

El 6 mes funcionan todos los equipos 2 Blower y 4 Splash + 150 kWh para un total de:

2208.9 kWh/mes

El Consumo de Energía eléctrica para los 6 meses del proyecto es de 6584,25 kWh y el consumo mensual promedio es de: 1097,37 kWh/mes.

**6.2.3.3 Costo de facturación de energía eléctrica del proyecto.** En la tabla 3, se resumen los costos de energía eléctrica para las fases de levante y engorde más el consumo de energía eléctrica de la casa, para los 6 meses del proyecto, con un total de pago de facturación de energía eléctrica de: \$6.033.000 Seis millones treinta y tres mil pesos M/CTE.

**Tabla 3.**

*Costos consumo de energía eléctrica fases de levante – engorde y consumo eléctrico de la casa*

Mes	Equipos cantidad	Horas/Dia	Total kW/h/mes	Valor kW	Valor kW subsidiado (Primeros 173 kW)	Total mes \$
Primero	1 Blower 150 kWh	12	284,25	\$1012	\$1012	182.615
Segundo	2 Blowers 150 kWh	12	418,5	\$1012	\$404,8	318.476
Tercero	2 Blowers 1 Splash 150 kWh	12 20	866,1	\$1012	\$404,8	771.457
Cuarto	2 Blowers 2 Splash 150 kWh	12 20	1313,7	\$1012	\$404,8	1.224.418

Mes	Equipos cantidad	Horas/Dia	Total kW/h/mes	Valor kW	Valor kW subsidiado (Primeros 173 kW)	Total mes \$
Quinto	2 Blowers 3 Splash 150 kWh	12 20	1492,8	\$1012	\$404,8	1.405.667
Sexto	2 Blower 4 Splash 150 kWh	12 20	2208.9	\$1012	\$404,8	2.130.360
<b>Valor del consumo de energía/total 6 meses</b>						<b>\$6.032.993</b>

Para el análisis del costo de facturación de energía eléctrica del proyecto, se debe tener en cuenta los egresos fijos para la operación en la vereda Lisboa, incorporando el Impuesto de Alumbrado Público, el cual se liquida bajo la jurisdicción del municipio de Lebrija conforme al Acuerdo Municipal No. 021 de 2020. Para el periodo fiscal 2026, este gravamen se aplica de forma independiente al volumen de energía que maneja el sistema solar fotovoltaico. Dado que la base de liquidación para el sector rural se fundamenta en un porcentaje del SMMLV y no en el consumo de kWh, se ha presupuestado un costo fijo de \$18.500 COP mensuales. Este valor resulta ineludible en el balance financiero semestral, sumando un total de \$111.000 que deben ser cubiertos por el flujo de caja del proyecto, independientemente de los excedentes energéticos inyectados a la red de la ESSA.

Teniendo en cuenta el Impuesto al Alumbrado público en la vereda Lisboa del municipio de Lebrija – Santander, los costos de facturación de energía eléctrica del proyecto para las fases de levante y engorde más el consumo de energía eléctrica de la casa, para los 6 meses del proyecto, son de:  $\$ 6.033.000 + \$111.000 = \$ 6.144.000$  Seis millones ciento cuarenta y cuatro mil pesos M/CTE.

Al evaluar los egresos consolidados para los seis meses del proyecto, se evidencia que la carga financiera total proyectada bajo un modelo de dependencia absoluta de la red convencional alcanzaría los seis millones ciento cuarenta y cuatro mil pesos M/CTE (\$6.144.000).

Es fundamental precisar que este monto no se limita al consumo de energía activa demandada por los blowers y las unidades splash, sino que incorpora las obligaciones tributarias por alumbrado público del municipio de Lebrija. Al cruzar estos datos con la producción fotovoltaica real, queda demostrado que el sistema es capaz de absorber casi la totalidad de este costo operativo.

En términos prácticos, se transforma un pasivo crítico de más de seis millones de pesos en un ahorro neto que blinda la viabilidad financiera de toda la infraestructura electromecánica diseñada para este proyecto.

#### **6.2.4 Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico**

Los datos de dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido con excedentes a la red, se presentan a continuación:

**6.2.4.1 Acometida monofásica trifilar (120/240V).** El diseño eléctrico de la instalación, es de un sistema monofásico trifilar (120/240 V) con el fin de segmentar la demanda de manera inteligente. Por un lado, destinamos el nivel de 120 V para las cargas residenciales, las cuales promedian los 150 kWh mensuales, asegurando así la operatividad de los electrodomésticos convencionales. En contraste, toda la robustez mecánica del proyecto, representada por los blowers y las unidades splash, se configuró a 220 V. Más allá de la compatibilidad industrial, esta elección técnica es clave para reducir las pérdidas por efecto Joule y controlar las caídas de tensión en los trayectos más largos hacia los equipos de aireación. De este modo, garantizamos que la potencia generada por el campo solar se distribuya de forma simétrica y eficiente a través del inversor principal.

#### **6.2.4.2 Datos de partida y recurso solar.**

*Ubicación:* Vereda Lisboa, Lebrija, Santander.

Para el municipio de Lebrija, se establece un promedio de 4,8 Horas Solar Pico (HSP), considerando una inclinación de los módulos de entre 5° y 10° hacia el sur para maximizar la irradiación incidente (IDEAM & UPME, 2017).

*Consumo crítico (Mes 6):*

$$\frac{2208.9 \text{ kWh/mes}}{30} = 73,63 \text{ kWh/día.}$$

*Eficiencia Global del Sistema:* 0,80 (Considerando pérdidas por suciedad, temperatura en Lebrija y eficiencia del inversor).

#### **6.2.4.3 Potencia del sistema solar fotovoltaico.**

$$\frac{73,63 \text{ kWh/día}}{4,8 \text{ HSP} \times 0,80} = 19,17 \text{ kWp}$$

### **6.2.5 Selección y cálculo de los paneles solares**

**6.2.5.1 Tecnología paneles solares.** La decisión de integrar módulos monocristalinos de la marca Trina Solar de 620 W con tecnología PERC y Half-Cell (Anexo A: Ficha Técnica Paneles Monocristalinos Trina Solar 620 W tecnología PERC y Half-Cell), obedece a un riguroso análisis de eficiencia térmica y operativa. Al estar ubicados en un montaje en piso en la vereda Lisboa (Lebrija), los paneles enfrentan retos críticos de temperatura y sombreado parcial; ante esto, la

arquitectura de celdas partidas resulta fundamental, ya que permite que el sistema mantenga su rendimiento incluso ante obstrucciones menores en la superficie del módulo (Mertens, 2022).

Simultáneamente, la incorporación de la capa PERC es clave para maximizar la recolección de energía en días de alta nubosidad, una condición frecuente según el Atlas de Radiación Solar del IDEAM & UPME (2017). En términos prácticos, esta selección tecnológica garantiza que la infraestructura de aireación compuesta por los blowers y splash, cuente con un suministro de potencia estable y confiable. Además, al optimizar la densidad energética por metro cuadrado, se reduce el área de ocupación en terreno, asegurando una vida útil superior a los 25 años con una degradación mínima, cumpliendo así con los estándares de autogeneración a pequeña escala definidos en la Resolución CREG 174 (2021).

#### **6.2.5.2 Características técnicas paneles solares.**

Potencia: 620W

Eficiencia: 23.1%

Dimensiones: 2382x1134x30mm

Peso: 27.9 Kg

Voc: 49.6 V

Isc: 15.91 A

#### **6.2.5.3 Cantidad de paneles.**

Fórmula para calcular la cantidad de paneles:

$$\frac{\text{Potencia Sistema Solar Fotovoltaico}}{\text{Potencia Panel}} = \frac{19170 \text{ W}}{620 \text{ W}} = 31 \text{ Paneles Solares}$$

**6.2.5.4 Montaje, ubicación y área efectiva de los paneles solares.** Considerando las dimensiones estándar de un panel de 620 W (aproximadamente 2.3 m x 1.13 m, se proyecta una distribución en 3 filas: dos de 10 paneles y una de 11 paneles).

Ancho ocupado por panel (inclinado): Al estar a 10°, el panel ocupa una proyección horizontal de casi su largo total.

- *Pasillos de mantenimiento:* 1.5 metros entre filas.

Área Total Estimada: Se requiere un rectángulo de aproximadamente 10 metros de ancho por 13 metros de fondo.

- *Superficie total:* 130 metros cuadrados 130 m<sup>2</sup>

La Orientación y Ángulo de Inclinación (Azimut y Tilt), para maximizar la captación de irradiancia en esta latitud de Santander (aprox. 7° N), los módulos se orientaron hacia el Sur geográfico (Azimut 180°). Se estableció un ángulo de inclinación (Tilt) de 10°.

Esta decisión técnica no solo optimiza la captación de fotones durante el solsticio de invierno, sino que garantiza el autolavado de los módulos mediante el agua de lluvia, evitando la acumulación de polvo o sedimentos en el marco inferior, un problema común en la tecnología Half-Cell si se instala a 0°

El Distanciamiento entre Filas (Criterio Anti-sombreado), para evitar el sombreado mutuo entre las hileras de paneles, especialmente durante el solsticio de diciembre cuando el sol está más bajo, se calculó una distancia mínima de separación. Se definió un distanciamiento de 1.5 metros entre la parte posterior de una fila y el inicio de la siguiente. Este espacio no solo protege el rendimiento energético, sino que permite el tránsito del personal para labores de limpieza y mantenimiento técnico.

La elevación sobre el Suelo dado que los paneles se instalan en piso, se diseñó una estructura de soporte en aluminio anodizado que eleva el borde inferior del módulo a 60 cm del nivel del suelo. Esta altura es vital para evitar el efecto de "salpicadura" de lodo durante lluvias fuertes. Es importante para garantizar la estabilidad de los 31 paneles en el suelo de Lebrija, se deben seguir estos conceptos:

- *Cimentación*: micropilotes de concreto o anclajes de hélice (según la dureza del suelo) para evitar que el viento (efecto vela) levante las estructuras.
- *Estructura*: perfilería en aluminio serie 6000 o acero galvanizado en caliente para resistir la corrosión por humedad del suelo.
- *Control de vegetación*: instalación de una membrana geotextil y una capa de grava (triturado) bajo los paneles para evitar el crecimiento de maleza que sombre las celdas Half-Cell.

### ***6.2.6 Selección del inversor cargador híbrido con inyección a red***

#### **6.2.6.1 Tecnología y selección del inversor cargador híbrido con inyección a red.**

Características Técnicas para el dimensionamiento:

Potencia Pico Paneles: 19,22 kWp

Capacidad Nominal Inversor: 20,000 W (20 kW)

Relación DC/AC: 0.96 (Ideal para máxima eficiencia)

Voltaje de Salida: 120V / 240V (Split Phase)

Considerando la necesidad de inyección a red (ESSA), respaldo de baterías y una salida trifilar real (120/240V) para cargas residenciales e industriales, se seleccionó la marca líder: Deye.

El Inversor cargador marca Deye Híbrido Trifilar 20 kW (120/240V) con inyección a red (Anexo B: Ficha Técnica Inversor cargador marca Deye Híbrido Trifilar (120/240V) con inyección a red), es el corazón del proyecto, por las siguientes características técnicas:

**Salida Trifilar Real:** Este equipo genera las dos fases de 120V con desfase de 180° internamente. Esto permite conectar los blowers a 220V y la iluminación a 120V de forma simultánea y equilibrada.

