

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO



**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO TECNOLOGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA EN SUPERFICIES ACUÁTICAS DE EL
SALVADOR**

PRESENTADO POR:

MIGUEL TOMÁS AMAYA GÓMEZ

ALBERTO ANTONIO ROSA LUE

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE 2024

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. JUAN ROSA QUINTANILLA

SECRETARIA GENERAL :

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA

SECRETARIO :

ARQ. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA

ESCUELA DE POSGRADO

DIRECTOR :

MSc. ELMER ARTURO CARBALLO RUIZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE POSGRADO

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

MAESTRO EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE

Título :

**ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA UTILIZANDO TECNOLOGÍA SOLAR
FOTOVOLTAICA EN SUPERFICIES ACUÁTICAS DE EL
SALVADOR**

Presentado por :

**MIGUEL TOMÁS AMAYA GÓMEZ
ALBERTO ANTONIO ROSA LUE**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

MSc. e ING. ÁLVARO RENÉ FLAMENCO RAMOS

San Salvador, octubre de 2024

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

MSc. e ING. ÁLVARO RENÉ FLAMENCO RAMOS

Contenido

Índice de tablas	iii
Índice de Ilustraciones	iv
Definiciones.....	vi
Abreviaturas.....	vii
Resumen	viii
INTRODUCCIÓN.....	ix
OBJETIVOS.....	x
GENERAL	x
ESPECÍFICOS	x
JUSTIFICACIÓN	xi
ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	xii
LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	xii
1. Marco teórico.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.1.1 Orígenes y potencial de la Solar Fotovoltaica Flotante (FPV)	1
1.1.2 Ventajas de la Solar Fotovoltaica Flotante.....	6
1.1.3 Desventajas de la Solar Fotovoltaica Flotante	10
1.1.4 Energía solar fotovoltaica en el salvador	10
1.1.5 Mercado eléctrico en El Salvador	10
1.1.6 Mercado Mayorista.....	11
1.1.7 De los contratos de largo plazo para generación distribuida renovable (GDR).....	11
1.1.8 Los incentivos fiscales	12
1.2 Análisis de la producción eléctrica en El Salvador	12
1.3 Algunos proyectos fotovoltaicos en El Salvador	14
1.4 Otros proyectos fotovoltaicos instalados en el salvador	15
1.4.1 Planta AES Moncagua	15
1.4.2 Proyecto Bósforo.....	16
1.4.3 Fases del proyecto	16
1.4.4 Planta Rosario de la Paz	19
2. Desarrollo de la investigación	21
2.1 Potencia de irradiancia solar en El Salvador	21

2.1.1	Niveles de energía solar distribuida en Centroamérica.....	21
2.1.2	Información Climática General de El Salvador.....	23
2.1.3	Energía Solar Fotovoltaica en El Salvador.....	24
2.2	Inventario de cuerpos de agua en El Salvador.....	29
2.3	Criterios para el aprovechamiento de cuerpos de agua.....	36
2.3.1	Aspecto energético, social y ambiental a considerar.....	36
2.3.2	Estimación del área de cuerpos de agua (total y real utilizable).....	40
2.3.3	Humedales Ramsar y áreas naturales protegidas de El Salvador.....	42
2.3.4	Metodología para la Selección de Cuerpos de Agua del Proyecto.....	56
2.3.5	Evaluación del potencial energético para el área realmente aprovechada de cuerpos de agua.....	68
2.4	Determinación de la reducción en áreas de terreno utilizados, comparando estos sistemas flotantes como si se instalasen sobre el suelo firme.....	71
2.5	Estimación del potencial de generación con tecnología fotovoltaica en suelos Clase VIII.....	73
2.6	Impacto en la flora y fauna acuática de los sistemas fotovoltaicos flotantes.....	76
2.7	Ejemplo práctico de planta solar fotovoltaica flotante.....	78
2.7.1	Especificaciones técnicas de los componentes de la planta.....	80
2.8	Cálculo de indicadores de rentabilidad.....	87
2.8.1	Presupuesto de la instalación.....	87
3.	Conclusiones.....	90
4.	Recomendaciones.....	92
5.	Bibliografía.....	93
6.	Anexos.....	96

Índice de tablas

Tabla 1: Top ten de los proyectos solares flotantes hasta 2019 (conferencia solar plaza)	5
Tabla 2: Algunos proyectos fotovoltaicos en ESA.	14
Tabla 3: 22 estaciones meteorológicas en ESA.	26
Tabla 4: Irradiancia promedio mensual (W/m^2) medido por las estaciones en ESA.	27
Tabla 5: Lagos o lagunas localizadas en la cuenca del río Lempa.	30
Tabla 6: Características de los embalses de las principales centrales hidroeléctricas de ESA.	31
Tabla 7: Lagos y lagunas de la región B Paz.	31
Tabla 8: Lagos y lagunas de la región C Cara Sucia, San Pedro.	32
Tabla 9: Lagos y lagunas de la región F Jiboa, Estero de Jaltepeque.	33
Tabla 10: Lagos y lagunas de la región G Bahía de Jiquilisco.	34
Tabla 11: Lagos y lagunas de la región H Grande de San Miguel.	34
Tabla 12: Lagos y lagunas de la región I Sirama.	35
Tabla 13: Plantas fotovoltaicas que utilizaron 3 escenarios posibles de área del cuerpo de agua.	41
Tabla 14: Cuerpos de agua con probabilidad de utilización para el sistema fotovoltaico flotante.	43
Tabla 15: Descripción de lagos y lagunas con posibilidad de uso para FPV.	46
Tabla 16: Ejemplo de matriz de Pugh.	57
Tabla 17: Ejemplo de matriz de Pugh con criterios aplicados.	58
Tabla 18: Matriz de Pugh con criterios aplicados al proyecto.	66
Tabla 19: Matriz de Pugh con criterios aplicados en porcentajes.	66
Tabla 20: Resultados obtenidos y espejos de agua seleccionados.	66
Tabla 21: Potencial de generación estimado en los cuerpos de agua seleccionados, con 2 escenarios posibles de área a utilizar.	69
Tabla 22: Generación anual de energía según el BOLETÍN DE ESTADÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA SIGET 2023.	71
Tabla 23: Producción de energía y área utilizada en los cuerpos de agua Embalse 5 de nov. 15 de septiembre y Lago de Coatepeque.	71
Tabla 24 Presupuesto por montaje de PFF. (Ref.: Elaboración propia)	88

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1:Primera planta fotovoltaica flotante en California EEUU, 2008.....	1
Ilustración 2: Sistema Solar Fotovoltaico flotante Montalegre	2
Ilustración 3: Sistema Solar Fotovoltaico flotante Anhui.....	2
Ilustración 4: Sistema Solar Fotovoltaico sobre Presa la granja, África.....	3
Ilustración 5: Sistema Solar Fotovoltaico flotante O'MEGA 1.....	4
Ilustración 6: Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos flotantes en el año 2014 a nivel mundial.	4
Ilustración 7: Análisis de 200 proyectos de mayor potencia instalada en sistemas FPV.	5
Ilustración 8: Algunos proyectos solares flotantes hasta 2019 (Float Review 2013).....	6
Ilustración 9: Efecto de la temperatura en características del módulo fotovoltaico, I -V (Jhon Duffie, Solar Energy Thermal Processes).....	7
Ilustración 10: Relación de rendimiento PR es una medida de la calidad de una planta fotovoltaica.	8
Ilustración 11: Planta fotovoltaica terrestre AES Moncagua, San Miguel	15
Ilustración 12: Plantas fotovoltaicas terrestres, proyecto Bósforo ubicados en ESA.	17
Ilustración 13: Plantas fotovoltaicas terrestres, proyecto Bósforo.....	17
Ilustración 14: Plantas fotovoltaicas terrestres, proyecto Bósforo.....	19
Ilustración 15: Radiación Solar Global Horizontal en Centroamérica. Fuente: SWERA.	22
Ilustración 16: Evolución del precio de un sistema fotovoltaico (75 Wp) en El Salvador.	23
Ilustración 17: Mapa de Zonas Climáticas de El Salvador (fuente: Boletín Climático MARN)..	24
Ilustración 18: Índice de producción de energía fotovoltaica.	28
Ilustración 19: Regiones hidrográficas de ESA.	35
Ilustración 20: Ubicación de los embalses de represas hidroeléctricas.	36
Ilustración 21: Fuente: Datos 2022, Dirección general de energía, hidrocarburos y minas DGEHM.....	60
Ilustración 22: Solar flotante Alqueva. Fuente edp.com.....	61
Ilustración 23: Gráficos de barras para una mejor apreciación de los resultados de la matriz de Pugh aplicada al proyecto.	67
Ilustración 24:Fuente centa.gov.sv	74
Ilustración 25 Esquema de planta fotovoltaica flotante. (Ref.: Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS)).....	78
Ilustración 26 Ubicación de PFF de aproximadamente 5MWe. En rojo la ubicación de la planta PFF y en amarillo la CH-15 de septiembre (ref.: Google Maps).....	80
Ilustración 27 Registro de variación de nivel de agua en el embalse de la central hidroeléctrica CH-15 de septiembre. (Ref.: Grafico por DGEHM con información de UT).	81
Ilustración 28 Característica técnicas de los flotadores (color azul) para soportar los módulos FV. (Ref.: Tecnología Isifloating de la empresa Isigenere).	82
Ilustración 29 Características técnicas de módulos FV para la planta PFF. (Ref.: Jinko Solar) ..	84
Ilustración 30 Inversor ABB PVS-175-TL para PFF. (Ref.: ABB).....	84
Ilustración 31 Diagrama eléctrico unifilar de la PFF de ~5.0 MWe. (Ref. Elaboración propia mediante HelioScope).....	85

Ilustración 32 Factores que afectan la producción de energía. (Ref.: Elaboración propia mediante HelioScope).....	86
Ilustración 33: Floating Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2021 Installations on Artificial Water Bodies.	87
Ilustración 34 Gráfico de VAN y TIR del proyecto para diferentes valores de precio de venta de energía. (ref.: Elaboración propia).	89
Ilustración 36: Mapa de Brillo Solar SWERA. Tesis Actualización del Mapa de Radiación Solar de El Salvador. UES-FIA.....	108
Ilustración 38: Mapa de Radiación solar de El Salvador y algunos cuerpos de agua. Tesis Actualización del Mapa de Radiación Solar de El Salvador. UES-FIA.	108

Definiciones

- Aplicación de tecnologías de mitigación ambiental: Para asegurar la sostenibilidad del proyecto, es necesario implementar estudios de impacto ambiental y evaluar la posible afectación a la fauna y flora local, así como la calidad del agua.
- Cuerpos de Agua: Superficies acuáticas como lagos, lagunas y embalses.
- De acuerdo con el análisis, la rentabilidad para un proyecto de inversión para las condiciones operativas del proyecto debe producir como mínimo 5 MWe.
- Energía Solar Fotovoltaica Flotante (FPV): Tecnología que utiliza paneles solares instalados sobre superficies acuáticas para generar electricidad.
- Espejos de Agua: Superficies reflejantes de cuerpos de agua donde se pueden instalar tecnologías solares flotantes.
- Evaluación de la red eléctrica: Es fundamental realizar un estudio detallado sobre la proximidad y capacidad de la red eléctrica en las áreas seleccionadas para evitar costos adicionales por la conexión a la red y asegurar la viabilidad económica del proyecto.
- Evaporación del Agua: Pérdida de agua en reservorios o cuerpos de agua debido a la exposición al sol.
- Humedales Ramsar: Áreas designadas bajo la Convención Ramsar como humedales de importancia internacional.
- Impacto Ambiental: Efectos o consecuencias que un proyecto tiene sobre el entorno natural.
- Índice de Rendimiento (PR): Relación entre la producción de energía real y teórica en una planta fotovoltaica.
- Matriz de Pugh: Método de toma de decisiones para evaluar y seleccionar alternativas con base en criterios predefinidos.
- Monitoreo de la evaporación del agua: Según investigación efectuada, las instalaciones de paneles solares flotantes reducen la evaporación de los cuerpos de agua hasta en un 30%. Por lo tanto, se recomienda priorizar este tipo de instalaciones en zonas donde la reducción de la evaporación sea beneficiosa para la conservación del recurso hídrico.

- Optimización del diseño de los paneles: Se aconseja elegir módulos solares con coeficientes de temperatura bajos, dado que el rendimiento de los paneles puede disminuir con las altas temperaturas en algunas zonas del país.
- Potencial Energético: Capacidad que tiene un área o tecnología para generar energía.
- Radiación Solar Global Horizontal (GHI): Cantidad de radiación solar recibida por una superficie plana horizontal.

Abreviaturas

- BCIE: Banco Centroamericano de Integración Económica.
- CEL: Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa.
- ESA: El Salvador.
- FINNFUND: Fondo Finlandés para la Cooperación Industrial.
- FMO: Banco Holandés para el Desarrollo.
- FPV: Floating Photovoltaic (Fotovoltaica Flotante)
- GHI: Radiación Solar Global Horizontal.
- MARN: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- MWp: Megavatio pico, potencia máxima de un sistema fotovoltaico.
- PFF: Planta fotovoltaica flotante.
- PR: Performance Ratio. (Índice de Rendimiento)
- SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.

Resumen

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo general: Estimar el potencial de generación de energía eléctrica utilizando sistemas solares fotovoltaicos flotantes en las superficies acuáticas de El Salvador.

Para identificar los cuerpos de agua tales como lagos, lagunas, embalses de centrales hidroeléctricas se investigó en documentos de Instituciones Nacionales, tales como Inventario Nacional de Humedales, Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, Inventario Nacional y Diagnóstico de los Humedales de El Salvador, entre otros. Cada cuerpo de agua se ubicó geodésicamente y se identifican características y sus usos, todo lo anterior para su posterior evaluación a fin de ser considerado para instalar tecnología solar fotovoltaica flotante sobre su superficie. Para tal evaluación se utiliza la metodología de toma de decisiones basada en la ponderación de los criterios que debería de cumplir cada cuerpo de agua, tal metodología recibe el nombre de metodología multicriterio de *Pugh*, por el ingeniero británico *Stuart Pugh*.

A continuación, se procede a calcular el potencial de producción de energía eléctrica con tecnología solar fotovoltaica flotante en aquellos cuerpos de agua que pudieran ser utilizados para tal fin, considerando para ello dos escenarios: utilizar el 5% y 10% de la superficie acuática total, escenarios que fueron considerados por el World Bank Group en su estudio de potencial mundial de esta tecnología titulado FLOATING SOLAR MARKET REPORT.

Para finalizar el trabajo, se presenta el prediseño de una planta solar fotovoltaica de 5MWe, situada sobre el embalse de la central Hidroeléctrica 15 de septiembre, para estimar el monto de la inversión, se aplica la estructura de costos presentada por NREAL (año 2021) para esta tecnología.

Luego estableciendo los índices económicos necesarios se obtiene como resultado la estimación del precio de venta mínimo de la energía para que el proyecto sea rentable.

INTRODUCCIÓN

En el contexto de la generación de energía solar fotovoltaica y su desarrollo creciente en la región centroamericana; específicamente en El Salvador, se observa desde años recientes un aumento en la inversión destinada a la instalación de este tipo de tecnologías que, entre otros aspectos, logra una mayor participación de las energías renovables en la matriz energética del país.

En el país, en la actualidad, uno de los mayores retos que afronta esta tecnología solar fotovoltaica, es la extensión de terrenos sobre las cuales se instalan, y siendo El Salvador un país con apenas 1581430 hectáreas (15814.3 km²) destinadas al cultivo, esto es aproximadamente el 75.16% del área total del país, por tanto resulta complejo utilizar parte de esas áreas para el uso e instalación de plantas fotovoltaicas, comprometiendo la soberanía alimentaria de las personas cercanas y de la población del país en general.

Por lo antes mencionado, además, en aras de dar un empuje adicional al uso de este tipo de energía renovable, tanto desde el punto de vista de la diversificación energética del país, así como de la innovación en esta tecnología fotovoltaica, se realiza la propuesta de prefactibilidad de generación de energía solar fotovoltaica flotante instalados en las superficies de lagos, lagunas, entre otros, que minimicen el impacto en el uso de terrenos característicos de la generación fotovoltaica tradicional.

En el estudio del proyecto se pretende determinar el potencial energético de generación eléctrica que conlleva el aprovechar esa superficie libre de agua (espejos de agua) de los humedales existentes en El Salvador.

OBJETIVOS

GENERAL

- Estimar el potencial de generación de energía eléctrica utilizando sistemas solares fotovoltaicos flotantes en las superficies acuáticas de El Salvador.

ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de investigación bibliográfica de la zonificación de humedales en El Salvador y demás información pertinente al proyecto.
- Identificar las características principales que debería cumplir una superficie acuática para el montaje de un generador de energía solar fotovoltaica flotante y su posible impacto en la flora y la fauna acuática.
- Estimar la producción de energía solar fotovoltaica de los lugares sujetos a estudio.
- Determinar la reducción en áreas de terreno utilizados, comparando estos sistemas flotantes como si se instalasen sobre el suelo firme.
- Investigar sobre suelos clasificados como no aptos para la agricultura en el país según la clasificación agrologica del MAG y estimar el potencial de generación con tecnología fotovoltaica.

JUSTIFICACIÓN

La energía solar fotovoltaica está experimentando un auge generalizado en todo el mundo debido a la bajada de precios que durante los últimos años lleva experimentando las celdas y paneles fotovoltaicos (IEA, IEA Data and Statistics, 2020). En El Salvador, con el Decreto Legislativo N° 462, de fecha 8 de noviembre de 2007, publicado en el Diario Oficial, los proyectos y peticiones de instalaciones fotovoltaicas se han multiplicado en los últimos años.

Con la nueva legislación favorable sumada a la bajada del coste específico por W_p , en este trabajo de investigación, se están dando los primeros pasos en el estudio en el uso de instalaciones fotovoltaicas instaladas sobre superficies acuáticas,

Respecto a las ventajas planteadas en este tipo de instalaciones se pueden mencionar:

1. Mejora del rendimiento de los paneles debido al enfriamiento por la proximidad a la masa de agua fría.
2. Aprovechamiento de las superficies acuáticas sin necesidad de recurrir a uso de suelo firme.
3. Reducción de la evaporación de la lámina de agua al quedar cubierta por los paneles solares.
4. Posibilidad de sistemas híbridos con sistemas eléctricos ya existentes.
5. Reducción de la reproducción de algas.

De la segunda ventaja mencionada, se puede observar que en el país hay muchas superficies de agua originados por la intervención del hombre tal es el caso de los embalses de las represas hidroeléctricas, así como también superficies de lagos y lagunas; esta gama de posibilidades incentiva el interés en determinar con efectividad el aprovechamiento que se les puede dar a dichas superficies acuáticas instalando paneles solares fotovoltaicos flotantes para generar energía eléctrica.

ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto se centra en la investigación y determinación del potencial de generación de energía con tecnología solar fotovoltaica flotante o FPV por su abreviatura en inglés: Floting Photovoltaic, en espejos de agua. Una vez concluida esta investigación se podrá.