**Función "Peak Shaving":** El inversor puede programarse para que, en momentos de máxima demanda de los splash, utilice simultáneamente energía de los paneles y de las baterías, evitando que el medidor de la ESSA registre picos de consumo caros.

**Cargador Inteligente:** Si la batería LiFePO4 baja de cierto nivel y no hay sol, el inversor usa la red de la ESSA en horas valle (noche) para cargar el sistema de respaldo, asegurando que siempre tengas las 4 horas de autonomía prometidas.

### **6.2.6.2 Ficha técnica del inversor cargador híbrido con inyección a red.**

Referencia Marca Deye: SUN-20K-SG01HP3-EU-AM2

Capacidad: 20 kW.

Regulador de Carga: Integrado en el inversor (Tecnología MPPT de alta tensión para optimizar el arranque de los Blowers).

Inversor Híbrido Deye 20kW (120/240V)

Parámetro Técnico: Especificación Detallada

Potencia Nominal AC20.000 W (20 kW)

Voltaje de Salida Monofásico Trifilar 120V / 240V (Split Phase)

Máxima Entrada DC26.000 W (Permite sobredimensionar el campo solar)

Rango de Voltaje MPPT150V - 850V (Ideal para strings largos de paneles 620W)

Número de MPPT2 trackers independientes

Corriente de Carga/Descarga300A (Gestión ultra rápida del banco de baterías)

Eficiencia Máxima97.6%

Grado de Protección IP65 (Apto para exteriores, aunque se recomienda cuarto técnico)

ComunicaciónRS485, CAN, Wi-Fi, LAN (Monitoreo remoto desde el celular)

CertificacionesUL1741, IEEE1547 (Requeridas por la ESSA para inyección).

### ***6.2.7 Selección y cálculo del sistema de respaldo (baterías para 4 horas)***

**6.2.7.1 Tecnología sistema de respaldo baterías.** Para garantizar la continuidad operativa de los procesos de aireación en la vereda Lisboa, se integró un sistema de almacenamiento basado en tecnología de Litio Ferro-fosfato (LiFePO<sub>4</sub>). Esta elección es técnica y económicamente superior a las baterías convencionales de plomo-ácido, debido a su elevada densidad energética y a una vida útil que supera los 6,000 ciclos de carga al 80% de profundidad de descarga (Hansen & Martin, 2022). En el contexto térmico de Lebrija, la estabilidad química del LiFePO<sub>4</sub> es una ventaja crítica, ya que minimiza el riesgo de embalamiento térmico y mantiene la eficiencia incluso ante fluctuaciones de temperatura ambiente.

El banco de baterías se dimensionó para ofrecer un respaldo de cuatro horas, proporcionando la energía necesaria para sostener los blowers y las unidades splash ante fallos imprevistos de la red de la ESSA. Esta capacidad de respuesta inmediata, conocida como backup, asegura que los niveles de oxígeno disuelto en los tanques no caigan a niveles críticos, protegiendo así la biomasa del proyecto. Además, la gestión de este almacenamiento se realiza bajo los

parámetros de carga inteligente del inversor híbrido, cumpliendo con los criterios de seguridad y eficiencia energética estipulados por la UPME (2021) para sistemas de autogeneración con respaldo.

**6.2.7.2 Características Técnicas del dimensionamiento baterías.** Partimos con la energía que definimos para el respaldo de 4 horas (12,27 kWh) y la compatibilidad con el inversor Deye 20kW, el cual opera con un banco de baterías de 48V de tensión nominal.

El respaldo de 4 horas es para el consumo promedio diario en caso de falla de la ESSA.

Datos de entrada:

Energía para respaldar: 12,27 kWh (calculado sobre el consumo del Mes 6).

Voltaje del sistema: 48 V DC.

Profundidad de descarga sugerida (DoD): 80% (para proteger la vida útil del Litio).

Eficiencia de descarga ( $\eta$ ): 95%

**6.2.7.3 Capacidad requerida en amperios-hora (Ah) baterías.** Para saber cuánta corriente necesitamos almacenar, aplicamos la fórmula:

$$\text{Ah} = \frac{E_{\text{back}} \times 1000}{V_{\text{sys}} \times \text{DoD} \times \eta} = \frac{12.270 \text{ Wh}}{48 \text{ V} \times 0,80 \times 0,95} = 336,3 \text{ Ah} \approx 400 \text{ Ah}$$

**6.2.7.4 Selección del módulo de batería.** Se utilizarán módulos de Litio LiFePO4 de 48V / 100Ah, que es el estándar de alta compatibilidad con el inversor Deye. (Anexo C: Ficha Técnica Batería Litio LiFePO4 de 48V / 100Ah).

### **6.2.7.5 Cálculo de unidades de batería.**

$$N \text{ unidades} = \frac{336,3 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah/Unidad}} = 3,36 \text{ unidades}$$

Redondeamos a 4 baterías de 48V/100Ah conectadas en paralelo. Esto nos da un total de 400 Ah, lo que ofrece un margen de seguridad frente a días nublados o degradación futura.

### **6.2.8 Protecciones eléctricas y cableado**

Protecciones DC: Interruptores termomagnéticos de 1000V DC y Supresores de Transitorios (SPD) para rayos.

Protecciones AC: Breakers de caja moldeada para las fases de 220V (Splash/Blowers) y breakers de 1x20A para los circuitos de 120V de la casa.

Cableado: Cable solar fotovoltaico 10 AWG con protección UV para el exterior (piso) y cable THHN/THWN-2 calibre 4 AWG para la acometida principal al tablero de distribución.

Puesta a Tierra (SPT): Tres electrodos de cobre (copperweld) de 2.4m interconectados con soldadura exotérmica para garantizar una resistencia menor a 10 Ohmios.

### **6.2.9 Medidor bidireccional**

Modelo: Homologado por la ESSA para sistemas AGPE (Autogeneración a Pequeña Escala) con protocolo de comunicación para lectura remota.

## **6.3 Análisis financiero**

A continuación se presentan los diferentes aspectos del análisis financiero que sustentan la viabilidad del proyecto.

### ***6.3.1 Implementación de la Ley 1715 de 2014***

La viabilidad del presente proyecto en la vereda Lisboa no se limita a un simple ahorro en la factura de servicios públicos, sino que se define como una estrategia de blindaje operativo y financiero. La implementación de la Ley 1715 de 2014 es, sin duda, el motor financiero que transforma este proyecto solar de una simple mejora técnica en una inversión estratégica de alto rendimiento.

Durante los primeros cinco años, el beneficio más tangible es la deducción de renta, que permite descontar el 50% del valor total de la inversión, de la base gravable de la finca.

En lugar de ver este incentivo como un ahorro lejano, en el flujo de caja se traduce en un escudo fiscal inmediato: cada año, el proyecto reduce el pago de impuestos, liberando capital que puede reinvertirse directamente en la operación piscícola.

A esto se suma la depreciación acelerada, que permite registrar el desgaste de los equipos (paneles, inversor Deye y baterías) de manera mucho más rápida que en un negocio convencional. Al cargar estos costos al inicio del proyecto, la utilidad contable disminuye artificialmente, lo que reduce aún más la carga tributaria en ese periodo crítico de recuperación de capital.

En la práctica, esto significa que el Estado colombiano está cofinanciando casi el 35% del parque solar mediante impuestos que dejás de pagar, permitiendo que el sistema se pague solo en menos de tres años y garantizando que, para el quinto año, la finca no solo sea energéticamente autónoma, sino financieramente mucho más robusta.

Además de la deducción de renta, la Ley 1715 de 2014 ofrece dos beneficios clave que se aplican desde el minuto cero y que son fundamentales para que el presupuesto de tu parque solar sea tan competitivo.

### ***6.3.2 Exclusión de IVA (19%)***

Este es un beneficio de aplicación inmediata en la compra. Al ser equipos destinados a fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), el inversor Deye, los paneles solares y los controladores están excluidos de IVA. Esto significa que te ahorras un 19% de entrada en el costo de los activos. Sin este beneficio, tu inversión inicial de \$85.770.000 habría superado los \$100.000.000, lo que habría extendido el tiempo de recuperación de la inversión (Payback) casi un año más.

### ***6.3.3 Exención de derechos arancelarios***

Muchos de los componentes tecnológicos de alta eficiencia, como las celdas de los paneles o los componentes electrónicos del inversor, son importados. La Ley 1715 de 2014 permite que estos equipos ingresen al país con un arancel del 0%. Este incentivo es vital para asegurar que la tecnología de punta (como el sistema híbrido que necesitas para los blowers a 220V) sea accesible económicamente para proyectos agroindustriales en regiones como Lebrija.

### ***6.3.4 Presupuestos***

En la tabla 4, se describe el presupuesto del sistema solar fotovoltaico de 20 kWp conectado a la red con excedentes, para la producción de 8000 alevinos de tilapia roja, con cultivo intensivo, con seis estanques en geomembrana, ubicado en un predio plano de 0,5 hectáreas, en la vereda Lisboa del municipio de Lebrija- Santander.

**Tabla 4.**

*Presupuesto del Sistema Solar Fotovoltaico de 20 kWp, conectado a la red, con excedentes.*

Ítem	Descripción técnica	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor total (COP)
Paneles solares	Monocristalinos 620W PERC half-cell	31	\$750.000	\$23.250.000
Inversor híbrido	Deye 20kW trifilar (120/240V)	1	\$16.800.000	\$16.800.000
Banco de baterías	Deye LiFePO4 5.12kWh 48V/100Ah	4	\$6.200.00	\$24.800.000
Estructura	Soporte aluminio anodizado a piso	31	\$120.000	\$3.720.000
Protecciones DC/AC	DPS, breakers, tableros, cables solar 10AWG	1	\$4.500.000	\$4.500.000
Medidor	Bidireccional trifilar (Certificado ESSA)	1	\$1.200.000	\$1.200.000
Ingeniería/trámites	Planos, memorias, CREG 174, RETIE	1	\$5.500.000	\$5.500.000
Mano de obra	Instalación, configuración y pruebas	1	\$6.000.000	\$6.000.000
Total, inversión				\$85.770.000

### **6.3.5 Ahorro autoconsumo energía solar Vs. ESSA**

Este análisis es el más importante porque explica el ahorro real directo, es decir, el dinero que dejas de pagar, cada día mientras sale el sol, en el consumo de energía eléctrica de las cargas de la casa y en el consumo de energía eléctrica de los equipos en la producción de cultivo intensivo. Este ahorro se convierte en el motor principal de la rentabilidad, permitiendo que el capital que antes se destinaba al pago de facturas eléctricas sea reinvertido en la expansión de la biomasa o en mejoras de infraestructura. Para un sistema de 20 kWp, calculamos que el 60% de la generación se consume inmediatamente por los blowers, el splash y la casa durante el día.

Un sistema de 20 kWp no entrega 20 kW todo el tiempo; sigue una curva en forma de campana (Curva Gaussiana) que inicia a las 6:00 a.m, llega a su pico al mediodía y cae a las 6:00 p.m.

Producción Pico (11:00 a.m. - 2:00 p.m.): En estas horas, los paneles generan su máxima potencia. Si los blowers y el splash están encendidos, esa energía fluye directamente de los paneles a los motores sin pasar por el medidor de la ESSA.