- Disponer de información referente a la zonificación de humedales en el país.
- Disponer de información de las superficies acuáticas con posibilidad de ser utilizadas para la instalación de paneles solares fotovoltaicos.
- Conociendo el potencial de generación de energía eléctrica con sistemas solares fotovoltaicos flotantes se origine el interés por su implementación, reduciendo así el interés del uso de suelo firme.
- Difundir el uso de esta tecnología como alternativa al uso de suelo firme

LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- La información disponible referente a los sistemas solares fotovoltaicos instalados sobre superficies acuáticas es muy escasa y de difícil acceso.
- Se utilizará información generada por las instituciones gubernamentales, que en muchos casos no ha sido actualizada.
- Los tipos y características como: profundidad, área, ubicación de los cuerpos de agua, etc. estarán condicionadas a la información obtenida de fuentes oficiales.

1. Marco teórico

1.1 Antecedentes

1.1.1 Orígenes y potencial de la Solar Fotovoltaica Flotante (FPV)

De acuerdo con los registros, la instalación del primer sistema fotovoltaico flotante fue instalado en 2007, realizado por un grupo de investigadores de National Institute of Advanced Science and Technology de Japón, y el objetivo principal de este proyecto fue probar el concepto de la solar fotovoltaica flotante y los efectos de la temperatura sobre el desempeño del sistema. Otros países se sumaron a la instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes con fines de investigación y demostración, entre estos se mencionan: Francia, Italia, la República de Corea, España y Estados Unidos. (referencia Where Sun Meet Water)

Fue en el 2008 cuando se registra la primera planta solar flotante comercial, ésta fue de 175 kWp construida en la bodega *Far Niente* en California, Estados Unidos, con 994 paneles en el estanque y 1,302 en tierra. El sistema se colocó encima de un depósito de agua para evitar ocupar terrenos y restarle así a los utilizados para el cultivo de uvas.



Ilustración 1: Primera planta fotovoltaica flotante en California EEUU, 2008.

Por otro lado, fue en Portugal donde 2016 se instaló el primer sistema fotovoltaico flotante en el embalse de una central hidroeléctrica, un proyecto pionero en el continente europeo, está situado en el embalse del río Rabagão, en Montalegre, con 840 paneles solares que ocupan un área de 2500 m², la plataforma, que es el resultado de una asociación entre EDP Producción, EDP Renovables

y EDP Comercial, tiene una capacidad instalada de aproximadamente 220 kWp y una producción anual estimada de alrededor de 300 MWh. (<https://www.edp.com/en/knowledge-sharing/alto-rabagao-photovoltaic-park>)



Ilustración 2: Sistema Solar Fotovoltaico flotante Montalegre

En el 2016 no pasó desapercibida la que sería a esa fecha, la mayor planta solar flotante de 40 megavatios que comenzó a generar energía en Huainan, una ciudad rica en carbón en la provincia de Anhui, en el este de China. Se instalaron más de 120,000 paneles fotovoltaicos en flotadores que cubren alrededor de 86 hectáreas en la superficie del agua de un área de hundimiento de la minería de carbón.



Ilustración 3: Sistema Solar Fotovoltaico flotante Anhui.

En otro continente, África, se instaló la primera planta solar flotante de 60 kWp sobre la presa de la granja para suministrar energía renovable durante el día, así como minimizar el uso de la tierra y reducir la evaporación en la presa.



Ilustración 4: Sistema Solar Fotovoltaico sobre Presa la granja, África.

Aunque el concepto de los sistemas solares flotantes sugiere tener cabida sobre cualquier superficie acuática, fue hasta 2019 que en Holanda inicia el proyecto de diseño, ejecución y puesta en marcha de la primera planta solar flotante sobre la mar, bautizada como ‘Zon-op-Zee’, que se traduce como ‘El Sol en el mar’. Cabe destacar que la producción de energía lograda con esta planta solar flotante será comparada con una instalada en tierra, de esta investigación se hará responsable la Universidad de Utrecht.

En ese mismo 2019, en Francia se instala la planta fotovoltaica flotante más grande a esa fecha, situada en un lago en una antigua cantera, el proyecto O’MEGA1 fue el más grande de su tipo en Europa, compuesto por 47,000 módulos solares que utilizan la tecnología Hydrelío desarrollada por el especialista francés en fotovoltaica flotante Ciel & Terre. Los módulos están fabricados en polietileno reciclable de alta densidad, construido para soportar vientos de hasta 210 km / h.



Ilustración 5: Sistema Solar Fotovoltaico flotante O'MEGA 1.

Identificar todos los proyectos de generación utilizando tecnología fotovoltaica flotante sería una labor bastante ardua y compleja. En la ilustración 5 (gráfico) se puede notar como la capacidad instalada en el año 2014 a nivel mundial sumaba 10 MWp, esto representó un crecimiento de 1.8 MWp/año desde 2009 a 2014. Sin embargo, entre el 2014 y el 2016 el crecimiento de la capacidad instalada total fue de 61 MWp/ año, lo que dejó como resultado capacidad instalada 132 MW/p para el 2016, este vertiginoso crecimiento se dio como resultado de la probada fiabilidad y bancabilidad de los sistemas FPV, el tamaño medio de proyectos también ha aumentado. Ya en el año 2018 se tenía una capacidad instalada total a nivel mundial de 1097 MWp.

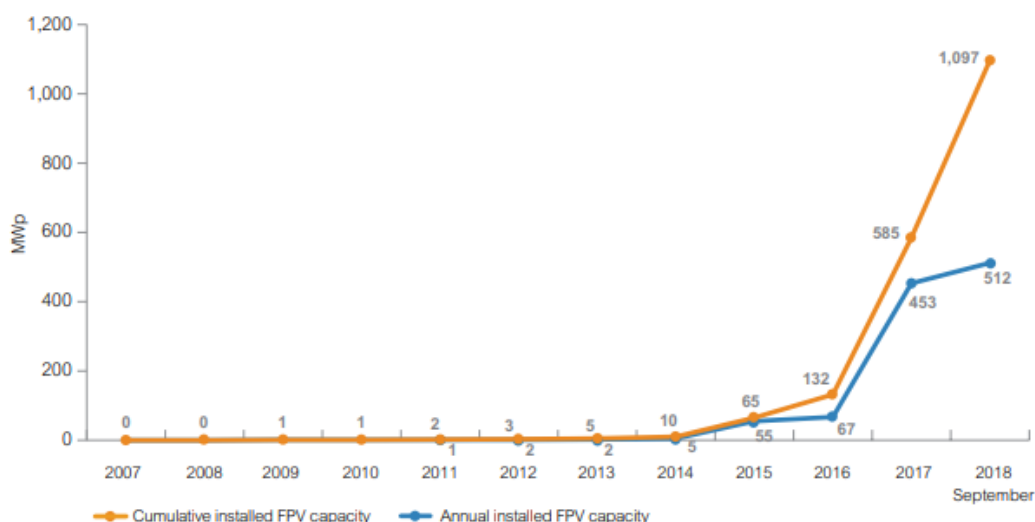


Ilustración 6: Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos flotantes en el año 2014 a nivel mundial.

Aunque la implementación de esta tecnología se ha esparcido hacia todos los continentes, un análisis realizado sobre los 200 proyectos de mayor potencia instalada evidencio la hegemonía que mantiene Asia sumando un total de 92.6 %, y en este China es su mayor representante con una capacidad instalada del 70% de los 200 proyectos de mayor capacidad a nivel mundial. (conferencia solar plaza)

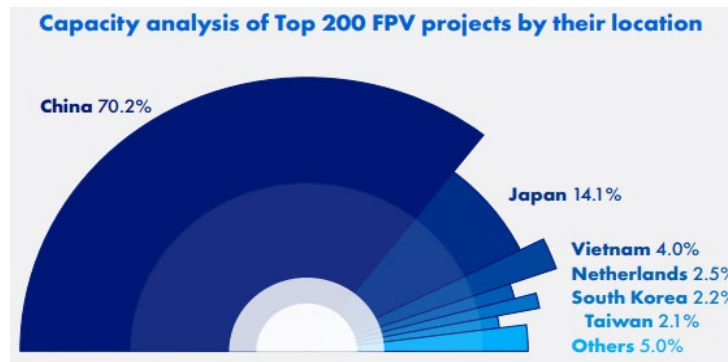


Ilustración 7: Análisis de 200 proyectos de mayor potencia instalada en sistemas FPV.

Tabla 1: Top ten de los proyectos solares flotantes hasta 2019 (conferencia solar plaza)

Name of plant/ region	Scale (kW)	Country	Operational Year	Floating System Provider	Continent
Guqiao Huainan/ China coal subsidence	150,000.00	China	2017	Sungrow	Asia
Anhui province	150,000.00	China	2018	Three Gorges New Energy	Asia
Xinji Huanian/ China coal subsidence	102,000.00	China	2017	Sungrow	Asia
Weishan Jining/ China large-scale waters	100,000.00	China	2018	Sungrow	Asia
Anhui Cecep	70,005.00	China	2019	Ciel & Terre	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	70,000.00	China	2019	Ciel & Terre	Asia
Huancheng Jining / China coal subsidence	50,000.00	China	2018	Sungrow	Asia
Da Mi Hydropower Reservoir	47,500.00	Vietnam	2019	NA	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	40,000.00	China	2016	Sungrow	Asia
Coal mining subsidence area of Huainan City	32,686.00	China	2017	Ciel & Terre	Asia

A un con todo lo anterior, el potencial de mercado para la energía fotovoltaica flotante aún es inmenso, un estudio del Banco Mundial muestra que, si solo se usará el 1% de las superficies de

los depósitos artificiales, la capacidad en el mundo para la energía solar flotante ascendería a 400 GW. El informe detalla la oportunidad a escala de Tera Vatios para los proyectos solares flotantes, que solo se ve obstaculizada por el temor de los inversores sobre el costo y la confiabilidad de la tecnología.

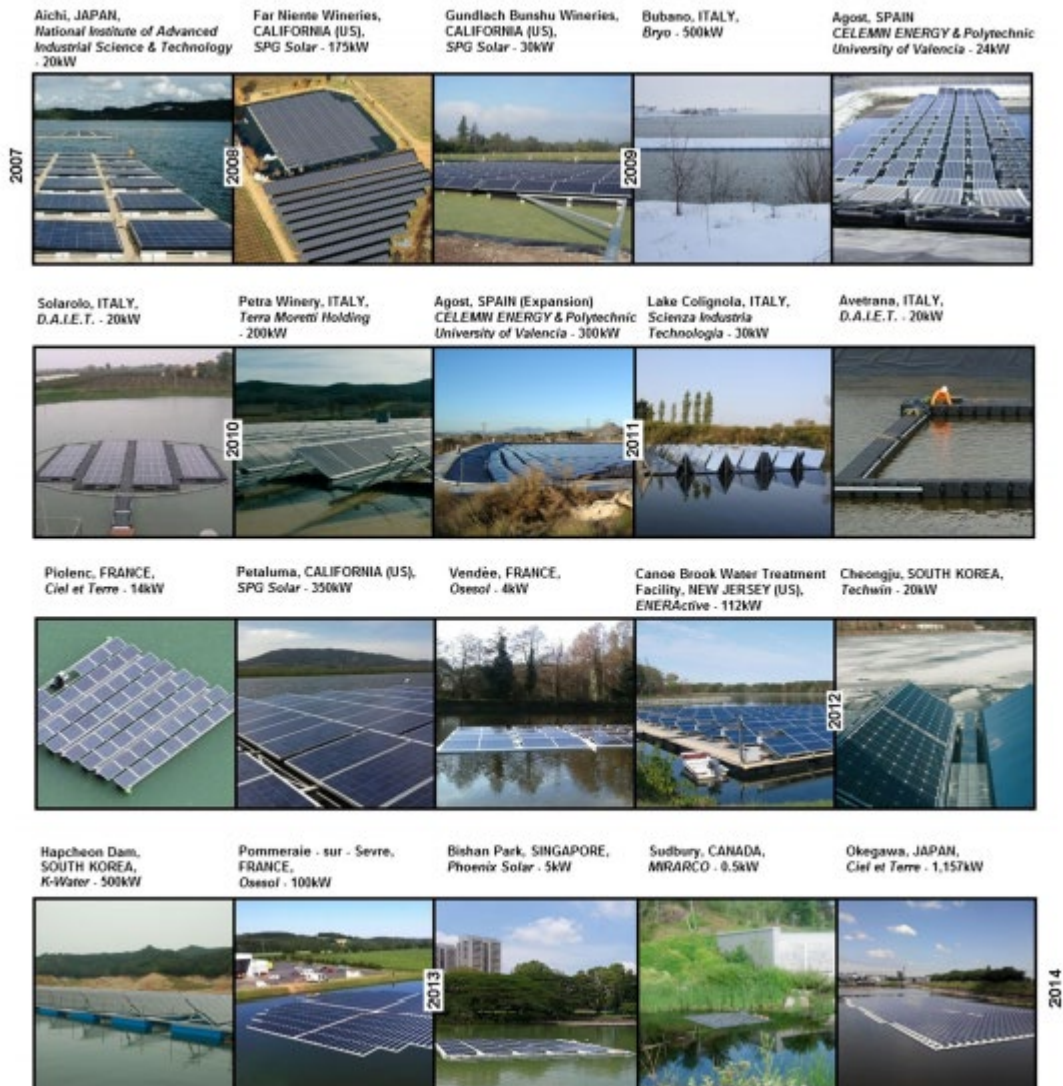


Ilustración 8: Algunos proyectos solares flotantes hasta 2019 (Float Review 2013)

1.1.2 Ventajas de la Solar Fotovoltaica Flotante

- a) No necesitan tierra firme para su implementación: aunque esta ventaja es inherente a su naturaleza, no puede omitirse el hecho que es una solución ante la necesidad imperante de no utilizar suelo que pueda ser destinado para fines agrícolas, vivienda, entre otros.

b) Mejor rendimiento: un estudio comparativo (Young-Kwan Choique) dio como resultado que los sistemas solares flotantes tienen mayor producción de energía comparado con uno similar instalado en tierra. En términos de eficiencia el estudio concluye que los sistemas flotantes son 11% más eficientes. La razón es que la temperatura en las proximidades de un cuerpo de agua es generalmente más baja que la temperatura ambiente en tierra, además la velocidad del viento tiende a ser mayor en superficies de agua abiertas, todo lo anterior causa un efecto de enfriamiento en la celda fotovoltaica que mejora el rendimiento. La figura muestra el efecto de la temperatura en una característica del módulo I-V; en un nivel de radiación fijo, el aumento de temperatura conduce a una disminución del voltaje de circuito abierto y corriente de cortocircuito ligeramente aumentada.

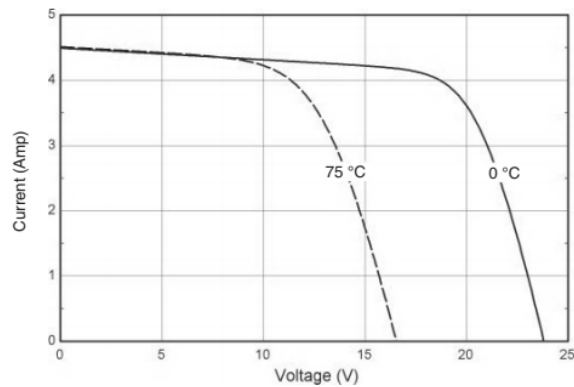


Ilustración 9: Efecto de la temperatura en características del módulo fotovoltaico, I-V (Jhon Duffie, Solar Energy Thermal Processes)

La relación de rendimiento PR es una medida de la calidad de una planta fotovoltaica que es independiente de la ubicación y, por lo tanto, a menudo descrito como un factor de calidad. El índice de rendimiento (PR) se expresa como porcentaje y describe la relación entre la producción de energía real y teórica de la planta fotovoltaica. Por tanto, muestra la proporción de la energía que está realmente disponible para la exportación a la red después de deducir la pérdida de energía (por ejemplo, pérdidas de conducción) y del consumo de energía para la operación. Plantas fotovoltaicas de alto rendimiento, puede alcanzar PR de hasta el 80%.

En “contraste”, una investigación llevada a cabo en Singapur (ZHAO Lu, LIU Haohui, Jason LUN, Vijay KRISH, Thomas REINDL Solar Energy Research Institute of Singapore (*SERIS*))

National University of Singapore (NUS) Titulada Floating PV Technologies and Singapore's Testbed Experiences) en la cual se instalaron 8 diferentes sistemas de ensayo. Seis de los sistemas instalados presentaron un PR superior al 80%, específicamente del 84% al 94%, es decir casi un 14% más que el mejor PR alcanzado en una planta fotovoltaica situada en tierra. El citado estudio concluye además que los módulos FPV objetos en observación presentaron temperaturas menores a las conseguidas en instalaciones en tierra firme, lo que explica el superior PR obtenido por el efecto de enfriamiento.

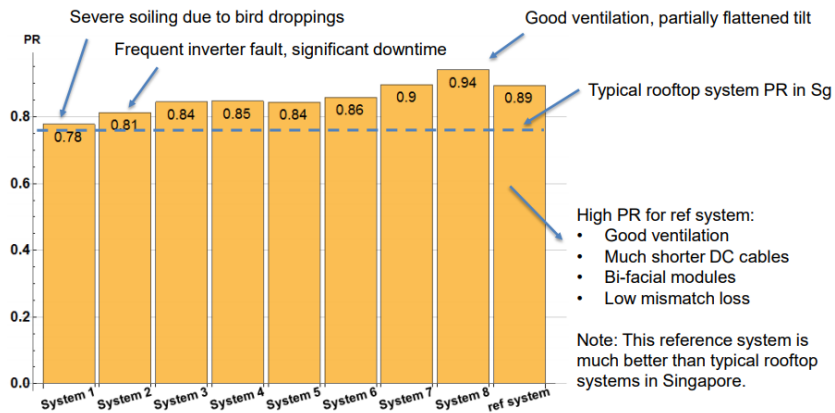


Ilustración 10: Relación de rendimiento PR es una medida de la calidad de una planta fotovoltaica.

c) Disminución de la evaporación del agua en reservorios: La conservación del agua resulta importante para la agricultura, industrias o incluso para las hidroeléctricas. La pérdida de agua por evaporación en embalses de regulación de riego es un problema, estas pérdidas pueden representar un porcentaje importante del volumen total de agua que regulan, y resultar en una baja eficiencia de almacenamiento y, por ende, afectar muy negativamente la eficiencia global de los sistemas de distribución de agua para riego que en zonas áridas puede llegar a ser de notable importancia económica (<https://internationalcoverpool.es/evaporacion-balsas/>). Como ejemplo de la preocupación de la pérdida de agua por evaporación en Chile en 2019, la minería Los Bronces de Anglo American instaló un proyecto con capacidad de generar 150 MWh/año, la planta está constituida por 256 paneles fotovoltaicos instalados en el depósito Las Tórtolas, los impulsores del proyecto esperan reducir la evaporación del agua, en el área cubierta, hasta

un 80%. El interés de reducir la evaporación es tener mayor disponibilidad de agua de recirculación para el proceso.