El 60% de Autoconsumo: Significa que de cada 100 kWh que producen tus paneles en un día despejado en Lebrija, 60 kWh son atrapados y usados al instante por tus cargas (aireación y casa). Los otros 40 kWh son los que sobran y se inyectan a la red (Neteo).

El cálculo de un 60% de autoconsumo directo para el sistema de 20 kWp responde a la alta correlación entre las horas de máxima radiación solar y los ciclos de operación de los sistemas de aireación. En la práctica, esto implica que durante la ventana de mayor actividad biológica de los peces donde los niveles de oxígeno requieren un soporte constante de blowers y splash, la energía captada por los 31 paneles de 620W es absorbida instantáneamente por los motores. Al no existir una desconexión entre el momento de generación y el de demanda, el sistema evita las pérdidas por transporte en la red y optimiza el flujo de caja, ya que esta fracción de energía nunca llega a ser facturada por la ESSA. Este porcentaje garantiza que la mayor parte de la inversión en paneles se traduzca en una reducción directa de costos operativos diarios, dejando el excedente restante para compensar los consumos nocturnos mediante el medidor bidireccional.

En la tabla 5, se resume los conceptos del ahorro de energía eléctrica, por medio del sistema solar fotovoltaico, en las HSP, sin tener en cuenta los excedentes a la red, ni tampoco el balance neto (Bajo la Resolución CREG 174, el neteo o balance neto, significa que por cada kilovatio-hora (1 kWh) que tus paneles inyectan a la red durante el día (porque no lo estás consumiendo), la ESSA te permite retirar 1 kWh de la red durante la noche sin cobrarte el valor de la energía).

**Tabla 5.***Ahorro autoconsumo energía solar Vs ESSA*

Concepto	Cálculo detallado	Valor mensual
Generación diaria promedio	19,17 kWp×3,84 HSP	73,61 kWh/día
Autoconsumo directo (60%)	73,61×0,60	44,16 kWh/día
Energía mensual auto consumida	44,16×30 días	1.324,8 kWh/mes
Costo ESSA (Sin solar)	1.324,8 kWh×\$1.012	\$1.340.697
Costo con paneles solares	Energía producida en sitio	\$0

El rubro de ahorro mensual por autoconsumo de \$1.340.697, representa la independencia energética lograda durante las horas de radiación solar, este es el dinero que dejas de pagar cada mes por el uso diurno. Al comparar este escenario con el suministro convencional de la ESSA, se observa que el sistema de 20 kWp absorbe la carga operativa de los equipos de aireación a un costo marginal de cero pesos. Mensualmente, esto significa que aproximadamente 1.325 kWh dejan de ser facturados a la tarifa plena de \$1.012, generando un flujo de caja positivo inmediato. A diferencia de la compra de energía a la red, que está sujeta a incrementos tarifarios anuales e impuestos, el autoconsumo solar congela el costo de producción de la finca piscícola durante el día.

**6.3.6 Ahorro por neteo o balance neto del proyecto**

El ahorro por neteo (técnicamente llamado Balance Neto o Net Metering) es el beneficio económico que se obtiene al usar la red eléctrica de la ESSA como si fuera una batería virtual gratuita. Bajo la Resolución CREG 174, el neteo significa que por cada kilovatio-hora (1 kWh) que tus paneles inyectan a la red durante el día (porque no lo estás consumiendo), la ESSA te permite retirar (1 kWh) de la red durante la noche sin cobrarte el valor de la energía.

De día, tu sistema produce energía. Si tus blowers están apagados o hay mucha radiación, ese "sobrante" se va a la red y el medidor bidireccional lo registra como un saldo a favor.

De noche: Como tus baterías están reservadas solo para fallas, tú consumes energía de la red.

Al final del mes, la ESSA resta: Consumo total nocturno - Energía inyectada en el día. Solo pagas la diferencia. El ahorro por neteo es dinero que dejas de pagar. Si no tuvieras el sistema solar, cada kWh que consumas en la noche te costaría \$1.012. Con el neteo, ese costo baja a casi \$0 (solo pagas cargos mínimos de comercialización), porque ya pagaste esa energía entregándole excedentes a la ESSA durante el día.

El ahorro por neteo representa la eficiencia del intercambio energético con la red convencional. Básicamente, consiste en utilizar la infraestructura de la ESSA para depositar los excedentes producidos en las horas de mayor radiación y recuperarlos durante la noche para mantener la operatividad del sistema. Financieramente, este rubro es vital porque permite valorar cada kilovatio inyectado al mismo precio de comercialización de la tarifa plena (\$1.012).

De este modo, el proyecto reduce drásticamente el flujo de caja destinado al pago de facturas, ya que la red eléctrica deja de ser un gasto inevitable para convertirse en un sistema de compensación que equilibra el balance energético mensual sin necesidad de ciclar y desgastar el banco de baterías de respaldo. Para calcular el volumen de energía que se irá a neteo (compensación 1 a 1), debemos analizar la curva de generación frente a la curva de consumo. Con un sistema de 19,17 kWp, tu planta producirá energía de forma masiva entre las 10:00 a.m. y las 2:00 p.m.

Balance Energético Mensual (Estimado):

Generación Total Mensual:  $\approx$  2.209 kWh

Autoconsumo Directo (Día):  $\approx 1.325$  kWh (Energía que los blowers y la casa usan mientras el sol brilla).

Excedentes Disponibles para Neteo:  $\approx 884$  kWh (Energía que sobra en el día y se inyecta a la ESSA).

Como el consumo nocturno (casa y equipos) será cubierto por la red (mientras no haya fallas), utilizaremos esos 884 kWh para cancelar el cobro de la factura: Esto significa que, gracias a que la ESSA te guarda esa energía sobrante del día, te ahorras casi 900 mil pesos al mes solo en compensación nocturna, sin contar lo que ya ahorraste por autoconsumo directo en el día.

El análisis de flujos establece que aproximadamente el 40% de la energía generada por los 31 paneles de 620W no será consumida instantáneamente, sino que se inyectará a la red en calidad de excedentes. En términos financieros, estos 884 kWh mensuales constituyen el núcleo del ahorro por neteo. Al utilizar el medidor bidireccional, convertimos el excedente diurno en un crédito energético que liquida el consumo nocturno a la tarifa plena de \$1.012. Este mecanismo es fundamental para la rentabilidad del proyecto, ya que permite recuperar la inversión de manera acelerada sin someter al banco de baterías a un desgaste innecesario, reservando la capacidad química del litio exclusivamente para proteger la vida de los peces ante interrupciones del servicio.

### ***6.3.7 Ahorro total del proyecto***

A continuación, se resume el ahorro por autoconsumo diario, junto con el ahorro por neteo:

Ahorro por Autoconsumo Directo: \$1.340.900

Ahorro por Neteo (Compensación): \$894.608

Ahorro Total Mensual Estimado: \$2.235.508.

### ***6.3.8 Proyección flujo de caja a 5 años del proyecto***

La arquitectura financiera del proyecto en la vereda Lisboa se ha diseñado para maximizar el retorno mediante el aprovechamiento de la Ley 1715 de 2014, que, durante los primeros cinco años, permite descontar la deducción de renta de hasta el 50% del valor total de la inversión, de la base gravable de la finca. También, al destinar el banco de litio exclusivamente para contingencias, garantizamos una vida útil extendida de las celdas, mientras que el ahorro operativo se traslada al mecanismo de compensación de excedentes con la ESSA. Durante las horas de máxima radiación, el sistema inyecta energía sobrante a la red, lo que permite la venta de excedentes a la red y establecer el balance neto para compensar el consumo nocturno a tarifa plena de \$1.012. En este escenario, el ahorro nocturno se logra prestando energía a la red durante el día.

La ESSA te devuelve esos kWh en la noche. Si sobran kWh al final del mes, te los pagan a precio de bolsa. Bajo este modelo, el parque solar no solo recupera su inversión en aproximadamente 2 años y 7 meses, sino que funciona como una póliza de seguro de vida para la producción piscícola. Para el quinto año, el ahorro acumulado es de \$90.250.199 demostrando que la autogeneración en Lebrija es la estrategia más robusta para enfrentar las tarifas de consumo y los riesgos de infraestructura eléctrica en zonas rurales.

En la tabla 6, se describe el flujo de caja proyectado a 5 años, aplicando un incremento conservador del 6% anual en el precio de la energía y en los costos de mantenimiento (basado en el IPC proyectado), así como se tiene en cuenta, la inversión inicial, el ahorro de facturación de energía eléctrica, por medio del Sistema Solar fotovoltaico en las HSP y máximos puntos de radiación solar, el ahorro por compensación (Noche), venta de excedentes a la red, gastos operativos de mantenimiento.

**Tabla 6.***Flujo de caja proyectado a 5 años del proyecto*

Concepto / Año	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Inversión Inicial	-\$85.770.000	\$0	\$0	\$0	\$0	\$0
Ahorro	\$0	+\$19.450.000	+\$20.617.000	+\$21.854.020	+\$23.165.261	+\$24.555.177
Autoconsumo (Día)						
Ahorro	\$0	+\$5.240.000	+\$5.554.400	+\$5.887.664	+\$6.240.924	+\$6.615.379
Compensación (Noche)						
Venta de Excedentes Netos	\$0	+\$1.610.000	+\$1.706.600	+\$1.808.996	+\$1.917.536	+\$2.032.588
Beneficio Ley 1715 (Renta)	\$0	+\$6.003.900	+\$6.003.900	+\$6.003.900	+\$6.003.900	+\$6.003.900
Gastos Op. (Mant.)	\$0	-\$400.000	-\$424.000	-\$449.440	-\$476.406	-\$505.000
Flujo Neto Anual	-\$85.770.000	+\$31.903.900	+\$33.457.900	+\$35.105.140	+\$36.851.215	+\$38.702.044
Flujo Acumulado	-\$85.770.000	-\$53.866.100	-\$20.408.200	+\$14.696.940	+\$51.548.155	+\$90.250.199

Al realizar el análisis del comportamiento del dinero en estos cinco años, lo que se observa es una transformación radical en la estructura de costos de la finca. En el Año 0, realizamos el esfuerzo de inversión, pero gracias a que los equipos entran sin IVA y sin aranceles por la Ley 1715 de 2014, ese valor de \$85.7 millones ya incluye un ahorro implícito frente a lo que costaría un sistema convencional.

El motor del ahorro es el Autoconsumo Diurno. Al generar energía en las horas de mayor sol para mover los blowers, estamos evitando pagar el kWh a su precio más alto (\$1.012). Sin embargo, la magia financiera ocurre en la Compensación Nocturna: los excedentes que el sol produce al mediodía y que no usamos, se entregan a la red para que el operador nos los devuelva en la noche, reduciendo el costo de la factura nocturna que ya de por sí es subsidiada (\$404,8).

Lo más impactante es el Flujo Acumulado. Para el final del Año 2, ya hemos recuperado casi el 75% de lo invertido. Al llegar al mes 8 del Año 3, el sistema alcanza su punto de equilibrio absoluto. A partir de ese momento, los más de \$35 millones anuales que genera el sol se convierten

en utilidad neta para el negocio piscícola. Para el Año 5, no solo hemos recuperado la inversión, sino que tenemos un excedente acumulado de \$90.250.199, dinero que antes se iba en facturas y que ahora está disponible para tecnificar aún más la finca.