Un estudio realizado en el embalse Guri el cual es la fuente de energía hidroeléctrica más importante de Venezuela, con una capacidad instalada de unos diez millones de kilovatios. El estudio concluyó que este embalse con una capacidad volumétrica de 130000 hm³ y espejo de agua 4000 km² en la cota 270 msnm experimenta una evaporación promedio anual del orden de los 1670 milímetros, y si se multiplica por el área máxima del lago que es del orden de los 4000 km², y se divide entre el número de segundos que tiene un año, se obtiene que el caudal promedio que se evapora desde la superficie del lago es del orden de los 212 m³ /s. Por otro lado, un estudio realizado en cinco embalses en España donde la temperatura promedio anual oscila entre 8°C y 14°C la investigación arrojó que la pérdida por evaporación estaba entre 5.6 % y 2.8% del volumen embalsado. Lo anterior refleja que la pérdida por evaporación “podría ser un problema severo” en zonas de baja precipitación y que podría tener una afectación negativa en sistemas de riego o producción de energía eléctrica en el caso de las centrales hidroeléctricas de embalse. Ante este problema las plantas solares flotantes son presentadas como una solución técnica “doble propósito”: evitar la evaporación y producir energía renovable. Sin embargo, la tasa de reducción de las pérdidas por evaporación de las plantas solares flotantes le fue adjudicada en un 70% hasta un 80%, en el período de desarrollo de este trabajo de graduación no se encontró evidencia científica alguna de tal afirmación.

Por otro lado, una investigación experimental llevada a cabo en Singapur concluyó que los paneles solares flotantes sobre el cuerpo de agua tienen un efecto de reducción de la evaporación a tasas según lo previsto. Comparando la diferencia en la caída de los niveles de agua entre el prototipo y el control, se observó que el panel solar flotante reduce tasas de evaporación en aproximadamente un 30% en promedio.

- d) Los sistemas fotovoltaicos flotantes son de más rápida instalación, según el fabricante Isigener, una vez teniendo materiales y equipos ya en el sitio del proyecto; Instalación de 1MWp en 15 días con un equipo de 5 técnicos.

- e) Las pérdidas por sombras pueden llegar a ser nulas, debido a su instalación en superficies planas de grandes extensiones, como lagos, lagunas y embalses, y sin árboles ni estructuras cercanas que generen sombras.

1.1.3 Desventajas de la Solar Fotovoltaica Flotante

Las desventajas de esta tecnología que se pueden mencionar son:

- a) La estructura sobre la cual se instala los módulos, inversores y demás, son de mayor costo que las utilizadas en suelo firme. Un estudio de la NREL del 2021 arrojó que para una planta de 10 MWp la estructura flotante tiene un costo de \$USD 0.37/Wp mientras que para un sistema instalado en suelo firme la estructura tiene un costo de \$USD 0.11/Wp.
- b) Mayor vulnerabilidad al impacto de los fenómenos climáticos como: oleajes altos, velocidades de viento.
- c) Uso de conductores y equipo eléctrico en general, con mayor resistencia a humedad y posible inmersión en líquidos.
- d) Complejidad de la puesta a tierra de la instalación flotante.
- e) Debido a la posible inestabilidad de la estructura flotante, el desplazamiento del personal técnico al interior de la planta para actividades de mantenimiento o reparación requiere de mayor precaución comparado con una planta instalada en tierra.
- f) Posibles conflictos con la comunidad al utilizar cuerpos de agua donde se desarrollen actividades de pesca, turismo, extracción de agua para consumo humano, entre otros.

1.1.4 Energía solar fotovoltaica en el salvador

Una de las fuentes de energía renovable mayormente disponible en el país es la energía solar, por lo que conscientes de la importancia de la utilización de estas tecnologías verdes, se inicia con este trabajo, el estudio alternativo que permita estimar la capacidad de los sistemas fotovoltaicos que se pudieran instalar en superficies acuáticas.

1.1.5 Mercado eléctrico en El Salvador

La Ley General de Electricidad (LGE) y su Reglamento son los primeros documentos relacionados con cualquier proyecto de generación de electricidad que se deben conocer, debido a que existen restricciones para el acceso a los mecanismos vigentes de comercialización de la

energía eléctrica. La LGE regula las actividades privadas o públicas relacionadas a la generación, transmisión distribución y comercialización de la energía eléctrica en El Salvador.

1.1.6 Mercado Mayorista

Es en el Reglamento de Operación del Sistema de Transmisión y del Mercado Mayorista Basado en Costos de Producción en donde a la fecha se encuentra la primera restricción en los artículos 3.2.3 y en el 20.1.2, en los cuales se menciona que para participar en el Mercado Mayorista un Participante del Mercado generador conectado a la red de distribución debe ser capaz de inyectar una potencia mínima de 5 MW por nodo.

1.1.7 De los contratos de largo plazo para generación distribuida renovable (GDR)

Actualmente, las modificaciones del marco regulatorio realizadas en el 2012 permiten la ejecución de licitaciones especiales donde proyectos de energía renovable pueden participar en contratos basados en energía ofertada. En las reformas hechas al Reglamento de la LGE que se encuentran en el Decreto Ejecutivo No. 80 de fecha 17 de abril de 2012, publicado en el Diario Oficial No. 76, Tomo 395 de fecha 26 de abril de 2012, se menciona lo siguiente: En el caso de licitaciones destinadas exclusivamente a fuentes renovables de energía eléctrica, los procedimientos de contratación deberán contemplar expresamente un mecanismo simplificado destinado a generación con base en energía renovable conectada en red del distribuidor, de hasta un máximo de 20 MW de capacidad instalada, y que no se encuentre en condiciones de aportar capacidad firme ni de participar directamente del Mercado Mayorista de Electricidad.

Además, se reservará un bloque de demanda de energía y potencia asociada, determinado para ser adjudicado luego de concluida la licitación del distribuidor, a usuarios auto productores de fuente renovable en red de distribución que tengan excedentes de energía respecto a su propia demanda y podrán acceder a iguales condiciones de precios a las surgidas de dicha licitación, de acuerdo con la metodología que defina la SIGET.

- Celebrar contratos con las distribuidoras destinadas a fuentes renovables de energía eléctrica.
- Sin compromiso de capacidad firme y con generación conectada a la red de una distribuidora.

- Despachados de acuerdo con un procedimiento especial de auto despacho.
- Los contratos serán adjudicados a través de procesos de libre concurrencia (trasladables a tarifa).

1.1.8 Los incentivos fiscales

La Ley de incentivos fiscales para el fomento de las energías renovables en la generación de electricidad según el Decreto Legislativo No. 462 del 8 de noviembre de 2007, publicada en el Diario Oficial No. 238, tomo No. 377, del 20 de diciembre de 2007, su Reglamento y la Normativa correspondiente que SIGET5 desarrolla regulan, según la escala del proyecto, todos los beneficios fiscales que se otorgarán únicamente a las actividades correspondientes a los proyectos de instalación de centrales para la generación de energía eléctrica que para el caso de estudio de este documento se pueden tener los siguientes beneficios:

- Durante los diez primeros años gozarán de exención del pago de los Derechos Arancelarios de Importación de maquinaria, equipos, materiales e insumos destinados exclusivamente para labores de pre-inversión y de inversión en la construcción de las obras de las centrales para la generación de energía eléctrica, incluyendo la construcción de la línea de subtransmisión necesaria para transportar la energía desde la central de generación hasta las redes de transmisión y/o distribución eléctrica.
- Exención del pago del Impuesto sobre la Renta por un período de diez años en el caso de los proyectos de menos de 10 megavatios MW.

1.2 Análisis de la producción eléctrica en El Salvador

La producción de energía en El Salvador incrementó en los últimos cinco años principalmente por el despegue de proyectos solares.

Según datos de la Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET), la estructura de producción del sector se acentuó entre 2014 y 2017 se incrementó 339.47 MW en las diferentes tecnologías.

Solo en la generación fotovoltaica, el incremento de la capacidad instalada fue de 1.9 % entre 2014 y 2017, indican las cifras de esta institución.

Una de las fuentes que más creció fue la de la energía solar, En 2014 esta fuente sólo representaba el 0.72 % de participación de toda la matriz energética, pero ahora ha crecido a 4.91 % impulsada por más de siete proyectos de plantas solares colocadas en distintos puntos del país y promovidos, en su mayoría, por la empresa privada.

Entre los proyectos más importantes están la planta solar de la empresa francesa Neoen en el municipio de El Rosario de La Paz, esta planta genera 101 Megavatios (MW) para inyectar a la red nacional.

También está la planta solar sobre techo que instaló la empresa *Indufoam Energy Supply* y que generará 5,214.4 megavatios al año. La empresa se abastece de la energía que produce y el resto lo inyecta a la red eléctrica nacional.

Además, está en funcionamiento la Central Fotovoltaica Barrio Nuevo, que genera 1.2 MW en Tecoluca (San Vicente), entre grandes y pequeñas, que están agregando capacidad de generación.

Debido a este creciente aumento de proyectos fotovoltaicos ha provocado que, según los datos de la SIGET, la generación de energía a través de fuentes térmicas (uso de combustibles fósiles) se vaya reduciendo con una participación del 45.15 % en 2015 a una de 39.71% en 2017

Existen muchos sistemas instalados en El Salvador que aprovechan el recurso solar. Algunos de estos son sistemas fotovoltaicos aislados con banco de baterías, los cuales son utilizados en aplicaciones domésticas. Otro número limitado de sistemas FV conectados a la red, son utilizados para autoconsumo, de los cuales la mayoría de ellos están instalados en edificios gubernamentales, escuelas y universidades. El sistema fotovoltaico más grande es de 99 kWp.

1.3 Algunos proyectos fotovoltaicos en El Salvador

Tabla 2: Algunos proyectos fotovoltaicos en ESA.

Aplicación	Ubicación	Capacidad (kW)
Sitio recreativo	Lago Coatepeque, Sta. Ana	1.63
Escuela Alemana	San Salvador	20
Granja ecológica Santo Domingo	Sto. Tomás, San Salvador	2.48
Oficinas administrativas de CEL	San Salvador	24.57
Oficinas administrativas de FUNDE	San Salvador	2.17
Oficinas administrativas de SEESA	San Salvador	2.17
Residencia privada	San José Villanueva, La Libertad	2.02
Universidad de El Salvador	San Salvador	2.2
Supertienda San Carlos	San Rafael Cedros	6
Universidad Politécnica	San Salvador	0.7
Campamento base de EE. UU.	La Paz	91.0 + 9.0
Bodegas de DIZASA	Santa Tecla	84
Oficinas de la Asamblea Legislativa	San Salvador	7.92
Planta UNITAPE	Ateos	90
TOTAL		344.86

1.4 Otros proyectos fotovoltaicos instalados en el salvador

1.4.1 Planta AES Moncagua

En el mes de octubre de 2015 se inauguró la planta de generación fotovoltaica AES Moncagua, con una inversión de \$USD 4 millones y 2.5 MWp de potencia.

Esta planta solar ubicada en San Miguel está conectada directamente a la red de distribución de la Empresa Eléctrica de Oriente (EEO) para posterior suministro.

Los paneles fotovoltaicos de AES Moncagua están instalados con una estructura fija y están orientados hacia el sur con una inclinación de 10° respecto al plano horizontal, agrupados de Este a Oeste, con esto se logra la máxima eficiencia en la captación de energía solar.

Cuenta con un total de 8,436 módulos fotovoltaicos de silicio policristalino, con una capacidad de 310 W, instalado en un área efectiva de 46,000 m².

Esta planta beneficiará a la zona de Moncagua, ya que consume localmente, evitando conducir el servicio desde instalaciones lejanas.



Ilustración 11: Planta fotovoltaica terrestre AES Moncagua, San Miguel

AES Moncagua es parte de AES Soluciones, un segmento del negocio de AES El Salvador que busca impulsar soluciones alternativas de energía en energías renovables, iluminación eficiente y almacenamiento de energía.

1.4.2 Proyecto Bósforo

En 2017 AES El Salvador y la Corporación Multi Inversiones (CMI) anunciaron el inicio de la construcción del Proyecto Bósforo, un importante proyecto de diez plantas de 10 MW cada una, con la capacidad total de generar 100 MW de energía con fuente solar fotovoltaica. La inversión del proyecto fue de \$USD 160 millones.

Bósforo fue desarrollado bajo un concepto ambientalmente responsable, ya que sus paneles solares requieren poco mantenimiento y su limpieza se realiza de forma natural con agua pluvial, lo que ahorra en el consumo de agua. También, la mayor parte de las estructuras y equipos electrónicos utilizados en su construcción podrán ser reciclados en el futuro. Asimismo, Bósforo está diseñado para contribuir a evitar emisiones por más de 175 mil toneladas métricas de CO₂ al año.

1.4.3 Fases del proyecto

- Bósforo I, 3 plantas en operación: Pasaquina, El Carmen, La Unión (departamento de La Unión).
- Bósforo II, 4 plantas en operación: Santa Ana y San Sebastián Salitrillo (departamento de Santa Ana); Sonsonate (departamento de Sonsonate); Jiquilisco (departamento de Usulután).
- Bósforo III, 3 plantas en operación: Nejapa y Guazapa I y II (departamento de San Salvador).



Ilustración 12: Plantas fotovoltaicas terrestres, proyecto Bósforo ubicados en ESA.

El proyecto Bósforo nace gracias a la alianza entre AES El Salvador y la Corporación Multi Inversiones (CMI).

Planta Pasaquina



Planta La Unión



Planta San Sebastián Salitrillo



Planta Sonsonate



Ilustración 13: Plantas fotovoltaicas terrestres, proyecto Bósforo.

El proyecto Bósforo contó con una inversión de US\$ 160 millones, el 70% de la inversión fue financiada por importantes Bancos Multilaterales, tales como la Corporación para Inversiones Privadas en el Extranjero (OPIC, por sus siglas en inglés), agencia gubernamental estadounidense; el Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE), aliado estratégico de la Región; el Banco Holandés para el Desarrollo (FMO), banco bilateral de desarrollo del sector privado con sede en Holanda; y el Fondo Finlandés para la Cooperación Industrial (FINNFUND), institución financiera para el desarrollo. Todas estas instituciones financieras cuentan con una visión y compromiso en común, el apoyar importantes proyectos privados de desarrollo sostenible en países emergentes.

Fue construido por Isotron, una empresa española con amplia experiencia en la industria, y el fabricante de módulos solares es Jinko, líder mundial en esta tecnología. Bósforo es operado por AES Soluciones, una empresa de AES El Salvador que impulsa soluciones alternativas de energía.

Planta El Carmen



Planta Jiquilisco



Planta Nejapa



Planta Guazapa



Planta Santa Ana



Planta Apopa



Ilustración 14: Plantas fotovoltaicas terrestres, proyecto Bósforo.

1.4.4 Planta Rosario de la Paz

Actualmente funcionando desde el año 2017, a través de la productora independiente de energía renovable NEOEN El Salvador, se encuentra con un potencial de generación de energía solar en el país de cerca de 100 MW instalados, la planta fotovoltaica en el departamento de la paz,

con un terreno de 150 manzanas, a pocos kilómetros del Aeropuerto Internacional Monseñor Óscar Arnulfo Romero.

El proyecto, que totaliza \$USD 151 millones, se financiará con un préstamo del BID de \$USD 577 millones, un co-préstamo del Fondo Climático Canadiense para el Sector Privado de las Américas de \$USD 30 millones y un co-préstamo de una filial de la Agencia Francesa de Desarrollo de \$USD 30 millones.

La empresa adjudicataria Providencia Solar S.A. de C.V., sociedad constituida en El Salvador con el único propósito de desarrollar el proyecto, es propiedad de una productora francesa independiente de energía renovable. Esta planta requirió un tiempo de 11 meses de construcción y un mes adicional para realizar las pruebas, contabilizados desde junio de 2016 que se instaló el primer panel solar. A este proyecto se sumarán los de Solar Reserve y Proyecto La Trinidad (también de la licitación 2014) que sumarían otros 28 MW.

Durante enero 2017 se adjudicaron otros 169.9 MW renovables, de los cuales 50 MW serán de generación eólica y 119.9 MW de fotovoltaica. Se verificaron 29 propuestas (4 de generación eólica y el resto fotovoltaica). Las ofertas responden a una licitación que lanzó el país para 170 MW de energía renovable (inicialmente 100 MW de origen solar y 70 MW de eólica). Las bases de la licitación dejan un plazo de construcción de 3 años para los proyectos eólicos y de 2 años para los solares.

2. Desarrollo de la investigación

2.1 Potencia de irradiancia solar en El Salvador

2.1.1 Niveles de energía solar distribuida en Centroamérica

Casi 10 millones de centroamericanos, aproximadamente uno de cada tres habitantes, carecen de electricidad. Es evidente la necesidad de incorporar tecnologías que sean capaces de abastecer esa demanda insatisfecha en la región, aprovechando sus recursos renovables.

Para la región de América Central, las tecnologías de energía renovable a pequeña y gran escala presentan una alternativa económica y ambiental factible para la provisión de energía a comunidades rurales remotas y para la expansión de la capacidad eléctrica instalada, ya sea por medio de sistemas aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica.

La región cuenta con suficientes recursos para desarrollar sistemas hidráulicos, solares, eólicos y de biomasa, principalmente, así como la extracción de energía geotérmica, explotada actualmente en El Salvador. Adicionalmente, estas tecnologías pueden disminuir la contaminación del medio ambiente, causada por las emisiones de gases de los sistemas convencionales, que utilizan combustibles fósiles, como el carbón y productos derivados del petróleo. Estos gases contribuyen al efecto invernadero y al calentamiento global de nuestro planeta.

Sin embargo, existen barreras que dificultan un mayor desarrollo de este tipo de energía: la falta de conocimiento de las tecnologías y las capacidades institucionales y técnicas aún incipientes. El estado actual de difusión de la tecnología renovable es muy significativo para el área de América Central. Ya que existen organismos internacionales y regionales que promueven el uso sostenible de las energías renovables.

Se puede citar como ejemplo, el caso del organismo internacional “Evaluación de los recursos energéticos solares y eólicos” (SWERA por sus siglas inglés), la cual apoya a la toma de decisiones bien informadas, desarrollar políticas basadas en ciencia y tecnología, y aumentar interés de inversión a proyectos de energía renovable. A través de SWERA, se fomentará la industria, inversionistas, investigadores, y entidades del gobierno a compartir continuamente la información que facilitará decisiones para desplegar proyectos de energía eólica y solar. SWERA está apuntado a transformar la capacidad de países en desarrollo a evaluar el potencial técnico, económico, y ambiental para inversiones a gran escala en instalaciones solares y eólicas. En el caso de El Salvador, SWERA trabaja en conjunto con el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales y la cooperación directa de una universidad privada.

En la siguiente figura se muestra el nivel de radiación solar global horizontal que incide en algunos países de Centroamérica, observando que para El Salvador se presenta un buen nivel de radiación (oscila entre los 5.0 hasta los 6.5 kWh/m²)

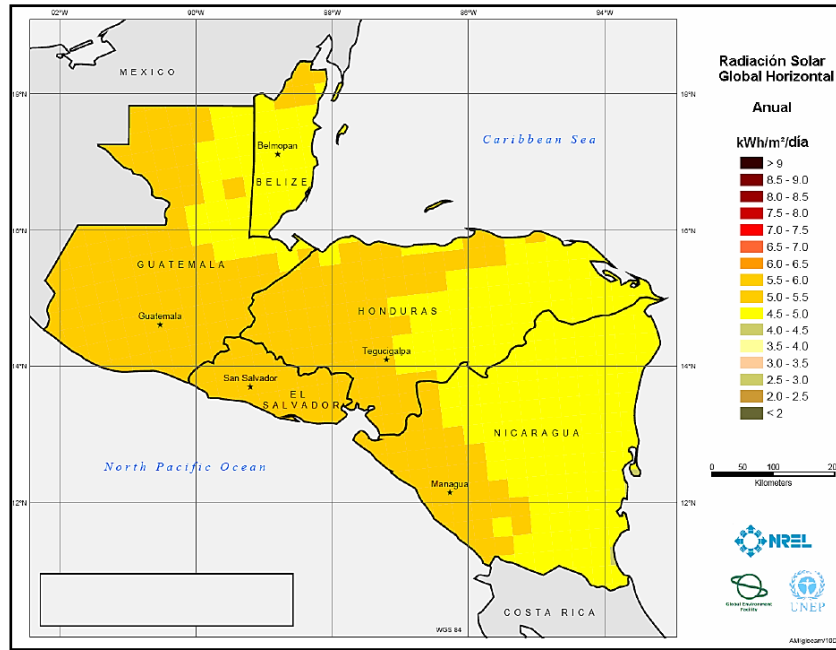


Ilustración 15: Radiación Solar Global Horizontal en Centroamérica. Fuente: SWERA.

Los precios de los equipos fotovoltaicos se han reducido considerablemente en años recientes. Por ejemplo, para un sistema fotovoltaico típico para aplicaciones rurales, los costos desde el año 2000 se han reducido en un 29%. La siguiente figura muestra la evolución de los costos promedios de un sistema fotovoltaico de pequeña capacidad (75 Wp) en El Salvador en los últimos años. En los otros países de la región se muestran tendencias semejantes en los precios y se espera que los mismos continúen bajando en los próximos años dada la reducción de los costos de importación y el crecimiento de la demanda.

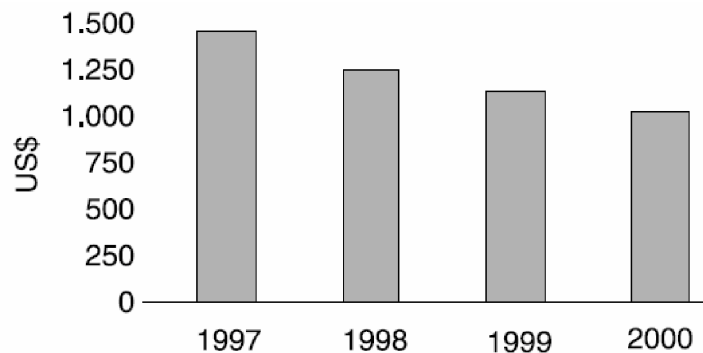


Ilustración 16: Evolución del precio de un sistema fotovoltaico (75 Wp) en El Salvador.

2.1.2 Información Climática General de El Salvador

Al igual que la mayor parte de Mesoamérica, en El Salvador existe gran variabilidad en las características del clima de un año a otro.

Está situado en la parte exterior del cinturón climático de los trópicos. Durante el año, los cambios en las temperaturas son pequeños, en contraste a las lluvias que muestran grandes oscilaciones en el transcurso del año. Se presentan dos estaciones (seca y lluviosa) y dos transiciones (seca lluviosa y lluviosa seca). Al final de la estación seca ocurren las máximas temperaturas en los meses de marzo y abril. Otra característica de los trópicos exteriores son los vientos alisios que predominan procedentes del sector Noreste. El país presenta un buen desarrollo del sistema de brisas de mar en las planicies costeras, moviéndose hacia los valles y planicies internas después del mediodía. Una característica especial del clima de Centroamérica son los vientos nortes que transportan masas de aire fresco hacia la región. Según la altura en metros sobre el nivel medio del mar, se distinguen las siguientes tres zonas térmicas en El Salvador, de acuerdo al promedio de la temperatura ambiente a lo largo del año:

- **Sabana tropical caliente o tierra caliente con elevaciones desde 0 a 800 m.s.n.m.**

Promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 27 a 22 °C en las planicies costeras y de 28 a 22 °C en las planicies internas.

- **Sabana tropical calurosa o tierra templada con elevaciones desde 800 a 1200 m.s.n.m.**

Promedio de temperatura disminuyendo con la altura de 22 a 20 °C en las planicies altas y de 21 a 19 °C en las faldas de montañas.

- **Tierras frías cuyas elevaciones van de 1200 a 2700 m.s.n.m.**

De 20 °C a 16 °C en planicies altas y valles, de 21°C a 19 °C en faldas de montañas y de 16 °C a 10 °C en valles y hondonadas sobre 1,800 metros. La mayor elevación de El Salvador se encuentra en el Pital, departamento de Chalatenango, con 2,700 metros.

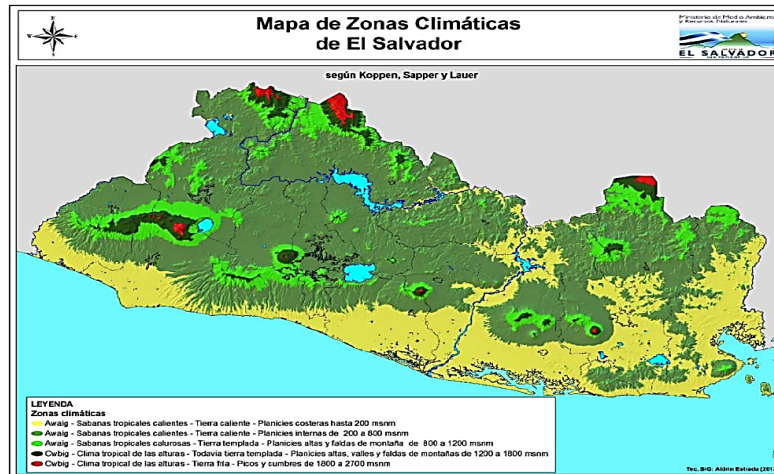


Ilustración 17: Mapa de Zonas Climáticas de El Salvador (fuente: Boletín Climático MARN).

2.1.3 Energía Solar Fotovoltaica en El Salvador

El mercado eléctrico de El Salvador está experimentando cambios importantes desde que fue privatizado el sector, pues enfrenta el reto de desarrollar una plena competitividad en la participación de mayor oferta de generación a mejores precios, factor que solo es posible permitiendo el acceso a nuevos generadores.

El potencial para la explotación del recurso solar en El Salvador es grande, tomando en cuenta que el país registra valores de radiación y luz solar que ofrecen una excelente disponibilidad para desarrollar este recurso, que, aunque con costos de instalación todavía altos, presentan un panorama atractivo para su explotación.

El territorio de El Salvador tiene una ubicación privilegiada para la explotación de la Energía Solar y, es por ello que las diferentes administraciones están impulsando iniciativas que permiten que cualquier persona o empresa interesada pueda contribuir a la generación de electricidad mediante la energía solar fotovoltaica, y al calentamiento de agua mediante la energía solar térmica.

A partir de ahora nos podemos convertir en protagonistas del desarrollo sostenible de nuestro planeta, aprovechando un recurso limpio e inagotable, además de muy rentable, como es la Energía Solar, que ayuda a la reducción de gases de efecto invernadero, a la no dependencia de los combustibles fósiles y al ahorro energético, contribuyendo a la consecución de los objetivos marcados por el Protocolo de Kyoto del Convenio Marco sobre Cambio Climático de la ONU de 1997, y los fijados por la Unión Europea para 2020.

- **Antecedentes de mediciones y proyectos Solares**

Se puede mencionar como principales antecedentes, dentro de los primeros estudios realizados en el país el proyecto de Solarimetría ejecutado por el departamento de Física, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador (UES) y ejecutado de 1986 a 1987 con el financiamiento de la Organización de Estados Americanos (OEA). Este proyecto fue la primera fuente de información, la cual finalizó con la creación de tablas de radiación y brillo solares (horas de luz solar) publicadas en un documento de septiembre de 1989. En este documento se tenían registrados datos de radiación solar de 10 estaciones meteorológicas y brillo solar (horas de luz solar) en 22 estaciones. Usando el modelo de Angstrom les fue posible estimar la radiación solar en estaciones que tenían registros de brillo solar únicamente pero no de radiación solar. De esta forma se obtuvieron datos de radiación solar en 22 estaciones del país (10 con mediciones reales). Las cuales se detallan a continuación:

Tabla 3: 22 estaciones meteorológicas en ESA.

Código	Departamento	Nombre	Latitud	Longitud	Elevación (m)
H-8	Ahuachapán	Ahuachapán	13.94°	89.86°	725
A-18	Santa Ana	Finca Los Andes	13.88°	89.64°	1770
A-31	Santa Ana	Los Planes de Montecristo	14.40°	89.36°	1851
A-35	Santa Ana	Cerro Verde	13.83°	89.62°	2027
T-6	Sonsonate	Acajutla	13.57°	89.83°	15
L-4	La Libertad	San Andrés	13.81°	89.41°	460
L-8	La Libertad	Santa Tecla	13.69°	89.29°	960
S-5	San Salvador	Observatorio	13.70°	89.20°	700
S-27	San Salvador	Estación Matriz	13.69°	89.14°	638
G-3	Chalatenango	Nueva Concepción	14.12°	89.29°	320
G-13	Chalatenango	Las Pilas	14.36°	89.09°	1960
V-6	San Vicente	Sta. Cruz Porrillo	13.44°	88.80°	30
V-13	San Vicente	Apastepeque	13.70°	88.75°	570
U-6	Usulután	Santiago de María	13.48°	88.47°	920
U-11	Usulután	Beneficio La Carrera	13.33°	88.52°	75
M-6	San Miguel	San Miguel	13.44°	88.12°	80
M-18	San Miguel	Sesori	13.71°	88.36°	195
M-23	San Miguel	Cerro Cacahuatique	13.76°	88.23°	1370
Z-2	Morazán	San Francisco Gotera	13.70°	88.11°	250
Z-4	Morazán	La Galera	14.04°	88.09°	1900
N-15	La Unión	La Unión	13.33°	87.88°	95
B-10	Cabañas	Cerrón Grande	13.94°	88.91°	245

Tabla 4: Irradiancia promedio mensual (W/m^2) medido por las estaciones en ESA.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Ahuachapán	211.42	233.33	248.06	246.11	221.50	206.65	230.96	219.45	193.56	200.61	204.91	200.52
Finca Los Andes	178.04	205.88	228.26	222.82	190.96	176.69	206.88	197.99	172.13	163.86	162.48	158.79
Los Planes de Montecristo	186.12	197.19	203.28	188.96	154.19	141.41	184.56	166.66	133.83	158.11	173.24	173.48
Cerro Verde	186.22	198.74	208.44	194.86	181.78	175.14	221.85	213.29	172.16	171.30	183.20	178.57
Acajutla	198.93	217.62	227.94	219.36	198.59	188.73	209.07	204.14	185.86	186.11	192.45	188.70
San Andrés	201.01	219.34	229.93	226.65	212.44	202.17	225.60	218.32	194.02	193.20	196.06	193.30
Santa Tecla	209.95	228.58	240.16	226.77	205.21	192.75	221.19	213.31	190.39	189.74	200.19	200.66
Observatorio	199.82	213.59	234.40	216.56	188.03	185.74	215.56	213.32	186.07	198.05	195.00	193.24
Estación Matriz	209.20	236.13	252.83	246.06	219.06	209.40	237.50	234.05	206.75	206.35	208.65	197.47
Nueva Concepción	200.14	224.87	236.13	234.62	220.52	208.92	223.50	218.40	200.43	201.57	195.29	183.41
Las Pilas	156.43	169.08	187.15	177.22	157.84	155.75	171.79	177.22	138.79	149.35	142.08	144.56
Sta. Cruz Porrillo	196.90	218.04	229.31	222.94	207.26	198.26	216.22	217.11	196.41	193.43	190.68	190.55
Apastepeque	193.40	213.16	222.63	217.87	198.21	191.29	209.74	210.34	190.99	187.08	189.42	187.16
Santiago de María	208.69	229.89	240.98	229.09	199.86	189.77	223.05	219.33	187.68	189.50	197.79	200.56
Beneficio La Carrera	199.47	220.71	232.01	225.56	202.06	196.89	213.60	217.08	197.76	192.35	195.59	191.97
San Miguel	195.76	218.04	231.89	228.17	211.11	203.29	220.01	222.27	201.58	198.41	190.68	189.44
Sesori	211.80	234.95	246.53	237.27	214.12	207.18	225.60	219.90	195.60	194.44	199.07	200.23
Cerro Cacahuatique	191.78	217.70	229.93	202.64	175.64	176.58	214.29	207.15	184.46	177.29	181.98	173.51
San Francisco Gotera	204.79	228.29	239.27	234.67	213.68	211.05	226.79	226.18	208.58	206.05	201.06	197.00
La Galera	171.88	203.63	215.22	204.76	175.15	162.98	202.12	186.86	153.39	147.41	153.45	153.86
La Unión	199.56	219.49	229.67	223.83	199.90	197.05	217.45	215.75	194.76	197.72	195.63	193.12
Cerrón Grande	201.15	219.13	243.87	231.95	211.63	202.75	224.51	223.66	197.45	200.42	198.30	194.43

A continuación, se presenta el promedio mensual de radiación de las estaciones meteorológicas del Proyecto de Solarimetría.

El Mapa de Radiación Solar permite conocer las zonas potenciales para el aprovechamiento energético, debido a la variabilidad del recurso solar tanto espacial como temporal. Es un dato importante para optimizar el dimensionamiento y diseño de los equipos e instalaciones fotovoltaicas. Esta información constituye un valioso aporte para los sectores productivos público y privado en El Salvador con la finalidad de promover la inversión e investigación en el uso de la energía solar como fuente alternativa renovable y no contaminante.

El SNET (Servicio Nacional de Estudio Territoriales y actualmente llamado observatorio ambiental) es el ente encargado de registrar los datos de diversos recursos naturales, monitorear el país en temas de vulcanología, climatología, etc. De sus resultados de monitoreo se presenta el mapa de la Radiación Promedio Anual en El Salvador. Notando, por ejemplo, el alto potencial del recurso en la mayoría de las zonas del país y aún más en la zona costera.

La radiación solar promedio en El Salvador tiene un valor que oscila en el intervalo de 5.0 KWh/m² y 6.5 KWh/m², lo que lo hace el país con las mayores posibilidades de desarrollo de esta energía renovable a nivel de Centroamérica (ver ilustración 18).

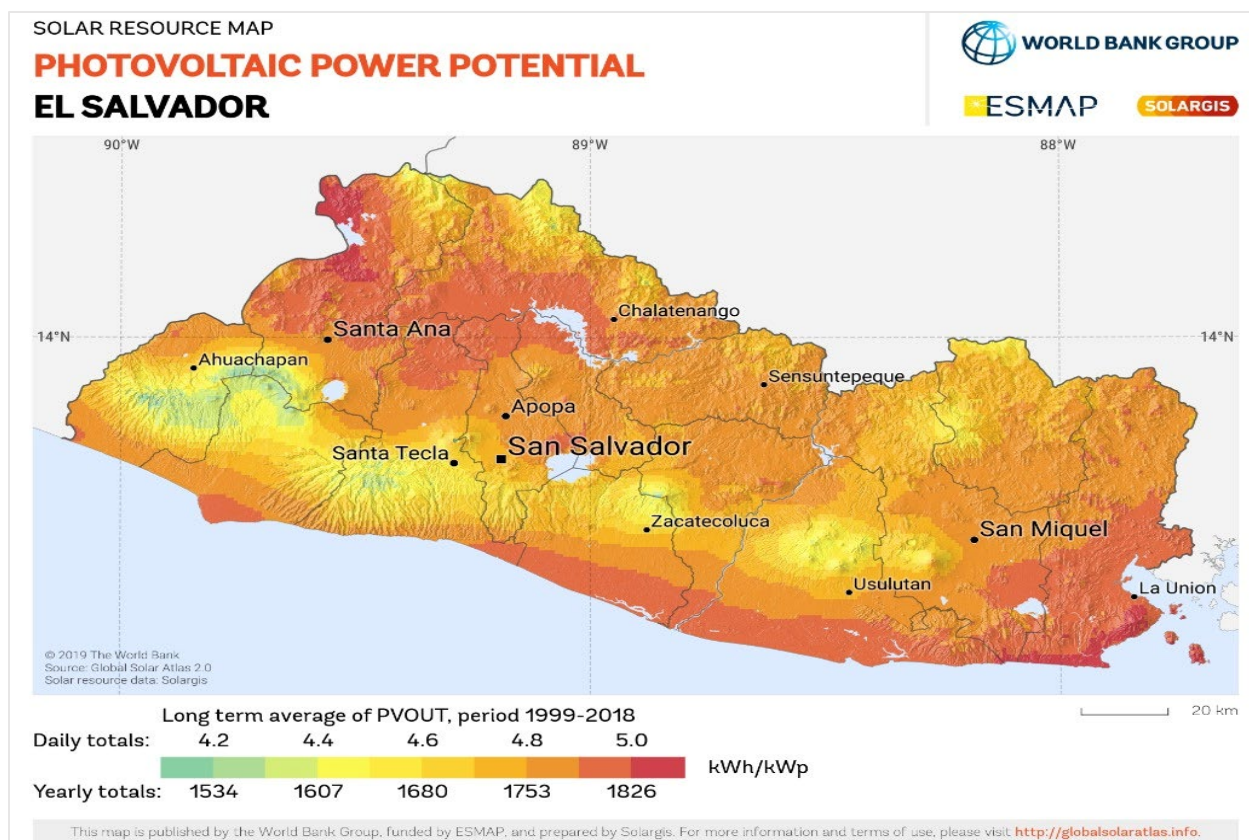


Ilustración 18: Índice de producción de energía fotovoltaica.

La tecnología y los equipos ofertados en el país en este tipo de recurso es suministrada al mercado local en su mayoría por empresas como: Tecnosolar, Siemens y Servicios Solar.

Tecnosolar ha instalado unos 4,000 sistemas solares de distintas marcas de equipos, para diversas aplicaciones en el campo en su mayoría para iluminación residencial, sin embargo, también ha instalado sistemas de bombeo y potabilización de agua, calentadores solares y sistemas de refrigeración, así como aplicaciones para comunicación satelital por medio de paneles.