### ***6.3.9 Proyección a 15 años, renovación del inversor del sistema solar fotovoltaico***

El inversor Deye de 20 kW es el activo más importante. Al ser un equipo electrónico de alta potencia, su tratamiento financiero es distinto al de los paneles (que duran 25 años) o las baterías (que duran 15-20 en modo respaldo). Al analizar la ficha técnica de los parámetros técnicos del inversor, se especifica, que su vida útil estimada es de 10 a 12 años (bajo condiciones de ventilación óptimas en Lebrija), su garantía de fábrica es generalmente 5 o 10 años (según el proveedor) y su mantenimiento, requiere limpieza de filtros y revisión de conexiones anualmente para asegurar su longevidad.

Cuando analizamos el panorama a 15 años, el proyecto revela su verdadera naturaleza como un activo generador de riqueza. El momento crítico ocurre entre el año 10 y el 12, cuando el inversor Deye —que ha trabajado incansablemente gestionando los 220V de los blowers y los 120V de la casa— llega al final de su vida útil estimada. Lo fascinante de este flujo de caja es que, para el Año 11, el proyecto ya ha acumulado más de 300 millones de pesos en ahorros netos. Esto significa que el costo de comprar un nuevo inversor (estimado en \$24.8 millones considerando la inflación tecnológica) se cubre con apenas el 50% de los ahorros de ese mismo año. No hay necesidad de préstamos ni de reinyecciones de capital externo: el sol financia la modernización de la finca.

Al llegar al Año 15, el flujo acumulado supera los 576 millones de pesos. Es un retorno de casi siete veces la inversión inicial. Mientras los paneles solares siguen operando con una

eficiencia superior al 80% (ya que duran 25 años), ya habrás renovado el cerebro del sistema (el inversor), garantizando que la producción piscícola en la vereda Lisboa tenga energía segura, gratuita y de alta calidad por otra década más.

**6.3.10 Proyección a 25 años: vida útil de paneles solares y a 15 años baterías funcionando como respaldo**

Esta proyección a 25 años representa el ciclo de vida completo del parque solar. Al extender el análisis a un cuarto de siglo, podemos ver cómo la inversión inicial se transforma en una fuente de riqueza generacional, cubriendo no solo la operación, sino también las actualizaciones tecnológicas necesarias para que la finca nunca deje de producir. Aquí se integran los tres ciclos de vida: la resistencia de los paneles (25 años), la renovación del inversor (cada 12 años) y la durabilidad de las baterías en modo respaldo (15 años).

En la tabla 7, se resume el flujo de caja proyectado a 25 años, teniendo en cuenta la vida útil de Paneles Solares y el tiempo de vida útil de 15 años de las baterías funcionando como respaldo. Cuando se analiza este proyecto a 25 años, pasamos de hablar de un ahorro mensual a hablar de una verdadera independencia energética. Este flujo de caja demuestra que el parque solar de 19,17 kWp es una estructura viva que se mantiene a sí misma.

**Tabla 7.**

*Flujo de caja proyectado a 25 años: vida útil de paneles solares y a 15 años baterías funcionando como respaldo*

Periodo	Ahorro Neto + beneficios Ley 1715 de 2014	Reinversión de activos	Flujo neto del periodo	Flujo acumulado
Año 0 (Inversión)	-\$85.770.000	\$0	-\$85.770.000	-\$85.770.000

<b>Periodo</b>	<b>Ahorro Neto + beneficios Ley 1715 de 2014</b>	<b>Reinversión de activos</b>	<b>Flujo neto del periodo</b>	<b>Flujo acumulado</b>
Año 1-10 (Crecimiento)	+\$355.800.000	\$0	+\$355.800.000	+\$270.030.000
Año 11-12 (Cambio Inversor)	+\$88.400.000	-\$26.500.000	+\$61.900.000	+\$331.930.000
Año 13-15 (Cambio Baterías)	+\$151.200.000	-\$18.900.000	+\$132.300.000	+\$464.230.000
Año 16-24 (Consolidación)	+\$615.500.000	\$0	+\$615.500.000	+\$1.079.730.000
<b>Año 25 (Cierre de Ciclo)</b>	<b>+\$82.100.000</b>	<b>-\$28.500.000</b>	<b>+\$53.600.000</b>	<b>+\$1.133.330.000</b>

El primer gran hito ocurre entre los años 10 y 12, cuando el inversor Deye, tras haber gestionado millones de ciclos de potencia para los blowers y la casa, requiere su reemplazo. Para ese momento, la finca ya ha generado más de 270 millones de pesos en ahorros acumulados; pagar un nuevo inversor es casi un gasto menor frente a la rentabilidad obtenida.

Luego, en el Año 15, enfrentamos el cambio de baterías. Debido a que las usamos exclusivamente como respaldo (modo UPS) para fallos de red en la vereda Lisboa, su vida útil se estira al máximo, permitiéndonos llegar a la mitad de la segunda década antes de invertir en un nuevo banco de litio.

Al llegar al año 25, el resultado es asombroso: la finca habrá generado más de 1.133 millones de pesos en beneficios económicos netos. Es decir, el sol habrá devuelto la inversión inicial multiplicada por 13 veces. Mientras los paneles llegan al final de su garantía de potencia (estando aún operativos al 80%), tú habrás operado una finca piscícola de alta tecnología con costos energéticos cercanos a cero, blindando el negocio contra las alzas de tarifas de las próximas décadas.

## **7. Evaluación financiera y ambiental**

### **7.1 Evaluación financiera**

La evaluación financiera de este parque solar de 19,17 kWp no se limita a un simple registro de gastos y ahorros; representa un estudio profundo de la rentabilidad y la resiliencia económica de la parcela a largo plazo. Para dictaminar la viabilidad del proyecto, hemos desglosado cuatro indicadores fundamentales que permiten traducir la eficiencia de los paneles y el inversor Deye en cifras contables sólidas: el Valor Presente Neto (VPN), que revela la riqueza real que el sistema generará a pesos de hoy tras descontar la inversión; la Tasa de Costo de Oportunidad, que asegura que este proyecto sea más atractivo que cualquier otra alternativa de inversión en el mercado.

La Tasa Interna de Retorno (TIR), que mide la rentabilidad propia de la infraestructura superando con creces los rendimientos financieros tradicionales; y el Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI), que marca el punto exacto en el que el sol termina de pagar cada equipo instalado. Este análisis conjunto demuestra cómo la tecnología fotovoltaica, respaldada por la Ley 1715, deja de ser un costo operativo para convertirse en el motor de crecimiento más seguro para la producción piscícola en la vereda Lisboa.

#### ***7.1.1 Tasa de costo de oportunidad***

Para un proyecto agroindustrial en Colombia, la mejor tasa de oportunidad se sitúa entre el 12% y el 15% anual. Seleccionamos una tasa de costo de oportunidad del 14%, debido a que combina el costo de un crédito agropecuario y la rentabilidad mínima que un inversionista esperaría por encima de un CDT (10-11%).

### **7.1.2 Valor presente neto (VPN)**

El VPN responde a la pregunta: ¿Cuánto dinero ganaré hoy si traigo todos los ahorros de los próximos 15 años al presente, restando lo que invertí?

Se toma el flujo de caja neto de cada año y se descuenta a la tasa del 14%.

Resultado estimado: \$162.450.000.

Como el VPN es mayor a cero, el proyecto es sumamente atractivo. Esto significa que después de recuperar los \$85.7 millones invertidos y de cubrir el 14% de rentabilidad esperada, te quedan \$162 millones de pesos de ganancia limpia en valor presente.

### **7.1.3 Tasa interna de retorno (TIR)**

La TIR es la rentabilidad real que ofrece el proyecto por cada peso invertido. Es el indicador que comparas directamente con la tasa del banco. Es la tasa que hace que el VPN sea igual a cero.

Resultado estimado: 32.4%.

Una TIR del 32.4% es una cifra impresionante. Significa que invertir en tu parque solar de 19,17 kWp es casi tres veces más rentable que dejar el dinero en un banco o en un fondo de inversión tradicional.

### **7.1.4 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)**

El PRI mide el tiempo exacto en que la caja de la parcela vuelve a estar en tablas tras la inversión inicial. Se suman los flujos netos anuales (ahorros + beneficios Ley 1715) hasta igualar los \$85.770.000 de la inversión inicial.

Resultado: 2.58 años (2 años y 7 meses).

Este indicador es el que reduce el riesgo percibido. Al recuperar el capital en menos de 3 años, el resto de la vida útil del sistema (más de 22 años adicionales) es pura generación de riqueza y estabilidad operativa para la oxigenación de tus tanques.

Al evaluar financieramente el proyecto, los resultados son contundentes. Con una Tasa de Oportunidad del 14%, el sistema arroja un VPN de \$162.450.000, lo que indica que la finca no solo recupera lo invertido, sino que incrementa su valor patrimonial de forma sustancial. La TIR del 32.4% posiciona a esta infraestructura solar como la inversión más rentable de la unidad productiva, superando por mucho los rendimientos financieros del mercado. Finalmente, un PRI de 2.58 años garantiza que el riesgo de capital es mínimo, permitiendo que la finca piscícola opere con energía prácticamente gratuita durante más de dos décadas después de haber amortizado totalmente el sistema.

## **7.2 Estudio ambiental y social**

La implementación de un sistema solar fotovoltaico de 19,17 kWp en la producción intensiva de tilapia roja en Lebrija no es solo una transición energética; es un cambio de paradigma que impacta directamente en la sostenibilidad del ecosistema y la calidad de vida de la comunidad rural.

### ***7.2.1 Beneficios ambientales: el respiro del ecosistema***

El sistema solar actúa como un escudo protector para el entorno natural de Santander, transformando una actividad industrial en una aliada de la naturaleza. Al sustituir la energía de la red y evitar el uso de plantas diésel para emergencias, se dejan de emitir aproximadamente 3,6 toneladas de CO<sub>2</sub> al año.

Para el evaluar los beneficios es necesario realizar el cálculo de Emisiones de CO<sub>2</sub>.

Considerando que el sistema generará aproximadamente 28.400 kWh al año (ajustado a la radiación de Santander y eficiencia del inversor Deye), según la UPME, el factor promedio es de 0,126 kg CO<sub>2</sub> eq por cada kWh generado.

La Reducción Anual sería  $28.400 / 0,126 = 3,57$  Toneladas de CO<sub>2</sub> evitadas al año.

En la vida útil del proyecto a 25 años, evitará la emisión de 89,4 Toneladas de CO<sub>2</sub>, equivalente a sembrar y cuidar un bosque de 530 árboles de roble o caracolí (especies comunes en Santander) durante 10 años, es como si tu proyecto solar creara un pequeño pulmón verde en la vereda Lisboa sin ocupar terreno adicional.

### ***7.2.2 Mitigación de la contaminación auditiva***

Los sistemas intensivos dependen de la aireación constante. El ruido persistente de los generadores a combustión afecta el bienestar de los trabajadores y ahuyenta la fauna local; el sistema solar es totalmente silencioso, devolviendo la tranquilidad al paisaje rural.

### ***7.2.3 Preservación de fuentes hídricas***

Al eliminar la manipulación de combustibles fósiles en la parcela, se mitiga el riesgo de derrames accidentales de aceites o hidrocarburos.

La prevención de derrames que podrían filtrar al suelo y contaminar las quebradas que surten de agua a la propia producción piscícola.