Servicios Solar es una empresa que nace a finales de 1997 que ofrece suministros y tecnología para instalar sistemas solares, sin embargo, no son conocidos sus proyectos y aplicaciones en el mercado.

2.2 Inventario de cuerpos de agua en El Salvador

Un cuerpo de agua es cualquier extensión que se encuentran en la superficie terrestre (ríos y lagos) o en el subsuelo (acuíferos, ríos subterráneos); tanto en estado líquido, como sólido (glaciares, casquetes polares); tanto naturales como artificiales (embalses) y pueden ser de agua salada o dulce. Si bien la definición de un cuerpo de agua abarca toda aquella extensión en la que existe agua, en esta sección abordaremos sólo lo relativo a los cuerpos de agua dulce.

En la década de los 70, en el marco del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, El Salvador se organizó en diez regiones hidrográficas, división que fue asumida por los principales trabajos posteriores (MAG-PNUD, 1982) y (SNET, 2005b) y que se ha mantenido hasta la actualidad

- **Región Hidrográfica A Lempa**

En territorio salvadoreño, en la cuenca del río Lempa se localizan siete cabeceras departamentales, incluyendo tres de las más importantes: San Salvador, Santa Ana y Nueva San Salvador. Además, Chalatenango, Cojutepeque, San Vicente y Sensuntepeque. El potencial hídrico de la cuenca permite producir la gran mayoría de la energía hidroeléctrica que consume el país. Así también, sus recursos hídricos permiten abastecer de agua potable a las ciudades y poblaciones, tales como los 15 municipios considerados en el abastecimiento al Área Metropolitana de El Salvador (AMSS), Chalatenango, Metapán y San Pablo Tacachico.

Los lagos y lagunas de esta cuenca se presentan en las tablas 5:

Tabla 5: Lagos o lagunas localizadas en la cuenca del río Lempa.

Lago o Laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Superficie del humedal (ha)
Caldera	San Nicolás Los Encuentros	San Juan Opico	La Libertad	490	Profundidad máxima 10 m	2
Chanmico	Chanmico	San Juan Opico	La Libertad	490	Profundidad promedio va de 25 a 47 metros y la profundidad máxima es de 60 m.	79
Laguna Ciega	Agua Helada	Santa Clara	San Vicente	520	S/D	51
Apastepeque	Agua Helada	Santa Clara	San Vicente	fluctúa entre 503.3	Profundidad máxima al centro 35 metros	37
La Bruja	Calderas San Esteban Catarina	Apastepeque San Esteban Catarina	San Vicente	400	Profundidad promedio: 8 m y máxima 25 m. Hay tres áreas de formación de playa con profundidades de 0-10 m.	28
Coatepeque	La Laguna, Flor Amarilla, El Guineo, Potrerillos, San José Las Flores, Los Pinos, Montebello, Las Lajas San Marcelino y Los Planes	El Congo, Santa Ana e Izalco	Parte Sur del Departamento de Santa Ana y al Norte del Departamento de Sonsonate	740	Profundidad máxima 115 m	2,386
Güija	Metapán, San Antonio Pajonal	Metapán, San Antonio Pajonal	Santa Ana	340	-	3,283.34
La Alegría	San Juan y Apastepeque	Alegría	Usulután	1500	Profundidad máxima 26 m y media de 2 m	12.83
Metapán	Las Piedras y Tecomapa	Metapán	Santa Ana	430	1.5	477.49

Como fue mencionado con anterioridad las principales centrales hidroeléctricas del país están ubicadas en esta cuenca, a continuación, se detalla las características de cada uno de los embalses.

Tabla 6: Características de los embalses de las principales centrales hidroeléctricas de ESA.

Embalse	Departamento	Capacidad de embalse (Mill. m ³)	Profundidad (m)	Superficie (ha)	Sitio Ramsar
Guajoyo	Santa Ana	466.1	Máxima: 20 m	3,283.34	Si
Cerrón Grande	Chalatenango-Cabañas	2042.2	Promedio: 2 m Máxima: 52 m	13,244	Si
5 de Noviembre	Chalatenango-Cabañas	107.7	Promedio: 60 m	1,305	No
15 de Septiembre	Usulután	307	Promedio: 10 m Máxima: 32 m	2,992	No

- **Región Hidrográfica B Paz**

La región hidrográfica B Paz, comprende la margen izquierda del río Paz (internacional), el cual es el límite político de El Salvador con Guatemala. La cuenca del río Paz tiene un área total de 2,164 km², de los cuales 894 km² corresponden al territorio salvadoreño, que representa un 41%, el resto se encuentra en Guatemala. Los lagos y lagunas en esta región se presentan en la tabla 7

Tabla 7: Lagos y lagunas de la región B Paz.

Lago o laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Superficie del humedal (ha)
Laguna de Morán	Río Frío	Ahuachapán	Ahuachapán	460	-	18
Laguna del Llano del Espino	Llanos de La Laguna	Ahuachapán	Ahuachapán	700	Profundidad máxima 3.0 m	92
Laguna de Las Ninfas	San Ramoncito	Apaneca	Ahuachapán	1640	1.3	12.71
Laguna Verde	Las Piedras	Metapán	Santa Ana	450	Profundidad media 1 m y profundidad máxima 2 m	10.65
Laguna de Cuscachapa	El Cuje	Chalchuapa	Santa Ana	700	10	6

- **Región Hidrográfica C Cara Sucia – San Pedro**

Tabla 8: Lagos y lagunas de la región C Cara Sucia, San Pedro.

Lago o laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Superficie del humedal (ha)
Laguna El Bijahual	La Ceiba	San Francisco Menéndez	Ahuachapán	26	Profundidad máxima 1 m.	22

- **Región Hidrográfica D Grande de Sonsonate-Banderas**

La región hidrográfica D Grande de Sonsonate-Banderas, con una extensión de 769.17 km² estaría constituida por los siguientes seis ríos: (1) Grande de Sonsonate (o Sensunapán); (2) El Venado; (3) Las Marías; (4) Quebrada Las Cañas; (5) Chimalapa; y (6) Banderas. En cuanto a lagos y lagunas no se identifica ningún interés.

- **Región Hidrográfica E Mandinga – Comalapa**

En esta región hidrográfica tampoco se identifica ningún lago o laguna de interés.

- **Región Hidrográfica F Jiboa – Estero de Jaltepeque**

Esta región hidrográfica comprende; las Quebradas: (1) El Lagartero; y (2) El Hervor; y los ríos: (3) Jiboa (tributarios: Sepaquiapa y Tilapa; (4) Comapa; (5) Jalponga (formado por los ríos Champalto y Apanaque, siendo sus tributarios: Huiscoyolapa; Amayo y Chalagua - Amayito); (6) Sapuyo (formado por el Ulapa y El Espino); (7) Aguacate (formado por El Guayabo - San Pedro - El Limón – Ojushte - y El Terrero). El Lago de Ilopango se ubica en esta región. El área total sería de 1,638.85 km².

Cabe destacar que en esta región se encuentra ubicado el Complejo Jaltepeque, el cual fue declarado Sitio Ramsar el 2 de febrero de 2011 y es el segundo bosque salobre más importante del país. Este humedal es el segundo en extensión en el país después de su vecino Jiquilisco, aunque incluye una mayor diversidad y riqueza de hábitats. En cuanto a los lagos y lagunas se muestran a continuación.

Tabla 9: Lagos y lagunas de la región F Jiboa, Estero de Jaltepeque.

Lago o laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Superficie del humedal (ha)
Laguna de Nahualapa	El Pedregal	Rosario de la Paz	La Paz	55	Profundidad promedio 6 m en época lluviosa y 2.5 m en época seca	24
Laguna Solomillona	Zambomera	San Luis	La Paz	16	Profundidad promedio de sus charcas 0.5 m, máxima profundidad 1 m en las zonas de mayor depresión	10
Laguna Buchiche	San Carlos	Tecoluca	San Vicente	-	Profundidad promedio 1.30 m y máxima de 2 m	4.8
Lago de Ilopango	La Palma, El Sauce, San Agustín, Buena Vista, Cujuapa, San Antonio, San José Costa Rica, Soledad las Flores, San José la Montaña, San Antonio Panchimilama, Candelaria, Shaltipa, Joya Grande, Shangallo y Dolores Apulo	Soyapango, San Martín, Ilopango, San Marcos, Santo Tomas, Santiago Texacuangos, Cojutepeque, San Pedro Perulapán, Santa Cruz Michapa, Santa Cruz Analquito, San Emigdio, San Francisco Chinameca y San Miguel Tepezontes	San Salvador, Cuscatlán y La Paz	450	Profundidad máxima 250 m	7,061.39
Laguna El Talquezal	El Pacún	Tecoluca	San Vicente	10	Profundidad promedio 1.50 m y máxima 2.50 m	17

- **Región Hidrográfica G Bahía de Jiquilisco**

Bahía de Jiquilisco es un sitio Ramsar que abarca una extensión de 63,500 ha, donde existe la mayor extensión de manglares del país, así como otros ecosistemas: dunas y playas de arena, bosques terrestres saturados, entre otros (MARN, 2012d). Habita una gran cantidad de aves acuáticas y constituye un sitio de anidación importante para tortugas marinas, incluyendo la ya escasa tortuga carey (*Eretmochelysimbricata*), en esta zona del Pacífico. Este humedal desarrolla una importante función en la prevención de catástrofes de origen natural al amortiguar las inundaciones asociadas a lluvia intensa.

Tabla 10: Lagos y lagunas de la región G Bahía de Jiquilisco.

Lago o laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Superficie del humedal (ha)
Laguna San Juan del Gozo	San Juan del Gozo	Jiquilisco	Usulután	-	Profundidad promedio 7 m y máxima 10 m	83
Laguna El Chaparral	La Danta	Concepción Batres	Usulután	-	Profundidad promedio 1.60 m y máxima 8 m	24

- **Región Hidrográfica H Grande de San Miguel**

La región hidrográfica H Grande de San Miguel, correspondiente a la cuenca hidrográfica del río San Miguel, es el segundo más importante en El Salvador, y tiene un área de 2,396.70 km².

Tabla 11: Lagos y lagunas de la región H Grande de San Miguel.

Lago o laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Superficie del humedal (ha)
Laguna de Aramuaca	Miraflores y Cerro Bonito	San Miguel	San Miguel	85	2	43
Laguna El Jocotal		El Tránsito y Jucuarán	San Miguel y Usulután	20	Invierno: 3 - 3.5 m, Verano: 1.5 - 2 m	900 ha en la época seca y puede alcanzar 1,800 ha en la estación lluviosa
Laguna de Olomega		San Miguel, Chirilagua y El Carmen	San Miguel y Unión	60	Profundidad media 2.9 m	3,943
Laguna de San Juan		San Miguel	San Miguel	63	-	401

- **Región Hidrográfica I Sirama**

La región hidrográfica I Sirama, correspondiente al río del mismo nombre, comprende el tercio final de la bahía de Jiquilisco, donde desembocan directamente al Océano Pacífico (0 en pequeños esteros) las quebradas (1) de La Ringlera y (2) Seca; (3) Piedra de Agua, (4) Ojo de Agua; y los ríos (5) Encantado, (6) Manguara, (9) Guamas, (10) El Limón, (11) Quebrada Sube y Baja, y (12) Zampopero, (13) Sirama (que tiene por tributarios a la quebrada La Palma, río Maderos y quebrada Bobadilla) y (14) El Amatillo (tributarios: Pavana, Santa Cruz, El Obrajito – Ceibillas y Tizatre). El área de esta región es de 1,064.30 km².

Tabla 12: Lagos y lagunas de la región I Sirama.

Lago o laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Superficie del humedal (ha)
Laguna de Maquigüe	Maquigüe	Conchagua	La Unión	110	Profundidad promedio 4 m y profundidad máxima 7 m	141

• **Región Hidrográfica J Goascorán**

La región hidrográfica J Goascorán, en el extremo oriente de El Salvador y límite con Honduras, tiene un área total compartida con este país de 2,455.14 km², de los cuales 1,082.56 km² en territorio nacional, correspondiente a la margen derecha del Goascorán.

En esta región hidrográfica no se ha identificado ningún lago, laguna o laguneta de relevancia.

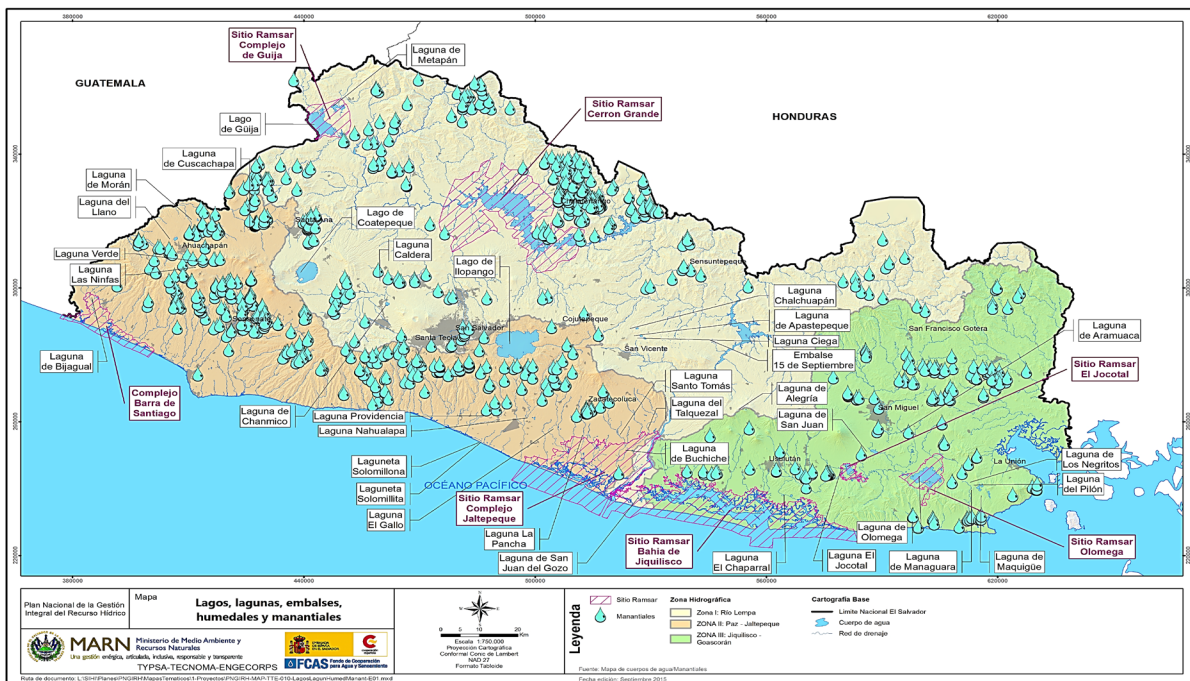


Ilustración 19: Regiones hidrográficas de ESA.



Ilustración 20: Ubicación de los embalses de represas hidroeléctricas.

2.3 Criterios para el aprovechamiento de cuerpos de agua

La selección de un cuerpo de agua para la instalación de una planta FPV es una actividad que requiere la revisión de ciertos criterios de manera que aseguren con un cierto grado de certeza el éxito para el desarrollo del proyecto. Por lo antes expuesto, se establecerá una metodología de ponderación considerando una escala jerárquica en función del impacto que tiene el cumplimiento del criterio a evaluar en la selección del cuerpo de agua. En resumen, el objetivo es preseleccionar los sitios más prometedores para la instalación de plantas solares flotantes.

2.3.1 Aspecto energético, social y ambiental a considerar

2.3.1.1 Normativa de protección al medio ambiente

Este es uno de los criterios de mayor ponderación, pues ningún proyecto que viole tales regulaciones tendrá aceptación en la legislatura salvadoreña. En tal sentido para considerar la posibilidad de instalación de proyecto solar fotovoltaico flotante sobre un cuerpo de agua deberá revisarse el marco legal en relación con la protección del medio ambiente.

En el orden jurídico de El Salvador, La Constitución prevalece sobre todas las leyes incluyendo los tratados internacionales (art. 246). De acuerdo con el art. 144 los tratados internacionales se ubican por encima de las leyes secundarias las que a su vez prevalecen sobre los decretos y reglamentos.

En lo referente al marco institucional para la protección del medio ambiente se tiene:

- CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA: ART. 117 “se declara de interés social la protección, restauración, desarrollo y aprovechamiento de los recursos naturales”
- LEY DE MEDIO AMBIENTE: Esta ley tiene por objeto desarrollar las disposiciones de la Constitución de la República relativas a la protección, conservación y recuperación ambiental, además de asegurar la aplicación de los tratados o convenios internacionales celebrados por El Salvador en materia ambiental.

La Ley de Medio Ambiente establece:

Art 70 “El Ministerio, elaborará y propondrá al presidente de la República para su aprobación los reglamentos necesarios para la gestión, uso, protección y manejo de las aguas y ecosistemas tomando en cuenta la legislación vigente y los criterios siguientes:

- a) Su manejo se realizará en condiciones que prioricen el consumo humano, guardando un equilibrio con los demás recursos naturales; Los ecosistemas acuáticos deben ser manejados tomando en cuenta las interrelaciones de sus elementos y el equilibrio con otros;
- c) Se promoverán acciones para asegurar que el equilibrio del ciclo hidrológico no sufra alteraciones negativas para la productividad, el equilibrio de los ecosistemas, la conservación del medio ambiente, la calidad de vida y para mantener el régimen climático;
- d) Asegurar la cantidad y calidad del agua, mediante un sistema que regule sus diferentes usos;
- e) Se establecerán las medidas para la protección del recurso hídrico de los efectos de la contaminación; y
- f) Todo concesionario de un recurso hídrico para su explotación será responsable de su preservación.”

- Con respecto a Áreas Naturales Protegidas:

Art. 78.- Créase el Sistema de Áreas Naturales Protegidas, el cual estará constituido por aquellas áreas establecidas como tales con anterioridad a la vigencia de esta ley y las que se creasen posteriormente. Es responsabilidad del Ministerio velar por la aplicación de los reglamentos y formular las políticas, planes y estrategias de conservación y manejo sostenible de estas áreas, promover y aprobar planes y estrategias para su manejo y administración y dar seguimiento a la ejecución de estos.

Art. 79.- Los objetivos del Sistema de Áreas Protegidas son los siguientes:

- a) Conservar las zonas bióticas autóctonas en estado natural, la diversidad biológica y los procesos ecológicos de regulación del ambiente y del patrimonio genético natural;
- b) Proveer y fomentar opciones para el estudio, la investigación técnica y científica, dar facilidades para la interpretación y educación ambiental y oportunidades para la recreación, esparcimiento y turismo;
- c) Promover y fomentar la conservación, recuperación y uso sostenible de los recursos naturales;
- d) Conservar y recuperar las fuentes de producción del recurso hídrico y ejecutar acciones que permitan el control efectivo para evitar la erosión y la sedimentación; y
- e) Conservar la prestación de los servicios ambientales que se deriven de las áreas protegidas, tales como fijación de carbono, disminución del efecto invernadero, contribución a la estabilización del clima y aprovechamiento sostenible de la energía.

2.3.1.2 Recurso solar

Al igual que con otros proyectos fotovoltaicos, los datos de irradiancia solar en la superficie del agua propuesta son de primordial importancia. Dado que la irradiancia solar determina el rendimiento energético y la economía del proyecto, debería ser evaluado en la etapa de identificación del sitio

2.3.1.3 Condiciones climáticas locales

Las condiciones climáticas como la velocidad del viento y temperatura del sitio donde se proyecte la instalación de una planta solar fotovoltaica flotante son factores que deben considerarse en la evaluación del sitio.

a) Altas velocidades del viento: el riesgo de un evento de viento fuerte debe evaluarse ya que exceder las especificaciones de la planta comprometería su integridad estructural. Lugares con alto riesgo de velocidad alta de viento debería ser evitado.

b) Temperatura: la eficiencia de una planta de energía fotovoltaica se reduce al aumentar la temperatura. Por lo antes mencionado, debe considerarse las altas temperaturas del lugar de emplazamiento en el diseño y selección de tecnología. En consecuencia, a lo anterior sería mejor elegir módulos con un coeficiente de temperatura bajo.

2.3.1.4 Área superficial disponible y tipo de cuerpo de agua

Para este criterio se deberá establecer el porcentaje que se usará del cuerpo de agua para la instalación de la planta fotovoltaica, lo anterior podría estar relacionado con el tipo y uso del cuerpo de agua a categorizar, como ejemplo: embalse de hidroeléctrica, lago, laguna, cuerpo de agua artificial, turístico o recreacional, etc.

2.3.1.5 Profundidad del cuerpo de agua

El nivel del agua es otro dato crucial para tomar en consideración, y esto incluye la profundidad en diferentes puntos, así como los cambios en el nivel del agua durante las diferentes épocas del año. Variación del nivel del agua debido al funcionamiento del depósito, que sirven para fines como la generación de energía hidroeléctrica o el riego, también deben tenerse en cuenta. En general, FPV se implementa mejor en sitios donde los niveles de agua son 15 metros de profundidad o menos, con mínima variación. Para sitios con una variación considerable del nivel del agua, el sistema tendrá que diseñarse para niveles extremos de agua, así como variaciones a corto plazo debido al oleaje. En casos extremos de cuerpos de agua que se sequen por completo y el fondo quede expuesto, es importante asegurarse de que el terreno del fondo y obstáculos como rocas y las ramas de los árboles no dañen las estructuras flotantes.

2.3.1.6 Sombreado, suciedad y otras condiciones del sitio

Los proyectos FPV se prefieren en aquellos cuerpos de agua que tienen sombra mínima; en consecuencia, a lo anterior, si los cuerpos de agua están ubicados en áreas montañosas donde el sombreado puede convertirse en una preocupación debe evaluarse bien la conveniencia de la implementación del proyecto. Otro aspecto importante para tener muy en consideración es la suciedad por excremento de aves lo cual podría afectar negativamente su desempeño; tal situación puede producir puntos críticos y degradación acelerada por lo tanto mayores costos de operación

y mantenimiento (Ghazi y IP 2014). En consecuencia, se debe realizar un estudio preliminar de las especies de aves y su número en el sitio. En síntesis, debe realizarse un estudio de impacto de manera de evaluar el efecto de un sistema FPV en la fauna y flora de un sitio, la calidad del agua y el crecimiento de algas en el cuerpo de agua a considerar.

2.3.1.7 Acceso a la red de distribución, ubicación de la subestación y capacidad de potencia

Este criterio se puede subdividir en diferentes subcategorías:

a) Proximidad: una gran influencia en el costo de conexión a la red será la distancia desde el sitio al punto de conexión. Para asegurarse que esto no afecte negativamente a la viabilidad económica del proyecto, es necesario realizar un estudio de las rutas de las líneas de en la etapa de planificación del proyecto.

b) Disponibilidad: La disponibilidad de la red es el porcentaje de tiempo en el que la red puede aceptar energía de la planta solar fotovoltaica. El rendimiento energético anual de una planta puede reducirse significativamente si la red tiene tiempo de inactividad significativo. Esto puede tener efectos adversos. sobre la economía del proyecto. En áreas desarrolladas, la disponibilidad de la red suele ser muy alta. En áreas menos desarrolladas y rurales, las redes pueden sufrir mucho más tiempo de inactividad. Estadísticas de disponibilidad deben considerarse para establecer el tiempo de inactividad esperado de la red

c) Capacidad: La potencia de una planta solar dependerá de la infraestructura de red y carga actual del sistema. En lugares donde la red no tiene suficiente capacidad para permitir la conexión, hay una serie de soluciones disponibles:

- Actualizar la red para permitir una mayor capacidad.
- Reducir la capacidad de la planta propuesta.

2.3.2 Estimación del área de cuerpos de agua (total y real utilizable)

Para determinar el porcentaje del área a utilizar por el sistema solar fotovoltaico del total del cuerpo de agua, se toma como referencia los sistemas instalados en los cuatro países que dominan la producción de energía utilizando esta tecnología, estos son: China, Japón, Taiwán, Reino Unido.

Tabla 13: Porcentaje de área utilizada del cuerpo de agua según su uso.

PAIS	MWp	Porcentaje de la superficie de agua cubierta por FSPV	Característica cuerpo de agua
CHINA	960	10% - 40 %	-reservorios de riego -reservorios industriales -reservorios minas
JAPON	210	10% - 70 %	-reservorios de riego -reservorios industriales
TAIWAN	26	7% - 28%	-reservorios de riego -reservorios industriales -almacenamiento de agua
UK	13	2%- 48%	-reservorios de riego -plantas de tratamiento de aguas

El Instituto de Investigación de Energía Solar de Singapur (Solar Energy Research Institute of Singapore) y la Universidad Nacional de Singapur llevaron a cabo una investigación del potencial de generación de energía con sistemas fotovoltaicos flotantes en la cual consideraron tres escenarios posibles de utilización de área del cuerpo de agua, así: 1%, 5% y 10%.

En conclusión, para el proyecto desarrollado, se tomará el 5% y 10% del área total del cuerpo de agua.

2.3.3 Humedales Ramsar y áreas naturales protegidas de El Salvador

La Convención sobre los Humedales llevada a cabo en Ramsar, Irán en 1971, es un tratado intergubernamental, bajo este tratado El Salvador se compromete a conservar las características ecológicas y procurar el desarrollo sostenible de sus Humedales de Importancia Internacional.

Sitios Ramsar son:

1. Área Natural Protegida Laguna El Jocotal
2. Complejo Bahía de Jiquilisco
3. Embalse Cerrón Grande
4. Laguna de Olomega
5. Complejo de Jaltepeque
6. Complejo de Güija
7. Laguna Verde de Apaneca

Ref (Catálogo de mapas de zonas críticas prioritarias de humedales Ramsar el salvador, Ministerio de Medio ambiente y recursos naturales.

Áreas Naturales Protegidas El Salvador

En la ley de ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

“Las Áreas Naturales Protegidas son zonas del territorio nacional propiedad del Estado, del municipio, de entes autónomos o privados y de personas naturales; legalmente establecidas con el objeto de posibilitar la conservación, el manejo sostenible y restauración de la flora y fauna silvestre, recursos conexos y sus interacciones naturales y culturales, que tengan una alta significación por su función o por sus valores genéticos, históricos, escénicos, recreativos, arqueológicos y protectores, de tal manera que preserve el estado natural de las comunidades bióticas y los fenómenos geomorfológicos únicos”

A la fecha el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales ha declarado un total de 185 inmuebles como áreas naturales protegidas, en dichas áreas protegidas no es permitido realizar obras o proyectos que no sean compatibles con los objetivos de las referidas áreas protegidas.

Art. 33. “El Ministerio podrá autorizar a personas naturales o jurídicas para realizar actividades, obras o proyectos, compatibles con los objetivos de las Áreas Naturales Protegidas, sin perjuicio de cumplir previamente con los requerimientos establecidos en la Ley del Medio Ambiente.”

Del inventario de cuerpos de agua se han omitido los declarados sitios Ramsar y los que forman parte del documento: LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO ÁREA NATURAL PROTEGIDA (MARN marzo 2022), obteniéndose el siguiente consolidado:

Tabla 14: Cuerpos de agua con probabilidad de utilización para el sistema fotovoltaico flotante.

Lago o Laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (msnm)	Profundidad	Superficie (ha)
Caldera	San Nicolás Los Encuentros	San Juan Opico	La libertad	490	10 m	2
Laguna ciega	Agua Helada	Santa Clara	San Vicente	520	S/D	51
Apastepeque	Agua Helada	Santa Clara	San Vicente	503.3	Max 35 m al centro	37
La Bruja	Calderas San Esteban Catarina	Apastepeque San Esteban Catarina	San Vicente	400	Prom.8 m Máx. 25m	28
Lago de Coatepeque	La Laguna, Flor Amarilla, El Guineo, Potrerillos, San José Las Flores, Los pinos, Montebello, Las Lajas San Marcelino y Los Planes	El Congo, Santa Ana e Izalco	Parte Sur del Departamento de Santa Ana y al Norte del Departamento de Sonsonate	740	Máxima 115m	2386
Laguna de Alegría	San Juan y Apastepeque	Alegría	Usulután	1500	Max 26 m Media 2m	12.83

Lago o Laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (msnm)	Profundidad	Superficie (ha)
5 de noviembre			Chalatenango -Cabañas		60 m	1305
15 de septiembre			Usulután		Prom. 10m Max 32 m	2992
Laguna de Moran	Río Frío	Ahuachapán	Ahuachapán	460		18
Laguna del llano del Espino	Llanos de la Laguna	Ahuachapán	Ahuachapán	700	Max 3 m	92
Laguna de las Ninfas	San Ramoncito	Apaneca	Ahuachapán	1640	1.3 m	12.71
Laguna de Cuscachapa	El Cuje	Chalchuapa	Santa Ana	700	10 m	6
Laguna El Bijagual	La Ceiba	San Francisco Menéndez	Ahuachapán	26	Max 1m	22
Laguna de NAHUALAPA	El Pedregal	Rosario de La Paz	La Paz	55	Invierno 6m Verano 2.5m	24
Laguna de Solomillona	Zambombera	San Luis	La paz	16	0.5 m	10
Laguna de buchiche	San Carlos	Tecoluca	San Vicente	---	1.3 m	4.8
Lago de Ilopango			San salvador, Cuscatlán y La Paz	450	Max 250 m	7061.39
Laguna de Talquezal	El Pacún	Tecoluca	San Vicente	10	Prom. 1.5m Máx. 2.5m	17

Lago o Laguna	Cantón	Municipio	Departamento	Altitud (msnm)	Profundidad	Superficie (ha)
Laguna San Juan del Gozo	San Juan del Gozo	Jiquilisco	Usulután	---	Prom. 7 m Máx. 10 m	83
Laguna el Chaparral	La Danta	Concepción Batres	Usulután	---	1.6 m	24
Laguna de Aramuaca	Miraflores y Cerro Bonito	San Miguel	San Miguel	85	2 m	43
Laguna de San Juan		San Miguel	San Miguel	63	---	401
Laguna de Maquigüe	Maquigüe	Conchagua	La Unión	110	Prom 4m Máx. 7 m	141

❖ **Descripción de cada lago o laguna:**

Tabla 15: Descripción de lagos y lagunas con posibilidad de uso para FPV.

Lago/Laguna		
Caldera	Esta laguneta es parte del Campo Experimental que administra la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA). Por tener un origen volcánico, tiende a azufrar sus aguas en los meses de diciembre a febrero.	No se realizan actividades pesqueras ni acuícolas, debido a que es propiedad privada y cuentan con servicio de vigilancia y seguridad.
Laguna Ciega	Dicho cuerpo de agua está reportado por el MARN (2000) como una laguna y le da el nombre oficial de Laguna Ciega. A través de los años el espejo de agua ha ido disminuyendo hasta llegar a convertirse en una pequeña laguneta al centro de lo que fuera antes la laguna.	Debido a que la laguna ha sido reducida en un 80 % y que la profundidad de los pequeños relictos de agua no supera los 15 cm., en este ecosistema no se desarrolla ninguna actividad pesquera.
La bruja	El nombre oficial es Laguna La Bruja, conocida también como Laguna de Chalchuapa, su georreferencia 13°42'29.9" Latitud Norte y 88°45'22.4" Longitud Oeste.	Los usos de la laguneta son tres: pesca, agua para consumo humano, turismo local y como abrevadero para ganado. Al costado sur de la laguna se presenta un manto freático del cual los habitantes de la comunidad Calderitas, extraen agua con una bomba para el consumo.

Lago/Laguna		
Lago de Coatepeque	El nombre oficial de este cuerpo de agua es Lago de Coatepeque, sus coordenadas son: 13° 53' 16.5" Latitud Norte y 89° 32' 54" Longitud Oeste. el área del cuerpo de agua cubierta por plantas es de alrededor del 15%; entre este porcentaje se destaca el ocupado por el alga <i>Hydrilla verticillata</i> .	Los usos que se hacen de este cuerpo de agua son: pesca con una producción promedio anual de 86,386 Kg, son doce comunidades pesqueras en el lago que albergan a 409 pescadores. Casas de veraneo a las orillas del lago y de algunos clubes y hostales y hoteles. Además, se extrae agua del lago para uso doméstico y agrícola.
Laguna de Alegría	Su nombre oficial es Laguna de Alegría, es de origen volcánico y se encuentra asentada sobre el volcán Tecapa, en los Cantones de San Juan y Apastepeque. coordenadas: 13° 29'32.4" Latitud Norte y 88°29'32" Longitud Oeste	La laguna presenta un gran interés turístico, por las características sulfúricas de sus aguas, las personas llegan para tratar problemas de la piel; para estos fines son utilizados también el lodo y los cristales sulfúricos.
Embalse 5 de noviembre	Las coordenadas geográficas del punto conocido como desagüe (lugar donde se levantaron los datos), son 13°59'46.8" Latitud Norte y 88°45'53.3" Longitud Oeste. La presencia de Jacinto de agua (<i>Eichornia crassipes</i>) en este embalse está cerca de 1 km ² del espejo de agua.	Los usos que presenta el embalse son dos: generación de energía eléctrica, y pesca. La central hidroeléctrica tiene, posterior a su rehabilitación y repotenciación, una capacidad instalada de 99.4 MW (CEL 2004.)

Lago/Laguna		
Embalse 15 de septiembre	<p>El área de la cuenca del embalse mide 348.48 Km², y se ubica en la cuenca del Río Lempa, dentro de la Zona de Vida Bosque Húmedo Sub-Tropical, presentando un espejo de agua de 35.5 Km². Su georreferencia basada en dos puntos: en Vado Lagarto 13°44'41.9" Latitud Norte y 88°32'27.3" Longitud Oeste y el segundo en Nueva Granada 13°40'14.8" Latitud Norte y 88°29'3.6" Longitud Oeste. La vegetación acuática cubre cerca del 15 % del espejo de agua del embalse. Se destaca la presencia de Barbona (<i>Hydrilla verticillata</i>) y lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>), como las más abundantes.</p>	<p>Los usos que genera el embalse son dos: generación de energía eléctrica, y pesca. Esta central de generación eléctrica, ubicada a 90 Km. de San Salvador, constituye la de mayor capacidad de CEL y cuenta con dos unidades de 78.3 MW cada</p>
Laguna de Moran	<p>Actualmente en la zona no se le identifica como laguna, debido a que lo único que existe es un pastizal, circundado por cultivos de subsistencia, el cual se inunda durante la estación lluviosa. Las coordenadas en las que se georreferencia este lugar son las siguientes: 14° 0.0' 2.2" Latitud Norte y 89° 48' 30.9" Longitud Oeste.</p>	<p>Este terreno es utilizado como pastizal.</p>

Lago/Laguna		
Laguna del llano del Espino	De manera autóctona esta laguna se conoce como Laguna del Espino o lago Plateado; esto último por el aspecto blanquecino que tiene el agua, debido a que el fondo de la laguna está constituido por arcilla suelta. Las coordenadas geográficas de su georreferencia son: 13° 56' 57.7" Latitud Norte y 89° 51' 56.4" Longitud Oeste. Alrededor del 10%, del espejo de agua está cubierto con plantas acuáticas como el Jacinto de agua (<i>Eichornia crassipes</i>)	La arcilla suelta provoca que la luz solar penetre muy poco en la columna de agua, y se dé una baja productividad primaria, por lo cual se consideran aguas poco productivas. Sin embargo, se registran actividades de pesca de Guapote tigre y Tilapia
Laguna de las Ninfas	Se le conoce como Laguna Las Ninfas debido a la gran cantidad de ninfas que crecen y florecen en las aguas de esta laguna. Su georreferencia está dada por las coordenadas: 13° 59' 26" Latitud Norte y 89° 47' 55.5" Longitud Oeste. El 80% del espejo de agua de la laguneta está cubierta por plantas acuáticas: Tule (<i>Typha angustifolia</i>), carrizo (<i>Echinochloa polystachya</i>), ninfa (<i>Nymphaea alba</i>), jacinto de agua (<i>Eichornia crassipes</i>) y diversos tipos de gramíneas	El espejo de agua se encuentra reducido hasta aproximadamente un 80%, observándose agua solamente en ciertas porciones en el centro de la laguna. Se utiliza como reservorio. En el lado Sur se ha construido un dique y el agua embalsada se utiliza para abastecer de agua potable a la ciudad de Apaneca. Además, son frecuentes las visitas de personas los fines de semana, en especial jóvenes, que llegan a realizar caminatas, así como prácticas de bicicleta de montaña.