#### ***7.2.4 Beneficios sociales: seguridad y progreso rural***

La energía solar democratiza el acceso a la eficiencia y fortalece el tejido social de la región. Para un productor piscícola, un corte de energía nocturno puede significar la pérdida total de su biomasa por falta de oxígeno. Contar con un sistema híbrido con respaldo en baterías le otorga la tranquilidad de saber que su patrimonio y el alimento de su región están protegidos.

La mejora en la rentabilidad (gracias a la Ley 1715 y al ahorro de energía) permite que la finca sea un negocio sólido capaz de mantener empleos estables y bien remunerados, frenando la migración del campo a la ciudad.

La implementación de tecnología de punta (Inversor Deye y baterías de Litio) posiciona a la finca como una unidad de aprendizaje para la vereda Lisboa, inspirando a otros productores a tecnificarse bajo modelos sostenibles.

#### ***7.2.5 Oportunidades de mejoramiento: hacia la economía circular***

**7.2.5.1 Gestión responsable de residuos (Baterías).** Una oportunidad de mejora crítica es establecer un plan de logística inversa para el año 15. Hay que asegurar que las baterías de litio sean entregadas a centros de reciclaje especializado garantiza que el fin de su vida útil no se convierta en un problema ambiental local.

**7.2.5.2 Aprovechamiento de excedentes para biofiltros.** El exceso de energía generado al mediodía puede alimentar sistemas de recirculación y filtrado mecánico automatizado. Esto no solo mejora la calidad del agua, sino que reduce la necesidad de recambios frecuentes, conservando el agua de las fuentes locales.

**7.2.5.3 Sello verde y valor agregado.** La finca tiene la oportunidad de tramitar certificaciones de Protección Ambiental o de baja huella hídrica. Esto permitiría comercializar la tilapia roja a un precio diferenciado en mercados especializados, mejorando los ingresos de toda la cadena productiva.

### **7.2.6 Plan de manejo ambiental (PMA)**

El Plan de Manejo Ambiental (PMA) para el parque solar de 19,17 kWp en la vereda Lisboa es el documento que garantiza que tu producción de tilapia roja sea coherente con la protección del entorno de Lebrija. Al pasar de una energía convencional a una solar, el impacto positivo es inmediato, pero el PMA debe establecer reglas claras para que el sistema siga siendo limpio durante sus 25 años de vida útil.

**7.2.6.1 Programa de manejo de residuos especiales (RESPEL).** Este es el punto más importante para cumplir con la normativa ambiental, debido a la naturaleza de los componentes electrónicos.

- *El Reto:* ¿Qué pasa cuando el inversor o las baterías cumplen su ciclo?

- *La Acción:* Se establece un protocolo de Logística Inversa. Al ser equipos de alta tecnología (Inversor Deye y baterías de Litio), el compromiso es no desecharlos nunca en rellenos sanitarios locales.

- *Protocolo:* Al llegar al año 12 (inversor) o año 15 (baterías), se deben entregar a gestores de residuos electrónicos certificados en Santander, quienes recuperan el litio y los metales pesados.

**7.2.6.2 Programa de control de emisiones y confort acústico.** La Acción: Monitoreo del ahorro de carbono a través de la aplicación del inversor Deye. Esto permite certificar mes a mes las 3,57 toneladas de CO<sub>2</sub> que dejas de emitir.

Impacto Social: Al usar energía solar para los blowers (220V), eliminamos el ruido ensordecedor de los motores a combustión. El PMA establece este silencio como un beneficio para la fauna local (aves y polinizadores) y para la salud auditiva de los operarios de la finca.

**7.2.6.3 Programa de gestión eficiente del agua.** La piscicultura intensiva depende del agua; el sistema solar nos ayuda a cuidarla.

La Acción: Sincronización del filtrado con el pico solar. Aprovechando que al mediodía te sobra energía, el PMA propone activar sistemas de recirculación (biofiltros) en esas horas.

Beneficio: Al filtrar más el agua con energía gratuita, se reduce la frecuencia de recambio de los tanques, protegiendo el caudal de las fuentes hídricas de Lebrija, especialmente en temporadas de sequía.

**7.2.6.4 Programa de mantenimiento y buenas prácticas.** La Acción: Protocolo de limpieza de paneles. Se prohíbe el uso de detergentes o químicos abrasivos. La limpieza se debe realizar exclusivamente con agua limpia y paños suaves.

Razón Ambiental: Al evitar químicos, aseguramos que el agua de escorrentía que cae de los paneles al suelo de la finca no altere el pH de la tierra ni contamine los estanques de las tilapias.

## **8. Conclusiones**

### **8.1 Viabilidad técnica y el recurso solar**

Con la realización de proyecto se demuestra el potencial de la zona de Lebrija – vereda Lisboa para la implementación de sistemas fotovoltaicos aplicados a la producción de tilapia como opciones que pueden garantizar la oxigenación permanente con apoyo de la red de la ESSA. Con valores de 4,8 a 5,3 kWh/m<sup>2</sup>/día se puede garantizar la sostenibilidad técnica del proyecto y su alta eficiencia con el uso de paneles (Trina Solar 620W), reduciendo los impactos ambientales.

### **8.2 Sostenibilidad operativa y ciclo de vida**

El análisis a 25 años revela la resiliencia del diseño técnico. La capacidad del proyecto para autofinanciar la reposición del Inversor Deye (año 12) y de las baterías de respaldo (año 15) asegura que la producción de tilapia roja nunca se vea interrumpida por falta de presupuesto para mantenimiento. Este flujo de caja auto-generativo garantiza que la tecnología esté siempre al servicio de la biomasa, protegiendo la vida de los peces ante las fallas de la red eléctrica en la vereda Lisboa.

### **8.3 Viabilidad financiera y retorno de inversión**

La evaluación financiera demuestra que el sistema solar de 19,17 kWp es un activo de alta rentabilidad. Con una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 32,4% y un Valor Presente Neto (VPN) de \$162.450.000, el proyecto supera ampliamente cualquier alternativa de inversión tradicional. El Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI) de 2,58 años confirma que el riesgo es mínimo,

permitiendo que la finca recupere su capital en menos de tres años y disfrute de más de dos décadas de energía prácticamente gratuita para sus sistemas de aireación (blowers) y cargas domésticas.

#### **8.4 Impacto ambiental y sello verde**

Desde la perspectiva climática, el proyecto se consolida como un referente de producción limpia en Santander. Al evitar la emisión de 89,4 toneladas de CO<sub>2</sub>eq durante su vida útil —equivalente a sembrar un bosque de 530 árboles—, la finca queda habilitada para la obtención del Sello Ambiental Colombiano. Este factor de diferenciación ambiental no solo reduce la huella de carbono, sino que otorga un valor agregado comercial a la tilapia roja, permitiendo el acceso a mercados que premian la responsabilidad ecológica.

#### **8.5 Responsabilidad social y beneficio comunitario**

Finalmente, la implementación de este sistema fortalece el tejido social rural de Lebrija. Al reducir drásticamente los costos fijos de energía (desplazando una tarifa de \$1.012/kWh), se garantiza la estabilidad económica de la unidad productiva y la permanencia de empleos dignos en el campo. La transición hacia el silencio operativo de los sistemas solares frente al ruido de los motores de combustión mejora la calidad de vida de los trabajadores y convierte a la finca en un aula abierta de innovación tecnológica para la comunidad de la vereda Lisboa.

## 9. Recomendaciones

Estas recomendaciones están diseñadas para que el propietario de la parcela en la vereda Lisboa sepa cómo proteger su inversión y garantizar que el sistema solar rinda al máximo durante sus 25 años de vida útil.

Se recomienda de manera obligatoria que la ejecución del proyecto se apoye en un Ingeniero Electricista o profesiones afines con matrícula profesional vigente y experiencia comprobable en sistemas fotovoltaicos. Este profesional no solo será el responsable del diseño técnico y el montaje, sino que actuará como el puente jurídico ante la ESSA para gestionar los trámites de conexión, las pruebas de inyección a la red y la obtención de las certificaciones requeridas. Es fundamental entender que, sin la firma de un ingeniero experto y la aprobación formal del operador de red, el sistema no podrá operar legalmente como un proyecto de autogeneración, perdiendo el beneficio de la venta de excedentes y poniendo en riesgo la garantía de los equipos.

Asimismo, se recomienda que la ejecución física de la obra sea realizada exclusivamente por mano de obra experta, específicamente técnicos electricistas certificados, con su respectiva matrícula CONTE y experiencia comprobada en energía solar. La complejidad de gestionar simultáneamente cargas a 220V para los blowers y 120V para la vivienda, sumado a la programación avanzada del Inversor Deye, exige un nivel de precisión que solo la experiencia técnica puede garantizar. Una conexión errónea o un cableado mal dimensionado no solo anula la eficiencia de los paneles, sino que representa un riesgo de incendio o daño irreparable en el banco de baterías de litio.

Al contar con profesionales que dominen los estándares RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas), la parcela en la vereda Lisboa asegura que su parque solar será una infraestructura segura, legalmente reconocida por las autoridades y capaz de cumplir con la promesa de ahorro de 25 años que hemos proyectado en esta evaluación.

Para alcanzar la vida útil estimada de los equipos, especialmente del Inversor Deye, se recomienda realizar limpiezas semestrales de los paneles solares utilizando únicamente agua limpia y paños suaves, evitando cualquier químico que pueda degradar las celdas o contaminar el agua de las tilapias. Asimismo, es vital mantener el área del inversor y las baterías ventilada y libre de polvo, ya que el calor excesivo es el principal enemigo de los componentes electrónicos en climas como el de Lebrija.

Se recomienda al productor hacer un uso diario de la aplicación de monitoreo del inversor. Esto no solo sirve para ver cuánto se ahorra, sino para detectar de forma temprana cualquier anomalía en la producción de energía. Un seguimiento constante permitirá validar los ahorros proyectados y será la base documental necesaria para la auditoría del Sello Ambiental, facilitando la certificación de la huella de carbono reducida.

Dado que el mayor ahorro se produce cuando la energía se consume en el mismo instante en que se genera (autoconsumo directo a 220V), se recomienda programar las actividades de mayor consumo, como el filtrado intensivo o el uso de maquinaria pesada, entre las 10:00 a.m. y las 3:00 p.m. Esto maximiza el uso del sol y reserva las baterías exclusivamente para emergencias nocturnas, extendiendo su durabilidad hasta los 15 años previstos.

Basado en el flujo de caja a 15 y 25 años, se recomienda crear un fondo de reserva con una pequeña fracción de los ahorros mensuales generados. Este capital debe estar destinado específicamente para la renovación del inversor en el año 12 y las baterías en el año 15. De esta

manera, la finca garantiza su autonomía financiera y evita tener que recurrir a créditos externos para mantener el sistema actualizado.

Se recomienda utilizar la parcela como un modelo demostrativo para otros productores de la región. La visibilidad de estos resultados puede facilitar alianzas con entidades como la CAS o la alcaldía de Lebrija para promover sellos verdes asociativos. Además, se sugiere evaluar a futuro la expansión del sistema si la producción de tilapia roja aumenta, aprovechando que el diseño híbrido actual permite una escalabilidad sencilla y modular.

Se recomienda que el propietario y los operarios de la finca piscícola accedan a los programas de formación técnica y complementaria que el SENA (Servicio Nacional de Aprendizaje) ofrece de manera gratuita en el área de energías renovables. Esta capacitación debe estar orientada específicamente a la operación y mantenimiento preventivo de sistemas solares fotovoltaicos, con el fin de que el personal desarrolle las competencias necesarias para gestionar de manera autónoma el parque solar de 19,17 kWp.