Lago/Laguna		
Laguna de Cuscachapa	<p>Su nombre significa “Laguna como Joya” o “Laguna Alhaja” (Diccionario Geográfico de El Salvador, 1995). Los habitantes de la zona también le llaman “agua de jadeitas” por el color de sus aguas y porque en el pasado era común encontrar jadeitas (piedras semipreciosas) en las orillas de la laguna. Posee un atributo cultural importante, pues constituyó una zona de asentamiento indígena de los Pocomanes. Su georreferencia es coordenadas: 13° 58’ 51.1” Latitud Norte y 89° 40’ 18.9” Longitud Oeste.</p>	<p>Las actividades más importantes son la pesca y el turismo. Esta laguneta además de constituir un medio de subsistencia para los pobladores de la zona, tiene un buen potencial para el turismo; sobre todo tomando en cuenta que se encuentra a escasos metros del Tazumal.</p>

Lago/Laguna		
Laguna El Bijagual	<p>Desde hace 60 años en la zona, se le conoce como El Tular y laguna Gamboa. Esta laguna se encuentra en las inmediaciones de una propiedad privada, razón por la cual hace tiempo fue drenada para ampliar la zona de cultivo, lo anterior produjo la división de dos lagunas: El Tular, que realmente es un pantano de poca profundidad, cubierta casi en su totalidad de plantas de tule (<i>Typha angustifolia</i>). A la segunda se le llaman Gamboa ó El Bijahual, la cual si posee espejo de agua; y habitan, y se reproducen caimanes. Por su ubicación geográfica, la laguneta se encuentra dentro del Complejo Barra de Santiago, que reúne al humedal costero de la Barra de Santiago, al Sanjón del chino, al sitio arqueológico Cara Sucia y al Parque Nacional Santa Rita. Sin embargo, esta laguneta aún no está incluida dentro del Complejo. La laguna está cubierta en un 30% por plantas acuáticas. Las especies presentes son el tular (<i>Typha angustifolia</i>) y el Junco (<i>Typha latifolia</i>).</p>	<p>Su agua es utilizada para riego, es de notar la poca actividad de pesca que se da en la laguna, también es visitada por turistas quienes llegan al Área Natural Protegida de Santa Rita que está muy cercana al lugar, por la curiosidad de ver algún caimán.</p>

Lago/Laguna		
Laguna de NAHUALAPA	<p>Por sus actuales dimensiones y de acuerdo con el Glosario de la Metodología de Inventario PREPAC (2004), se reclasifica como una laguneta. Su georreferencia está dada por las siguientes coordenadas: 13° 27' 52.8" Latitud Norte y 89° 1.2" Longitud Oeste. la laguneta está cubierta en un 30% por jacinto acuático (<i>Eichornia crassipes</i>).</p>	<p>En la laguneta se realizan tres actividades: la pesca, el turismo local, y el de abrevadero. Es importante mencionar que, en nuestro país, tradicionalmente las lagunas y lagunetas representan una parte importante en el diario vivir de las comunidades, al ser utilizadas para realizar diversos quehaceres domésticos.</p>
Laguna de Buchiche	<p>También es conocida como Laguna La Coneja y se ubica en el Caserío Las Conejas, Cantón San Carlos, Municipio de Tecoluca, Departamento de San Vicente. Su georreferencia está entre las siguientes coordenadas: 13° 22'56.7" Latitud Norte y 88° 45'56.7" Longitud Oeste.</p>	<p>El uso principal de la laguneta es la pesca, aunque también se da el turismo.</p>

Lago/Laguna		
Lago de Ilopango	Su nombre autóctono es Xilopango, cuyo significado en lengua Nahuatl es “valle de los jilotes” o “lugar de los setos de jilotes”. La georeferencia de este cuerpo de agua es: 13°41’53.9” Latitud Norte y 89°4’44.4” Longitud Oeste.	Los usos del lago son básicamente: pesca con una producción anual de 118,132.8 Kg., acuicultura con una producción de 45,322.06 Kilogramos anuales; turismo local y prácticas de buceo. También se utiliza el agua del lago para riego (no se ha determinado el área de riego) y como abrevadero de ganado. Al costado sur del lago se extrae agua de un pozo, la cual es bombeada hacia el cantón Calderitas para consumo humano.
Laguna de Talquezal	El espejo de agua se encuentra cubierto en un 85% por vegetación acuática. coordenadas: 13° 26’7.1” Latitud Norte y 88° 42’47.8” Longitud Oeste. el espejo de agua se encuentra cubierto en un 85% por vegetación acuática: platanillo (<i>Heliconia bihai.</i>), tule (<i>Typha angustifolia</i>), zarza (<i>Mimosa pigra</i>) y zacate de agua (<i>Echinochloa polystachya</i>)	El uso de la laguneta es prioritariamente abrevadero para ganado vacuno, practicándose en menor escala la pesca

Lago/Laguna		
Laguna San Juan del Gozo	coordenadas: 13°14'43.9" Latitud Norte y 88°45'0" Longitud Oeste	La laguneta es utilizada exclusivamente para la pesca, con una comunidad pesquera de 80 pescadores, quienes cuentan con un total de 80 embarcaciones (cayucos); todos pertenecen a la comunidad San Juan del Gozo.
Laguna el Chaparral	Conocida también como Laguna La Colorada, coordenadas: 13° 51'31.1" Latitud Norte y 88°23'22.1" Longitud Oeste. Su espejo de agua está cubierto casi en su totalidad por diversas especies de plantas acuáticas, entre ellas destacan, El Tule (<i>Thypha angustifolia</i>); Iscanal (<i>Acacia hindis</i>); Huiscoyol (<i>Bactris subolobosa</i>) y Zarza (<i>Mimosa pigra</i>).	Es utilizado para la pesca con fines de autoconsumo y como abrevadero para el ganado.
Laguna de Aramuaca	Coordenadas: 13° 26' Latitud Norte y 88°6' Longitud Oeste	La pesca en este CAC está regulada por el Centro Turístico de Aramuaca, de carácter privado; dicho centro autoriza a pescadores para que eventualmente puedan realizar pesca de autoconsumo, además la laguna es visitada por un aproximado de 1200 turistas al año, siendo en Semana Santa y Fin de año las temporadas de mayor afluencia.

Lago/Laguna		
Laguna de San Juan	<p>Coordenadas: 13°22'16.3" Latitud Norte y 88°10'53.7" Longitud Oeste. el MARN informa que el espejo de agua de la laguna es de 1.35Km². La profundidad promedio de la laguna es de 50 cm. con una máxima de 6 m en la poza conocida como Los Molina. La laguna tiene cubierto su espejo de agua en un 95% por vegetación acuática, destacándose las especies: Lechuga de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) Tule (<i>Typha angustifolia</i>); Zarza (<i>Mimosa pigra</i>) y Platanillo (<i>Heliconia bihai</i>).</p>	<p>Los usos de la laguna son dos: la pesca de manera eventual debido a tener cubierto casi en su totalidad su espejo de agua por vegetación acuática, y como abrevadero para ganado vacuno.</p>
Laguna de Maquigüe	<p>El nombre oficial de acuerdo con el MARN (2000), es Laguna Managuara; autóctonamente es conocida como laguna de Maquigüe. Se ubica en las coordenadas: 13° 16' 28.4" Latitud Norte y 87° 55' 55.8" Longitud Oeste.</p> <p>El MARN reporta en el año 2000 que el área de espejo de agua era de 0.25 Km², su superficie se encuentra cubierta en un 85% por vegetación acuática, destacándose las especies: Oreja de Elefante (<i>Salvinia spp</i>) y Zarza (<i>Mimosa spp.</i>). En la fotografía se aprecia la "Oreja de Elefante", planta acuática más abundante en la laguneta.</p>	<p>Los usos de la laguneta son dos: la pesca y el turismo</p>

2.3.4 Metodología para la Selección de Cuerpos de Agua del Proyecto.

Para la selección del o los cuerpos de agua idóneos para el proyecto, se seguirá una secuencia de pasos que indicaremos como la metodología empleada para priorizar los cuerpos de agua donde se podrá instalar sistemas solares flotantes:

- 1) Se identifica según referencia bibliográfica resultado de la investigación Catálogo de mapas de zonas críticas prioritarias de humedales Ramsar de El Salvador y el Listado de Áreas Naturales Protegidas ambos documentos del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (ver sección 2.3.3 de este documento)
- 2) Se investigan las características de cada cuerpo de agua con el fin de encontrar las características esenciales para ser fuertes candidatos a elección o totalmente descartarse de su posible utilización para el proyecto.
- 3) Se aplica una metodología de toma de decisión por descarte según las características de cada cuerpo de agua; para el caso particular del proyecto, se utilizará la matriz de PUGH.

A continuación, se describirá la metodología de la matriz de PUGH y la forma en que se aplicará al proceso de selección del o los cuerpos de agua a utilizar.

- **Método de PUGH para la toma de decisiones según criterios definidos (Stuart Pugh Total Desing)**

La matriz de Pugh tiene como principal utilidad ayudar a la toma de decisiones. La idea es que cuando se está evaluando un producto, un servicio, una solución actual ante distintas alternativas y bajo una serie de criterios determinados la matriz de Pugh permite utilizar un método cuantitativo para calcular cuál es la mejor opción.

Pasos para la creación de la matriz de Pugh

Los pasos que se deben seguir para la creación de la matriz de Pugh son muy sencillos. Simplemente se tendrá que:

- 1) Identificar las filas (los criterios de selección).
- 2) Identificar las columnas (las alternativas a nuestra solución).
- 3) Evaluar las alternativas (para cada uno de los criterios).

- 4) Calcular la puntuación de cada alternativa.
- 5) Seleccionar la alternativa más ventajosa.

Pasos 1 y 2. Identificar criterios (de selección) e identificar columnas (alternativas solución)

Tabla ejemplo:

Tabla 16: Ejemplo de matriz de Pugh.

	Chuletón	Pizza	Hamburguesa	Paella
Coste				
Tiempo				
Satisfacción				
Destreza				
Conocimientos				
EVALUACIÓN				

Paso 3. Evaluar las alternativas.

Se elige una opción como la solución más viable, no se evalúa se toma de base, de referencia y lo que se hace es puntuar en las demás si son iguales, mejores o peores que ella. ¿Cómo se hace? De la siguiente forma:

- **-1.** Cuando la alternativa sea peor que la original en ese criterio.
- **0.** Cuando la alternativa sea igual que la original en ese criterio.
- **+1.** Cuando la alternativa sea mejor que la original bajo ese criterio

Con ello para una alternativa se tendrá una serie de valores -1, 0 y +1 con el resultado de las evaluaciones de los criterios seleccionados.

Paso 4. Calcular la puntuación de cada alternativa.

Este paso es simple sólo tendrá que sumarse todos los valores obtenidos en el paso anterior. Ese valor obtenido evalúa cada alternativa con respecto a la original.

Tabla ejemplo:

Tabla 17: Ejemplo de matriz de Pugh con criterios aplicados.

	Chuletón	Pizza	Hamburguesa	Paella
Coste	-	+1	+1	-1
Tiempo	-	-1	-1	-1
Satisfacción	-	-1	-1	0
Destreza	-	0	0	-1
Conocimientos	-	0	0	-1
EVALUACIÓN		-1	-1	-4

Paso 5. Seleccionar la alternativa más ventajosa.

Se Toman los resultados del paso anterior:

- En caso de que el resultado sea menor que cero se puede descartar directamente, ya que seguramente presenta en general peores resultados que la opción original.
- En caso de que el resultado sea cero, se mostrará que es una alternativa muy similar a la original por lo que tampoco debería tener mucho interés seguirla.
- El caso que realmente interesa es aquel cuyo valor sea mayor que cero y en concreto, interesa la que tenga el mayor valor, esta será la primera alternativa a implementar.

En la tabla ejemplo, todos los resultados son negativos, por tanto, la opción original sigue siendo la opción más ventajosa.

Los resultados se pueden mostrar en un diagrama de Pareto desde la mejor opción pasando por el resto en orden decreciente.

- 4) Una vez obtenido el cuerpo de agua que presente las mayores ventajas en puntuación de acuerdo a la metodología de PUGH, se procederá a determinar el área total de este ya sea por investigación bibliográfica o utilizando App en línea trabajando sobre Google map.

- 5) Se selecciona un área efectiva de utilización del cuerpo de agua, esto según investigación bibliográfica de sistemas solares flotantes alrededor del mundo. (1%, 5%, 10%)
- 6) Teniendo el área efectiva permitida a utilizar en el cuerpo de agua elegido, se procederá a hacer las estimaciones del potencial fotovoltaico que se obtendría de acuerdo a la distribución del área delimitada en el paso 5, para esto, se requerirá la ayuda de aplicaciones en línea como Google map, Global Solar Atlas, PV Watts entre otros.
- 7) Es importante establecer la comparación entre el potencial que se genera con el sistema fotovoltaico flotante y el que se podría obtener con sistemas fotovoltaicos instalados en tierra, de esta forma se puede identificar las posibles ventajas de los primeros.

- **APLICACIÓN DE LA MATRIZ DE PUGH PARA NUESTRO INTERÉS.**

La metodología por implementar en nuestro proyecto se basa en la matriz de Pugh, para lo cual describiremos la forma en que se aplicará acoplada a los objetivos de evaluación para la selección de los posibles cuerpos de agua a utilizar.

Paso 1) De la investigación bibliográfica se distinguen **6 criterios a evaluar** (filas en la matriz de Pugh) en esta metodología de selección, para la utilización actual de los espejos de agua recopilados:

- a) Uso en hidroeléctrica.
- b) No uso en la pesca.
- c) No uso en turismo.
- d) No uso para consumo humano.
- e) No uso en acuicultura.
- f) No uso en actividades agrícolas.

✓ **Descripción de criterios a utilizar en la evaluación del cuerpo de agua**

a) Uso en hidroeléctrica:

La importancia de la generación de energía utilizando recurso hídrico radica en el posicionamiento que tiene la energía hidroeléctrica, con una participación de 33.7% en la producción de energía, siendo la hidroeléctrica la de mayor participación. En la figura

siguiente se muestra la participación de otras fuentes de energías, tales como biomasa, fotovoltaica, geotérmica entre otras.

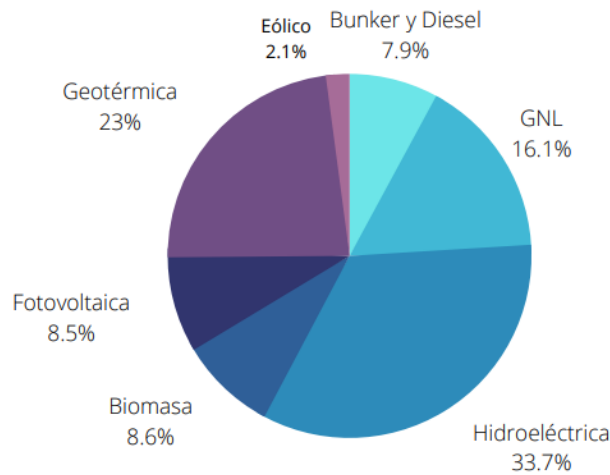


Ilustración 21: Fuente: Datos 2022, Dirección general de energía, hidrocarburos y minas DGEHM

Según investigaciones realizadas por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL) del Departamento de Energía de Estados Unidos, instalando paneles solares flotantes a las centrales hidroeléctricas sumaría 10600 TWh de generación anual. La posibilidad de estas plantas híbridas ha sido analizada en diversas investigaciones las que en resumen sugieren las siguientes ventajas: mejoramiento del factor de planta, reducen la evaporación del agua del embalse, red eléctrica disponible para la conexión. A continuación, se presentan algunos proyectos híbridos Energía solar-Hidroeléctrica:

- 1) Proyecto en Ejecución: Central hidroeléctrica de Venaus (Piamonte) con capacidad instalada 1 MW y producción anual prevista de 1200 MWh.
- 2) Alqueva, Portugal. A la fecha es la mayor planta solar fotovoltaica flotante de Europa sobre un embalse. 12000 paneles fotovoltaicos sostenidos por una estructura flotante compuesta por 25000 flotadores, capacidad instalada de 4MW y su capacidad de producción anual de 7.5 GWh. Otros datos de interés: profundidad del embalse 70 m con una diferencia promedio de 23 m.
- 3) Mettur, India, equipada con un sistema fotovoltaico flotante con potencia instalada de 100MWp.

- 4) Akosombo, Ghana, una central hidroeléctrica compuesta por 6 turbinas cada una de 170 MW se ha instalado una planta solar fotovoltaica flotante de 50 MWp.

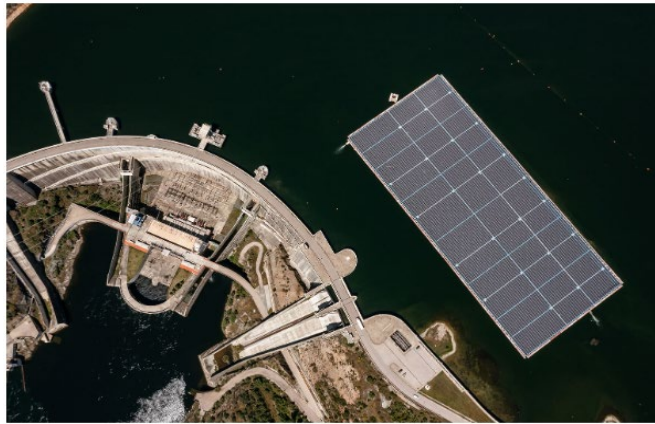


Ilustración 22: Solar flotante Alqueva. Fuente edp.com

Los beneficios potenciales de instalar generador solar fotovoltaico flotante para que operen en armonía con una central hidroeléctrica son:

-Utilizar la infraestructura eléctrica de la central hidroeléctrica tiene como resultado reducir los costos de transmisión al conectarse a una subestación común.

-Complementariedad pues en época lluviosa las centrales hidroeléctricas tienen su mejor desempeño por otro lado en época secas la solar fotovoltaica flotante sería la protagonista.

En conclusión, por las ventajas que presenta la implementación de un sistema fotovoltaico flotante en un cuerpo de agua que forma parte de una central hidroeléctrica este factor tendrá una ponderación del 50%.

b) No uso en la pesca:

En muchos países, la pesca artesanal de agua dulce contribuye significativamente a la seguridad alimentaria, genera empleos e ingresos económicos para miles de familias. A pesar de su importancia, la pesca artesanal en agua dulce es poco reconocida. Muchas comunidades de pescadores siguen siendo marginadas y su actividad no es tomada en cuenta en las estadísticas nacionales. Las políticas de desarrollo tienden a favorecer a otros sectores tales como la agricultura o la producción hidroeléctrica, ignorando el papel de la pesca en la mitigación de la pobreza y su contribución a la seguridad alimentaria.

Considerando que la implementación de un sistema solar fotovoltaico flotante en un cuerpo de agua dulce donde haya existencia de fauna y sumado a ello donde se tiene registro de actividades pesqueras que aún están siendo para “consumo propio” representa una fuente de alimento muy importante para los lugareños y quizá un complemento de su alimentación pues es una fuente de proteínas que de otra forma sería imposible ingerir.

Por todo lo antes expuesto, a este criterio se le da una ponderación del 10%

c) No uso en turismo:

El agua siempre será un factor determinante en el desarrollo de la actividad turística en un destino, es imposible no considerar al recurso hídrico como un indicador dentro de la planificación turística territorial, debido a sus considerables aportes ya sea como un atractivo dentro del destino o un recurso paisajístico del mismo.

El desarrollo o la creación de productos turísticos de manera sostenible en base a los recursos hídricos existentes en una zona específica, la generación de actividades recreativas en ríos, lagos, lagunas, embalses, etc., tiene por efecto la contribución a la economía de la población local considerando que su comercialización y explotación deber ser participativa y equitativa.