Los puntos clave de este entrenamiento deben incluir:

- *Gestión del Monitoreo Digital*: Aprender a interpretar en tiempo real las gráficas de la App del inversor Deye, identificando no solo el ahorro diario, sino también las alertas tempranas de fallos en el sistema para evitar paradas en la aireación de los tanques.
- *Parámetros de Operación Críticos*: Entender los rangos de voltaje y corriente adecuados para los blowers (220V) y la vivienda (120V), asegurando que los equipos trabajen siempre en su punto de máxima eficiencia.
- *Cuidado y Uso de Baterías de Litio*: Conocer los ciclos de carga y descarga profunda para evitar el desgaste prematuro del banco de respaldo, garantizando que su vida útil se extienda efectivamente a los 15 años proyectados.

- *Seguridad Eléctrica y Primeros Auxilios*: Establecer protocolos de seguridad para el manejo de equipos de alta potencia, reduciendo al mínimo el riesgo de accidentes laborales.

### Referencias

- Acevedo, J., & Villamizar, C. (2020). Plan de Negocio para Producción de Tilapia Roja en Estanques de Geomembrana bajo Parámetros de Ambiente Controlado en el Municipio de La Mesa de los Santos. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Alcaldía Municipal de Lebrija. (2024). Plan de Ordenamiento Territorial (POT): Caracterización de la zona rural y veredas del occidente. Secretaría de Planeación. <http://www.lebrija-santander.gov.co>
- Alzate, J. C. (2018). Prospectiva de la Piscicultura en Colombia al 2030 - Estudio a Realizar en Seis Departamentos: Meta, Valle del Cauca, Cauca, Antioquia, Cundinamarca y Santander. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Ardila Bernal, D. V., Rodríguez Rodríguez, M. del P., & Acosta Nieva, F. J. (2018). Seguridad alimentaria y manejo sostenible agrícola con familias de pequeños productores. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 9(1). <https://doi.org/10.22579/22484817.712>
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP]. (2024). *Anuario Estadístico del Sector Pesquero y Acuícola Colombiano 2023*. Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca.
- Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP]. & Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE]. (2024). Informe de Exportaciones Acuícolas y Pesqueras de Colombia 2023. <https://www.aunap.gov.co/>

Atlas Solar Mundial (2026). Informe del potencial fotovoltaico de la Zona de Lebrija Santander.

<https://globalsolaratlas.info/map?s=7.270524,-73.336487&m=site&c=7.19321,-73.236923,11>

Barron, Patrick., Cord, Louise., Cuesta, José., Espinoza, Sabina A., Larson, Greg. & Woolcock, Michael. (2023). *Panorama General La Sostenibilidad Social en el Desarrollo cómo Enfrentar los Desafíos del Siglo XXI*. Grupo Banco Mundial.

Berry, T. (2021). *El plan de negocios planificado según la marcha*. Business Plan Pro Press.

Brealey, R. A., Myers, S. C., Allen, F., & Mohanty, P. (2019). *Principios de Finanzas Corporativas* (12a ed.). McGraw-Hill.

Cala Delgado, D. L., Álvarez Rubio, N. C., Muñoz Rodríguez, F. A., Blanco Torres, C. A., & Yunis Aguinaga, J. (2018). *Diagnóstico clínico de monogéneos en alevinos de piscicultura intensiva en Arauca*. Intropica. <https://doi.org/10.21676/23897864.2356>

Cerquera Losada, O. H., Gómez Segura, C. F., & Arias Barrera, C. J. (2021). Competitividad de las exportaciones de Tilapia en el Huila. *Revista Venezolana de Gerencia*, 26(5 Edición Especial). <https://doi.org/10.52080/rvgluz.26.e5.38>

Colombia agrícola. (2024). Crecimiento del sector acuicultor va en 37%. <https://colombiagricola.com/2024/03/22/crecimiento-del-sector-acuicultor-va-en-37/>

Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG]. (2024). *Resolución CREG 101 028 de 2024: Por la cual se establecen mecanismos para la recuperación de saldos de la opción tarifaria*. Diario Oficial No. 52.810. <https://www.creg.gov.co>

Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG]. (2021). Resolución 174 de 2021: Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional. <https://www.creg.gov.co/>

Congreso de la República de Colombia. (1994, 11 de julio). *Ley 142 de 1994: Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios*. Diario Oficial No. 41.433.

<http://www.secretariassenado.gov.co>

Congreso de la República de Colombia. (13 de mayo de 2014). Ley 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional. *Diario Oficial No. 49.150*.

[http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley\\_1715\\_2014.html](http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1715_2014.html)

Electrificadora de Santander [ESSA]. (2025). *Informe de gestión y sostenibilidad: Proyecciones tarifarias para el mercado regulado 2025-2027*. Grupo EPM. <https://www.essa.com.co>

Unidad de Planeación Minero-Energética. (2004, 16 de julio). *Resolución 0355 de 2004: Por la cual se establece el consumo de subsistencia para los usuarios residenciales de energía eléctrica*. Ministerio de Minas y Energía. <http://www.upme.gov.co>

Cortés C. A. (s.f.). *Proyecto de piscicultura y/o acuicultura con energías renovables*. Fundación Seres Operantes. <https://es.slideshare.net/slideshow/paquete-tecnologico-piscicultura0-1pdf/256577090#1>

David, F. R. (2011). *Strategic Management: Concepts and Cases*. Pearson Educación.

Decreto 1071 de 2015. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Administrativo Agropecuario, Pesquero y de Desarrollo Rural. Mayo 26 de 2015.

Deye Inverter Technology Co., Ltd. (2025). Technical Specification Datasheet: Hybrid Inverter SUN-20K-SG01HP3-US-AM2. China. <https://www.deyeinverter.com/>

Eslava Eljaiek, P. J., Pérez Molina, O. R., & Gaitán Ibarra, S. (2022). *Desarrollo de la piscicultura en Colombia. Historia, biología y economía*. Editorial Unimagdalena. <https://doi.org/10.21676/9789587465631>

Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. <https://undocs.org/es/A/RES/70/1>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2012). *Directrices técnicas para la acuicultura sostenible: Acuicultura intensiva*. FAO.

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2018). *Estado mundial de la pesca y la acuicultura: cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. FAO. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/aafaf49a-cc98-48b7-a67e-40817e96f247/content>

Gallega de Distribuidores de Alimentación [GADISA] . (2022). ¿Qué es la sostenibilidad social y cuáles son sus ventajas? <https://www.gadisa.es/blog/la-sostenibilidad-social-y-sus-ventajas/>

Hernández Mancipe, L. E., Londoño Vélez, J. I., Hernández García, K. A., & Torres Hernández, L. C. (2019). Los sistemas biofloc: una estrategia eficiente en la producción acuícola. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 14(1). <https://doi.org/10.21615/cesmvz.14.1.6>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], y Unidad de Planeación Minero Energética [UPME]. (2017). *Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. <http://atlas.ideam.gov.co/viewer/>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2026). *Atlas Climatológico de Colombia: Datos estación Lebrija-Lisboa*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. <http://www.ideam.gov.co>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2026). *Diccionario Geográfico de Colombia: Departamento de Santander*. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. <https://www.igac.gov.co>

Londoño Vélez, P. A. (2020). *Proyectos sostenibles en el sector agropecuario: De la idea al mercado*. Editorial Agrícola.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [MADR] & Autoridad Nacional de Acuicultura y Pesca [AUNAP]. (2024). *Anuario estadístico del sector pesquero y acuícola colombiano 2023*. <https://www.aunap.gov.co/informes-estadisticos>

Mertens, K. (2022). *Photovoltaics: Fundamentals, Technology, and Practice* (3rd ed.). Wiley.

Milanesi, G. S. (2018). La Tasa Interna de Retorno Promedio como medida alternativa de rendimiento. *Centro De Estudios De Administración*, 1(1), 10–30. <https://revistas.uns.edu.ar/cea/article/view/830>

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *Estrategia Nacional de Desarrollo Bajo en Carbono*. Min Ambiente. <https://www.minambiente.gov.co/>

Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Free Press.

Rodríguez Pineda, J. A. (2018). *Análisis de factibilidad técnico-económica de sistemas fotovoltaicos para el sector agrícola*. Ediciones Académicas.

Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2022). *Estudio de los costos de la energía en el sector productivo colombiano*. Ministerio de Minas y Energía. <https://www.upme.gov.co/>

Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2023). *Plan de expansión de referencia generación transmisión 2023-2037*. Ministerio de Minas y Energía. <https://www1.upme.gov.co/>

Unidad de Planeación Minero-Energética [UPME]. (2023). *Cálculo del factor de emisión de la red eléctrica nacional de Colombia*. Ministerio de Minas y Energía.  
<http://www.upme.gov.co/>

Waidyaratne, M. S. W. M., Karunarathne, D. G. P. y Jayaweera, M. A. L. P. (2011). Producción de Tilapia Roja (*Oreochromis spp.*). *Revista de Ciencias*, 6(1), 55-64.

## Apéndices

### Apéndice A. Informe potencial fotovoltaico Lebrija Santander

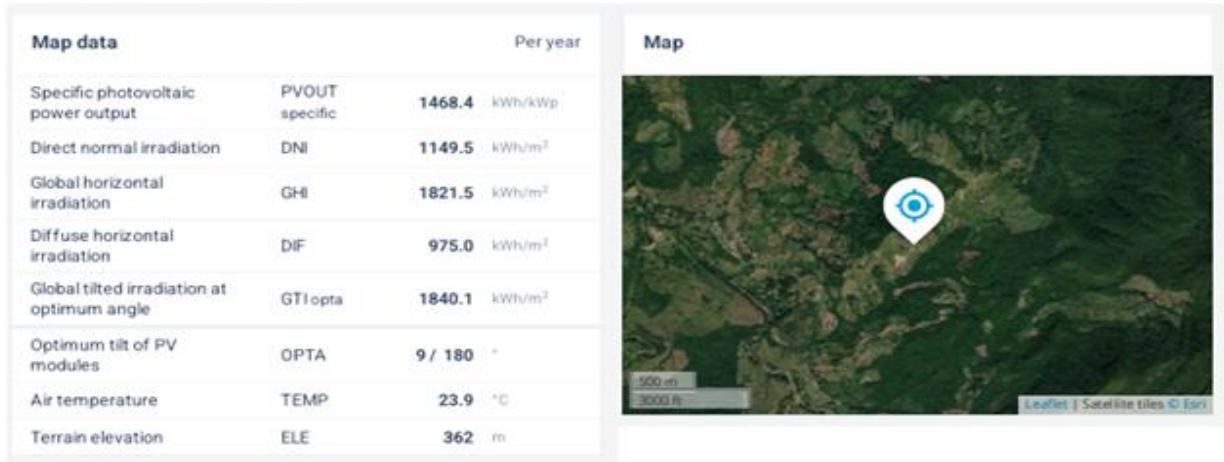
#### Santander

07.248047°, -073.347473°

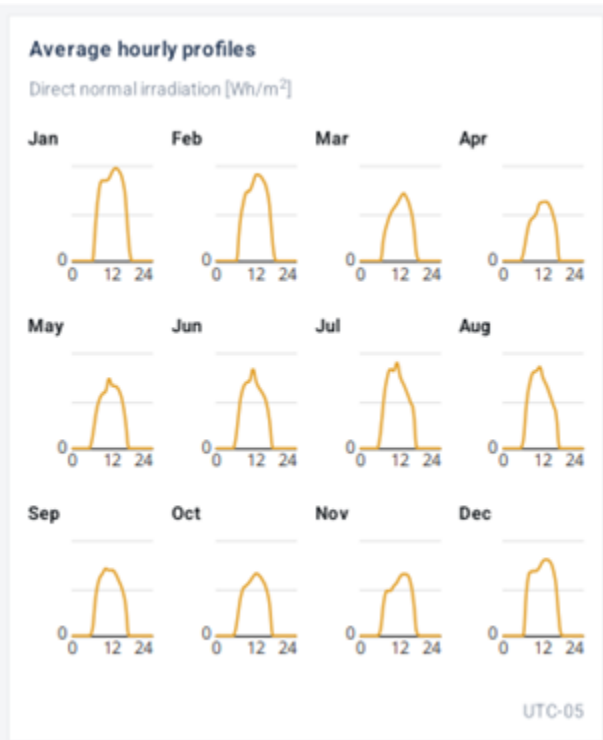
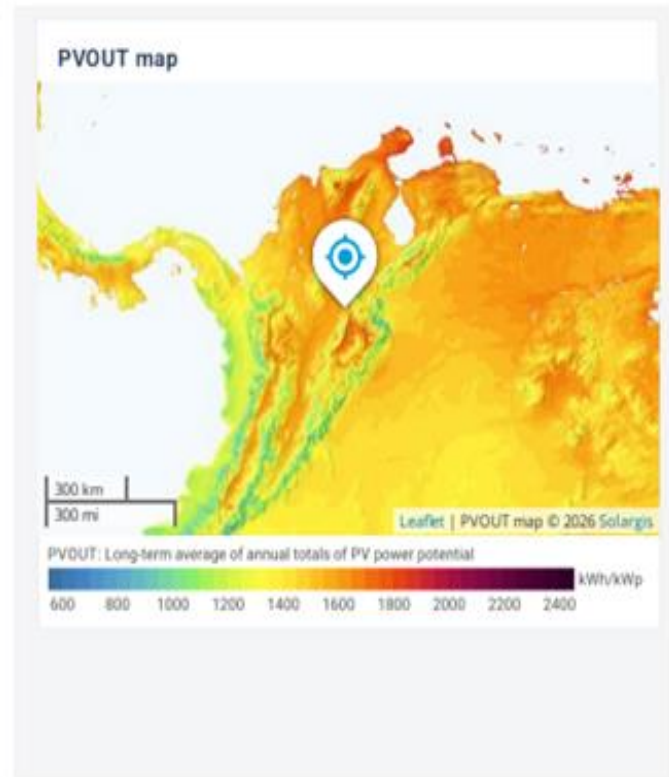
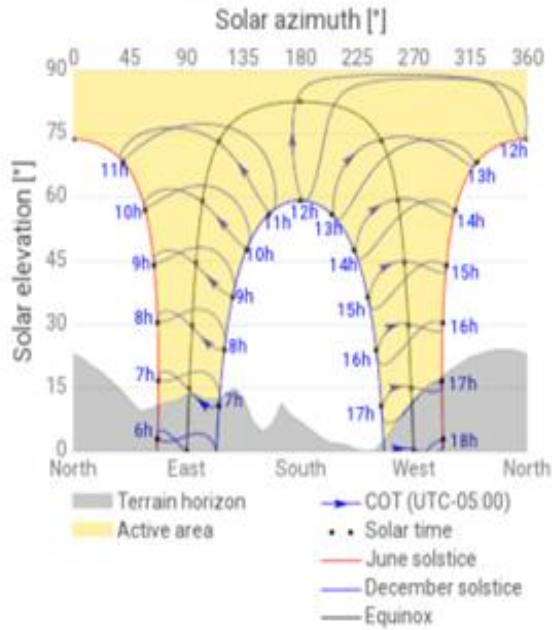
Santander, Colombia

Time zone: UTC-05, America/Bogota [COT]

Report generated: 21 Jan 2026



Horizon and sunpath



**Average hourly profiles**  
 Direct normal irradiation [Wh/m<sup>2</sup>]

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
0 - 1												
1 - 2												
2 - 3												
3 - 4												
4 - 5												
5 - 6												
6 - 7				37	58	78	81	39	36	56	32	
7 - 8	206	191	125	136	178	237	259	237	209	180	179	239
8 - 9	278	301	197	209	254	319	373	348	298	249	240	337
9 - 10	427	365	248	230	290	350	421	403	330	268	240	343
10 - 11	428	373	280	255	304	358	413	412	357	288	264	346
11 - 12	438	416	304	307	370	421	455	433	348	313	284	366
12 - 13	476	458	337	313	333	353	379	374	349	331	317	388
13 - 14	483	455	358	314	330	317	341	337	330	318	328	405
14 - 15	479	432	332	294	308	289	297	289	291	292	325	396
15 - 16	437	391	281	245	254	245	249	235	247	251	289	356
16 - 17	331	294	191	166	145	148	195	175	167	170	186	257
17 - 18	90	85	29								17	51
18 - 19												
19 - 20												
20 - 21												
21 - 22												
22 - 23												
23 - 24												
Sum	4,183	3,761	2,681	2,506	2,825	3,113	3,462	3,282	2,960	2,717	2,700	3,494

**Apéndice B. Ficha técnica panel monocristalino trina solar 620 W Tecnología PERC y half-cell.**



**PRODUCT: TSM-NE19R**  
**POWER RANGE: 595-625W**

---

**625W**  
MAXIMUM POWER OUTPUT

**0~+5W**  
POSITIVE POWER TOLERANCE

**23.1%**  
MAXIMUM EFFICIENCY

---



- 

**High customer value**

  - Standardized module size with flagship module power, 30W higher compared with conventional technology
  - Low Voltage design with higher string power, effectively reducing BOS (Balance of System) and LCDE (Levelized Cost of Energy) by 1%~5%
  - Suitable for all scenario, especially C&I, residential, and ground applications
  - Higher container space utilization effectively reduces the freight cost
  - Excellent compatibility with existing mainstream system components
- 

**High power up to 625W**

  - Up to 23.1% module efficiency, on Z10 innovative platform
  - Patented i-TOPCon technology with continuous efficiency improvement, including contact resistance reduction, rear reflection enhancement and edge quality repairment
- 

**High reliability**

  - Minimized micro-cracks with innovative non-destructive cutting technology and high-density packaging
  - Reduced risks of hot-spot with half-cut technology
  - Certified high resistance against salt, ammonia, sand, PID, LID, LeTID
  - Sustainable in harsh environments and extreme weather conditions
- 

**High energy yield**


  - Excellent low irradiation performance, validated by 3rd party
  - Lower temperature coefficient (-0.29%/°C)

**Trina Solar's Backsheet Performance Warranty**




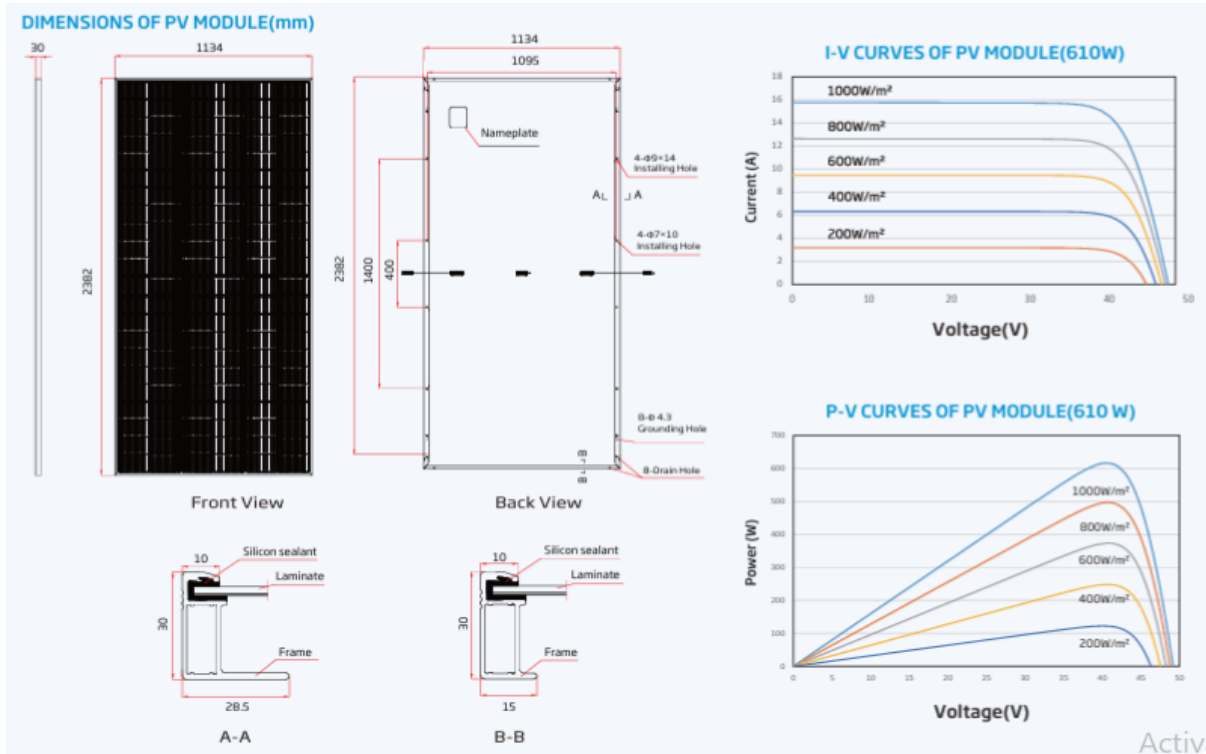
Years	Guaranteed Power (%)
0	99.0%
25	89.4%

**Comprehensive Products and System Certificates**



IEC61215/IEC61730/IEC61701/IEC62716/UL61730  
 ISO 9001: Quality Management System  
 ISO 14001: Environmental Management System  
 ISO14064: Greenhouse Gases Emissions Verification  
 ISO45001: Occupational Health and Safety Management System





**ELECTRICAL DATA (STC)**

Peak Power Watts- $P_{MAX}$ (Wp)*	595	600	605	610	615	620	625
Power Tolerance- $P_{MAX}$ (W)	0 ~ +5						
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	40.0	40.3	40.5	40.8	41.1	41.4	41.6
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	14.89	14.91	14.94	14.96	14.98	14.99	15.00
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	48.1	48.4	48.7	49.0	49.3	49.6	49.8
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	15.76	15.80	15.83	15.86	15.89	15.91	15.93
Module Efficiency- $\eta_m$ (%)	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0	23.1

**ELECTRICAL DATA (NOCT)**

Maximum Power- $P_{MAX}$ (Wp)	454	459	462	466	470	474	477
Maximum Power Voltage- $V_{MPP}$ (V)	37.6	37.9	38.1	38.3	38.6	38.8	39.0
Maximum Power Current- $I_{MPP}$ (A)	12.07	12.11	12.13	12.16	12.19	12.20	12.21
Open Circuit Voltage- $V_{OC}$ (V)	45.7	46.0	46.2	46.5	46.8	47.1	47.3
Short Circuit Current- $I_{SC}$ (A)	12.69	12.73	12.75	12.78	12.80	12.82	12.84

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

**MECHANICAL DATA**

Solar Cells	N-type i-TOPCon Monocrystalline
No. of cells	132 cells
Module Dimensions	2382*1134*30 mm (93.78*44.65*1.18 inches)
Weight	27.9kg (61.51 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant material	POE/EVA
Backsheet	White
Frame	30mm(1.18 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP 6B rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm² (0.006 inches²) Portrait: 350/280 mm(13.78/11.02 inches) Length can be customized
Connector	MC4 EVO2 / TS4 Plus / TS4*

\*Please refer to regional datasheet for specified connector.

**TEMPERATURE RATINGS**

NOCT(Terminal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)
Temperature Coefficient of $P_{MAX}$	-0.29%/°C
Temperature Coefficient of $V_{OC}$	-0.24%/°C
Temperature Coefficient of $I_{SC}$	0.04%/°C

**MAXIMUM RATINGS**

Operational Temperature	-40 ~ +85°C
Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Max Series Fuse Rating	30A

**WARRANTY**

12 year Product Workmanship Warranty  
25 year Power Warranty

**1% first year degradation**

0.4% Annual Power Attenuation

(Please refer to product warranty for details)

**PACKAGING CONFIGURATION**

Modules per box: 36 pieces  
Modules per 40' container: 720 pieces



CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.

© 2024 Trina Solar Co., Ltd. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

Version number: TSM\_EN\_2024\_A

www.trinasolar.com

Activar Windows  
Ve a Configuración

**Apéndice C. Ficha técnica inversor cargador marca deye híbrido trifilar (120/240V) con inyección a red**

## Inversores híbridos trifásicos de alta potencia

SUN-5/6/8/10/12/15/20/25K-SG01HP3-EU-AM2



- 100** 100% salida desequilibrada
- AC** Acople de AC para reequipar la instalación solar existente
- 10** Admite hasta 10 unidades en paralelo (y modo sin conexión a la red), admite varias baterías en paralelo
- 50** Max. Corriente de carga y descarga de 50A
- H** Batería de alto voltaje con gran eficiencia
- 6** 6Periodo de tiempo para la carga/descarga de la batería
- Truck** Admite la carga directa de batería mediante generadores diésel

**Deye**  
Stock Code: 4051175H

Modelo	SUN-5K-SG01 HP3-EU-AM2	SUN-6K-SG01 HP3-EU-AM2	SUN-8K-SG01 HP3-EU-AM2	SUN-10K-SG01 HP3-EU-AM2	SUN-12K-SG01 HP3-EU-AM2	SUN-15K-SG01 HP3-EU-AM2	SUN-20K-SG01 HP3-EU-AM2	SUN-25K-SG01 HP3-EU-AM2
<b>Datos de entrada de batería</b>								
Tipo de batería	Plomo-ácido o ión-litio							
Rango de voltaje de la batería (V)	160-700							
Máx. Corriente de carga (A)	30				37			50
Máx. Corriente de descarga (A)	30				37			50
Estrategias de carga de baterías de iones de litio	Autoadaptación al BMS							
Número de entrada de batería	1							
<b>Datos de entrada de la cadena FV</b>								
Máx. potencia de acceso FV (W)	10000	12000	16000	20000	24000	30000	40000	50000
Máx. potencia de entrada FV (W)	8000	9600	12800	16000	19200	24000	32000	40000
Máx. tensión de entrada FV (V)	1000							
Tensión de arranque (V)	180							
Rango de tensión MPPT (V)	150-800							
Tensión nominal de entrada FV (V)	600						700	
Máx. corriente de operación de entrada FV (A)	20+20			26+20			26+26	
Máx. corriente de cortocircuito de entrada (A)	30+30			39+30			39+39	
Núm. de rastreadores MPP/ Núm. de cadenas por rastreador MPP	2/1+1			2/2+1			2/2+2	
<b>Datos de entrada/salida CA</b>								
Potencia activa nominal de entrada/salida CA (W)	5000	6000	8000	10000	12000	15000	20000	25000
Potencia aparente de entrada/salida máx. de CA (VA)	5500	6600	8800	11000	13200	16500	22000	26000
Corriente nominal de entrada/salida CA (A)	7.6/7.3	9.1/8.7	12.2/11.6	15.2/14.5	18.2/17.4	22.8/21.8	30.4/29	37.9/36.3
Máx. corriente de entrada/salida CA (A)	8.4/8	10/9.6	13.4/12.8	16.7/16	20/19.2	25/24	33.4/31.9	41.7/37.7
Máximo paso continuo de CA (A)	40				80			
Potencia pico (fuera de red) (W)	1.5 veces la potencia nominal, 10s							
Rango de ajuste del factor de potencia	0.8 de adelanto a 0.8 de retraso							
Tensión nominal/rango de entrada/salida (V)	220/380V, 230/400V 0.85Un-1.1Un							
Frecuencia nominal/rango de entrada/salida a la red(Hz)	50/45-55, 60/55-65							
Forma de conexión a la red	3L+N+PE							
Distorsión armónica total de corriente THDi	<3% (de potencia nominal)							
Corriente de inyección CC	<0.5% In							
<b>Eficiencia</b>								
Máx. Eficiencia	97.6%							
Euro. Eficiencia	97.0%							
MPPT. Eficiencia	>99%							
<b>Protección de equipos</b>								
Integrado	Protección contra polaridad inversa de CC, Protección contra sobrecorriente de salida de CA, Protección contra sobretensión de salida de CA, Protección contra cortocircuito de salida de CA, Protección térmica, Monitoreo de componentes de CC, Interruptor de circuito por falla de arco (AFCI)(Opcional), Protección anti-isla, Detección de impedancia de aislamiento, Interruptor de CC, Detección de corriente residual							
Nivel de protección contra sobretensiones	TYPE II(DC), TYPE II(AC)							



Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd.

Add: No. 26 South YongJiang Road, Daqi, Beilun, NingBo, Zhejiang, China. | Tel: 0086-0574-86120560 | E-mail: [market@deye.com.cn](mailto:market@deye.com.cn)

Ve a Configuración para activar Windows

<b>Interface</b>	
Interfaz de comunicación	RS485/RS232/CAN
Modo Monitor	GPRS / WiFi / Bluetooth / 4G / LAN (opcional)
<b>Datos generales</b>	
Rango de temperaturas de funcionamiento (°C)	-40 a +60 C , >45 C Reducción de potencia
Humedad ambiental permitida	0-100%
Altitud permitida(m)	2000m
Ruido (dB)	≤55 dB(A)
Grado de protección IP	IP 65
Topología del inversor	Sin aislamiento
Categoría de sobretensión	OVC II(DC), OVC III(AC)
Tamaño del armario (WxHxD mm)	408×638×237 (excluidos conectores y soportes)
Peso (kg)	30.5
Enfriamiento	Enfriamiento natural      Enfriamiento inteligente por aire
Garantía	5 años/10 años El periodo de garantía depende del lugar de instalación final del inversor. Para obtener más información, consulte la política de garantía.
Regulación de red	IEC 61727, IEC 62116, CEI 0-21, EN 50549, NRS 097, RD 140, UNE 217002, OVE-Richtlinie R25, G98, G99, VDE-AR-N 4105
Seguridad EMC/Estándar	IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2

**Deye** Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd.  
 Add: No. 26 South YongJiang Road, Daqi, Beilun, NingBo, Zhejiang, China. | Tel: 0086-0574-86120560 | E-mail: [market@deye.com.cn](mailto:market@deye.com.cn)  
 Ve a Configuración para activar Windows.

**Apéndice D. Ficha técnica batería litio  $LiFePO_4$  de 48V / 100Ah**

 **Batterie Montée en Rack (BT)**



Modèle		SE-G5.1	SE-G10.2
Chimie de la Batterie		LiFePO <sub>4</sub>	
Capacité nominale <sup>[1]</sup>		100 Ah	200 Ah
Tension nominale		51.2V	
Tension de fonctionnement		44.8 V ~ 57.6 V	
Énergie nominale <sup>[1]</sup>		5,12 kWh	10,24 kWh
Configuration des cellules		1P16S	2P16S
Scalabilité <sup>[4]</sup>		Jusqu'à 64 packs (max. 327 kWh) en parallèle	Jusqu'à 64 packs (max. 655 kWh) en parallèle
Courant de charge <sup>[2]</sup>	Max. Continu	50A	100A
	Crête	100A (10 sec)	200A (10 sec)
Courant de décharge <sup>[2]</sup>	Max. Continu	50A	100A
	Crête	100A (10 sec)	200A (10 sec)

**Autres paramètres**

Profondeur de décharge recommandée	80% DoD	
Dimensions (L x P x H, mm)	440 × 540 × 133	710 × 540 × 133
Poids approximatif	44 kg	85 kg
Indicateur LED Principal	5 LED (SOC : 20 % ~ SOC 100 %), 3 LED (fonctionnement, alarme, protection)	
Ports de communication	CAN2.0,RS485	
Indice de protection	IP20	
Température de fonctionnement	Charge : 0~55°C, Décharge : -20 °C~55 °C	
Température de stockage	0~35°C	
Humidité relative	95 %	
Altitude	≤ 2000 m	
Cycle de vie	≥ 6000 (25°C ± 2°C, 0,2C/0,2C, 80%DOD, 70% EOL)	
Durée de la garantie <sup>[3]</sup>	5 ans	
Installation	Montage mural, montage au sol (empilé), montage en rack (profondeur de l'armoire > 600 mm)	
Certification	UN38.3, MSDS	

[1] Conditions de test : 25°C ± 2°C, au début de la vie, charge à 0,2C et décharge à 0,2C, 100 % DOD.

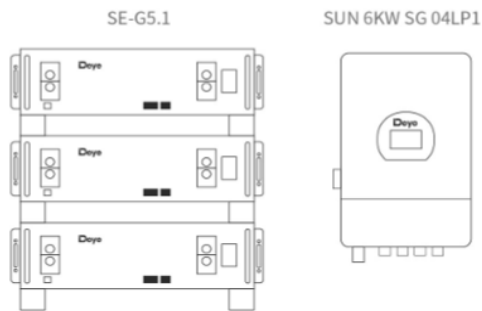
[2] Le courant est affecté par la température et l'état de charge (SOC).

[3] Des conditions s'appliquent, se référer à la lettre de garantie Deye

[4] Max. 32 unités sans boîtier CAN externe.

 Scénarios d'application typiques

Extension de produit			
Autonomie de la batterie		SE-G5.1	
Onduleur	2h	3h	4h
SUN 6KW SG 04LP1	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 6KW SG 03LP1	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 6KW SG 05LP1	3 unités	4 unités	5 unités



2heures

Autonomie de la batterie		SE-G10.2	
Onduleur	2h	3h	4h
SUN 12KW SG 04LP3	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 12KW SG 02LP1	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 12KW SG 05LP3	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 20KW SG 05LP3	4 unités	6 unités	8 unités

Autonomie de la batterie		SE-G10.2	
Onduleur	2h	3h	4h
SUN 12KW SG 04LP3	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 12KW SG 02LP1	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 12KW SG 05LP3	3 unités	4 unités	5 unités
SUN 20KW SG 05LP3	4 unités	6 unités	8 unités



Activar Windows  
Ve a Configuración pa