Según un estudio realizado por Foundation We Are Water el turismo absorbe el 1% del consumo mundial de agua como producto turístico, sin embargo, en algunos países emergentes, en los que el turismo es uno de los pilares de su desarrollo, el consumo sobrepasa el 7 %, y en algunas islas como las del Caribe o la Polinesia, el sector turístico es el principal consumidor de agua. (Foundation We are Water, 2017)

En el salvador muchos cuerpos de agua son ofrecidos como destinos turísticos para nacionales y extranjeros, así se puede mencionar Lago de Coatepeque, Lago de Ilopango, Lago de Suchitlan, Laguna de Alegría, Laguna de Olomega, Laguna de Aramuaca. (fuente turismo.sv)

Debido a la importancia que tiene el turismo en la generación de empleos para los habitantes de los alrededores de los destinos turísticos, a este criterio se le da una ponderación del 10%

d) No uso para consumo humano:

Los sistemas fotovoltaicos flotantes tienen muy poca reseña histórica considerando que la primera planta fue implementada en 2010, sin embargo, algunas conclusiones de sus efectos sobre los cuerpos de agua donde esta se ha implementado ya son posibles:

1-Es importante asegurarse de la compatibilidad del agua y de los materiales usados en la estructura flotante. Estructuras de acero galvanizado, aluminio estas son compatibles con el agua y no tienen consecuencia en su composición química.

2-En cuerpos de agua destinados para consumo la implementación de estos sistemas flotantes disminuye la evaporación y reduce el crecimiento de algas invasoras.

3-El uso de estructuras flotantes de polietileno de alta densidad (HDPE) son aceptados en aquellos casos donde el agua será para consumo humano.

En conclusión, debido a la importancia que tiene el agua para consumo humano, a este criterio se le asigna una ponderación del 10% siempre y cuando se utilicen materiales que no contaminen el cuerpo de agua.

e) No uso en acuicultura:

Según la FAO en El Salvador, en acuicultura se emplea un aproximado de 500 personas de las que 16.5% corresponde a mujeres. Sólo las empresas de mayor tamaño tienen contratados a profesionales de acuicultura y a personal administrativo. En general la tilapia genera 234 empleos y camarón blanco, 228 empleos.

En 2017, en respuesta a gestiones de países de América Central a través del Comité de Pesca de la FAO, la Asamblea General de las Naciones Unidas declaró a 2022 como el Año Internacional de la Pesca y la Acuicultura Artesanales (AIPAA), con el objeto de reconocer y visibilizar la importancia alimentaria y social de estos subsectores.

Se reporta un total de 276 estanques con un área total de 71.6 hectáreas. En la zona Atiocoyo norte y sur se concentra el 86.8 % de la infraestructura productiva de tilapia en estanques. El resto de infraestructura se encuentra distribuida principalmente en las zonas de Suchitoto, Sonsonate, Santa Ana y Ahuachapán; la infraestructura está en proceso de expansión. En el cultivo de peces en jaulas destaca Ilopango con 300 jaulas (21,186 m³) y una producción de 300 toneladas. La mayoría de las jaulas pertenecen a asociaciones cooperativas generando los beneficios sociales correspondientes. Se estima una producción

de 4,097 toneladas para el año 2012, que supera casi en diez veces a la reportada en el año 2003. El valor de la producción es aproximado a los 9.0 millones de USD para el año 2012. El cultivo de tilapia es el rubro con más crecimiento porcentual en el subsector pesquero y se ha convertido en una opción económica y de producción de alimento. La capacidad de producción instalada de tilapia se estima en 11,100 toneladas proveniente principalmente de Atiocoyo, de Ilopango y de otras zonas del país (CENDEPESCA, 2015).

En conclusión, tomando en consideración lo antes expuesto a este criterio se le da una ponderación del 10%

f) No uso en actividades agrícolas:

Es de suma importancia que los cuerpos de agua seleccionados no sean utilizados para extraer de ellos agua para consumo de ganado o para riego en siembras de granos básicos u hortalizas, ya que esto afecta la seguridad alimentaria de los habitantes de las zonas aledañas al cuerpo de agua que se analiza.

Por tanto, a este criterio se le da una ponderación del 10%

Paso 2) Las alternativas de espejos de agua a utilizar (columnas en la matriz de Pugh) según los datos reflejados en cuadros anteriores son 20 (tabla de consolidado de posibles áreas a utilizar), los cuales son:

- 1) Laguna Ciega.
- 2) Laguna de Apastepeque.
- 3) La bruja.
- 4) Lago de Coatepeque.
- 5) Laguna de Alegría.
- 6) Embalse 5 de noviembre.
- 7) Embalse 15 de septiembre.
- 8) Laguna del llano del Espino.
- 9) Laguna de las Ninfas.
- 10) Laguna de Cuscachapa.
- 11) Laguna El Bijagual.

- 12) Laguna de Nahualapa.
- 13) Laguna de Buchiche.
- 14) Lago de Ilopango.
- 15) Laguna de Talquezal.
- 16) Laguna San Juan del Gozo.
- 17) Laguna el Chaparral.
- 18) Laguna de Aramuaca.
- 19) Laguna de San Juan.
- 20) Laguna de Maquigüe.

Paso 3 y 4) Matriz de Pugh para los criterios y opciones descritas anteriormente: Evaluación y cálculo de puntuación.

Puntuación: Este puntaje se asignará de acuerdo a la descripción que se ha elaborado en la tabla de consolidado de posibles áreas a utilizar (descripción de lagos y lagunas), el número correlativo del listado de cada opción es el que se ha colocado en las columnas en la matriz de Pugh, así, por ejemplo, el número 1 corresponde a la laguna ciega, el número 2 corresponde a la laguna de Apastepeque, etc.

Los valores asignados según las características de cada lago o laguna serán:

+1: si cumple.

0: si no cumple.

Con la ayuda de una hoja de cálculo se ha desarrollado toda la evaluación de las 20 opciones con los resultados de “si cumple” o “no cumple” obteniendo:

Tabla 18: Matriz de Pugh con criterios aplicados al proyecto.

MATRIZ DE PUGH (APLICA O NO APLICA)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a) Uso en hidroeléctrica.	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
b) No uso en la pesca.	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
c) No uso en turismo.	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0
d) No uso para consumo humano.	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
e) No uso en acuicultura.	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
f) No uso en actividades agrícolas.	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1

Tabla 19: Matriz de Pugh con criterios aplicados en porcentajes.

MATRIZ DE PUGH (PUNTAJES PARCIALES)																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a) Uso en hidroeléctrica. (50%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
b) No uso en la pesca. (10%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
c) No uso en turismo. (10%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00
d) No uso para consumo humano. (10%)	0.10	0.10	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
e) No uso en acuicultura. (10%)	0.10	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
f) No uso en actividades agrícolas. (10%)	0.10	0.10	0.00	0.00	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.10	0.10

Tabla 20: Resultados obtenidos y espejos de agua seleccionados.

EVALUACIÓN (SUMATORIA)	0.30	0.20	0.10	0.10	0.40	0.90	0.90	0.40	0.30	0.30	0.30	0.10	0.30	0.00	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30	0.30
------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Paso 5) Selección de alternativas más ventajosas.

La sumatoria de puntos nos da como resultado que las opciones 6 y 7 (embalse 5 de noviembre y embalse 15 de septiembre respectivamente) presentan grandes ventajas para los objetivos del proyecto respecto a los demás cuerpos de agua.

Una gráfica de barras nos presenta una mejor descripción de las opciones más favorables a ser utilizadas para la instalación del sistema fotovoltaico flotante.

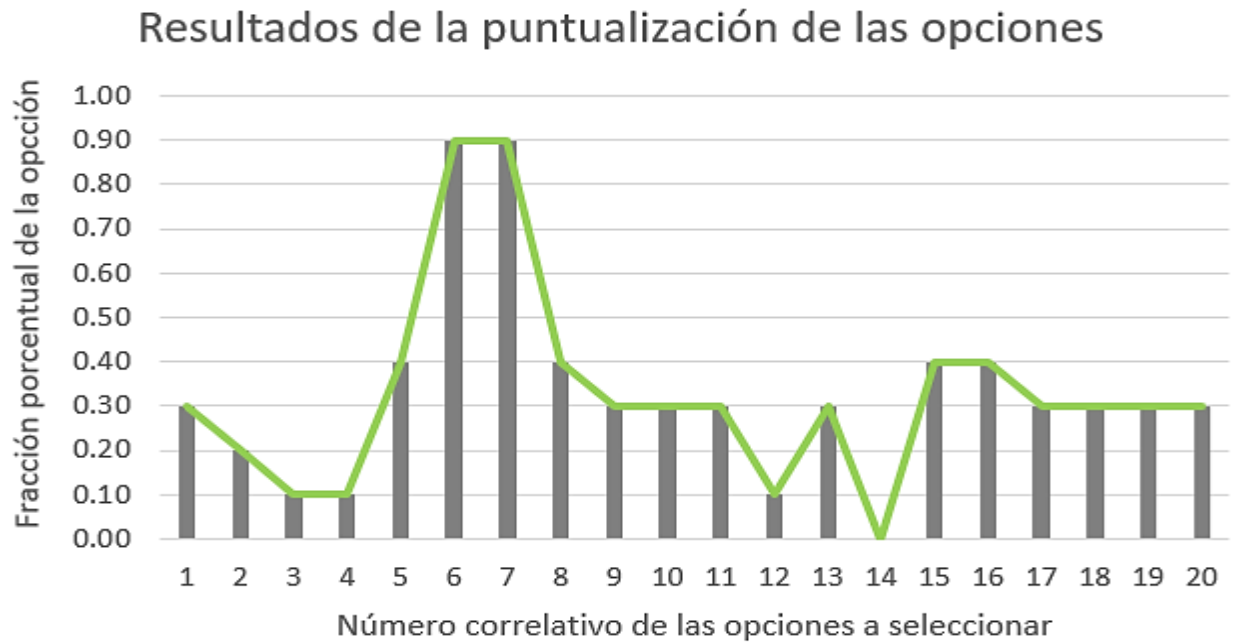


Ilustración 23: Gráficos de barras para una mejor apreciación de los resultados de la matriz de Pugh aplicada al proyecto.

2.3.5 Evaluación del potencial energético para el área realmente aprovechada de cuerpos de agua.

Teniendo el área efectiva permitida a utilizar en el o los cuerpos de agua elegidos, se procederá a hacer las estimaciones del potencial fotovoltaico que se obtendría de acuerdo a la distribución del área delimitada, para esto, se requerirá la ayuda de las aplicaciones en línea Google map, PVWatt, con estos se realizará el cálculo las dos opciones de áreas delimitadas como 5% o 10% del total de área con el que cuenta cada espejo de agua por las razones descritas en capítulos anteriores producto de la investigación realizada,

Los siete cuerpos de agua enlistados a continuación se omiten de este análisis debido a múltiples factores, así:

- Laguna Ciega en el 2020 fue reportada por los habitantes como desaparecida.
- Laguna Bijagual por su poca profundidad en la mayoría del año se convierte en pantano.
- Lago de Ilopango obtuvo una evaluación de cero puntos en la matriz multicriterio.
- Laguna de San Juan se anula porque en época seca se vacía casi por completo.
- Laguna de Alegría no se considera por su baja profundidad
- Laguna las Ninfas y Laguna del llano del Espino no se considera pues sus espejos de agua se encuentran cubiertos de plantas acuáticas
- Laguna del llano del espino su profundidad no supera los 50 cm

Obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 21:

Tabla 21: Potencial de generación estimado en los cuerpos de agua seleccionados, con 2 escenarios posibles de área a utilizar.

N°	CUERPO DE AGUA	PUNTAJE	AREA TOTAL DEL EMBALSE Ha	5 % área			10% área		
				Radiación solar kWh/m ² /día	Energía CA producida GWh/año	Tamaño del sistema (kWp)	Radiación solar kWh/m ² /día	Energía producida GWh/año	Tamaño del sistema FV (kWp)
1	Laguna Ciega*	0.3	21.72						
2	Laguna de Apastepeque	0.2	37	5.08	2.646	1942.36	5.08	5.299	3884.65
3	La bruja	0.1	28	6.31	2.506	1470.98	6.31	5.005	2940
4	Lago de Coatepeque	0.1	2450	6.29	218.68	128618.63	6.21	431.76	257147.45
5	Laguna de Alegría	0.4	12.83						
6	Embalse 5 de noviembre	0.9	996.93	6.3	88.396	52331.23			
7	Embalse 15 de septiembre	0.9	2471.27	6.35	221.312	129740.66			
8	Laguna del llano del Espino	0.4							

N°	CUERPO DE AGUA	PUNTAJE	AREA TOTAL DEL EMBALSE Ha	5 % área			10% área		
				Radiación solar kWh/m ² /día	Energía CA producida GWh/año	Tamaño del sistema FV (kWp)	Radiación solar kWh/m ² /día	Energía CA producida GWh/año	Tamaño del sistema FV (kWp)
9	Laguna de las Ninfas	0.3	12.71						
10	Laguna de Cuscachapa	0.3	6	5.03	0.434	315	5.03	0.868	633.08
11	Laguna El Bijagual*	0.3	17.54						
12	Laguna de Nahualapa	0.1	24	6.19	2.093	1260	6.19	4.186	2519.58
13	Laguna de Buchiche	0.3	4.82	6.24	0.42	253.26	6.24	0.84	506.1
14	Lago de Ilopango*	0	7061.39						
15	Laguna de Talquezal	0.4	17	6.19	1.477	892.08	6.19	2.947	1785.42
16	Laguna San Juan del Gozo	0.4	17	6.19	2.11	1274.4	6.19	4.21	2550.6
17	Laguna el Chaparral	0.3	24	6.28	2.128	1260.42	6.28	4.263	2520.98
18	Laguna de Aramuaca	0.3	43	6.35	3.85	2258.41	6.35	7.693	4515.7
19	Laguna de San Juan*	0.3	401						
20	Laguna de Maquigüe	0.3	24.63	6.45	2.261	1292.2	6.45	4.522	2586.08

2.4 Determinación de la reducción en áreas de terreno utilizados, comparando estos sistemas flotantes como si se instalasen sobre el suelo firme.

Para determinar la reducción de área utilizada en la solar fotovoltaica en suelo firme, se investiga en primer lugar la producción de energía con esta tecnología, según el BOLETÍN DE ESTADÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA SIGET, fueron producidos 1,185.24 GWh en el año 2023, como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22: Generación anual de energía según el BOLETÍN DE ESTADÍSTICAS ELÉCTRICAS DE LA SIGET 2023.

GENERADORAS	GENERACIÓN ANUAL				VARIACIÓN
	2022		2023		
	GWh	(%)	GWh	(%)	
HIDRÁULICA	2,234.13	31.3%	1,568.30	19.2%	↓ -29.80%
GEOTÉRMICA	1,468.00	20.5%	1,482.71	18.2%	↑ 1.00%
OTROS COMBUSTIBLES FÓSILES	586.31	8.2%	712.46	8.7%	↑ 21.52%
GNL	1,027.12	14.4%	2,480.60	30.4%	↑ 141.51%
BIOMASA	552.45	7.7%	526.99	6.5%	↓ -4.61%
FOTOVOLTAICA	1,119.92	15.7%	1,185.24	14.5%	↑ 5.83%
EÓLICA	134.90	1.9%	166.81	2.0%	↑ 23.66%
BIOGAS	22.56	0.3%	28.74	0.4%	↑ 27.36%
TOTAL :	7,145.38	100%	8,151.84	100%	↑ 14.09%

FUENTE SIGET

De los resultados de la estimación del potencial de producción de energía eléctrica en los cuerpos de agua, destacan embalsa 5 de noviembre, embalse 15 de septiembre y Lago de Coatepeque, sumando los tres una producción de energía 528.39 GWh/año utilizando un área total de 295.91 ha, tal como se detalla en la tabla 23.

Tabla 23: Producción de energía y área utiliza en los cuerpos de agua Embalse 5 de nov. 15 de septiembre y Lago de Coatepeque.

CUERPO DE AGUA	ha	5% (ha)	GWh/año
Embalse 5 de nov.	996.93	49.85	88.40
Embalse 15 de sep.	2471.27	123.56	221.31
Lago de Coatepeque	2450.00	122.50	218.68
TOTAL	295.91	295.91	528.39

De los resultados antes expuestos, se concluye que la producción de energía con fotovoltaica flotante en los cuerpos de agua, representa el 44.5% de la energía producida con plantas instaladas en suelo firme, lo cual se traduce en una reducción de área de aproximadamente 295.91 ha que pudieran dejarse de usar en suelo firme.

2.5 Estimación del potencial de generación con tecnología fotovoltaica en suelos Clase VIII

Como un indicador de la importancia de la implementación de proyectos fotovoltaicos flotantes se hace necesario una estimación de área de suelo a utilizar si esta potencia fuera producida con sistemas solares fotovoltaicos en suelo no apto para actividades agrícolas. Para lograr este cometido, primero se hará un breve resumen de la clasificación de tipos de suelos y su ubicación en el territorio nacional para luego estimar el área necesaria para producir la potencia esperada.

Uno de los sistemas más difundido para clasificar el uso del suelo es usado por Departamento de Agricultura de los Estados Unidos USDA su clasificación se basa en agrupar áreas que tengan comportamiento similares en manejo, limitaciones o riesgos de degradación, en esencia se hace una evaluación general de la capacidad de la tierra tomando como base la explotación agrícola, algunos factores considerados para tal evaluación son: erosión, drenaje, limitaciones de enraizamiento y limitaciones climáticas.

- Clase I

Cultivables sin limitaciones de usos, sus características son planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, buena retención de humedad y la fertilidad

- Clase II

Cultivables con ligeras limitaciones uso, sus características son: planos con ligeras pendientes, moderadamente profundos, de buena permeabilidad y drenaje, varían de arcillosos a arenosos.

- Clase III

Esta clase de suelo presenta una moderada limitación de uso lo cual restringe los tipos de cultivos, su topografía varía de plana a moderadamente inclinada hasta 8%, poca profundidad efectiva, la permeabilidad varía de lenta a muy rápida.

- Clase IV

Cultivables sólo ocasionalmente pues presentan altas limitaciones de uso restringiendo grandemente la elección de cultivos, presentan poca rentabilidad pues el costo de producción agrícola tiene muy poco margen con los ingresos de la venta del producto.

- Clase V

Estos suelos se caracterizan por ser demasiado húmedos, pedregosos o rocosos, son propensos a inundaciones frecuentes y prolongadas. Son destinados en su mayoría a estableces praderas para pastoreo

- Clase VI

Suelos destinados generalmente a pastoreo y forestación, son susceptibles a erosión, con pendientes muy pronunciadas de hasta 30%, pedregosos, con un drenaje muy pobre, baja capacidad de humedad, un clima desfavorable.

- Clase VII

Estos suelos son muy similares a los Clase VI pero presentando mayores limitaciones, así las pendientes son pronunciadas de hasta 60%, baja retención de humedad, por esas características y otros son suelos inadecuados para cultivos agronómicos, limitando su uso a pastoreo y forestación.

- Clase VIII

Los suelos clasificados como Clase VIII no tienen valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado para vida silvestre, recreación o protección de cuencas hidrográficas y cauces de ríos y esteros.

En la figura siguiente se resumen los usos potenciales en función de la clasificación antes descrita.

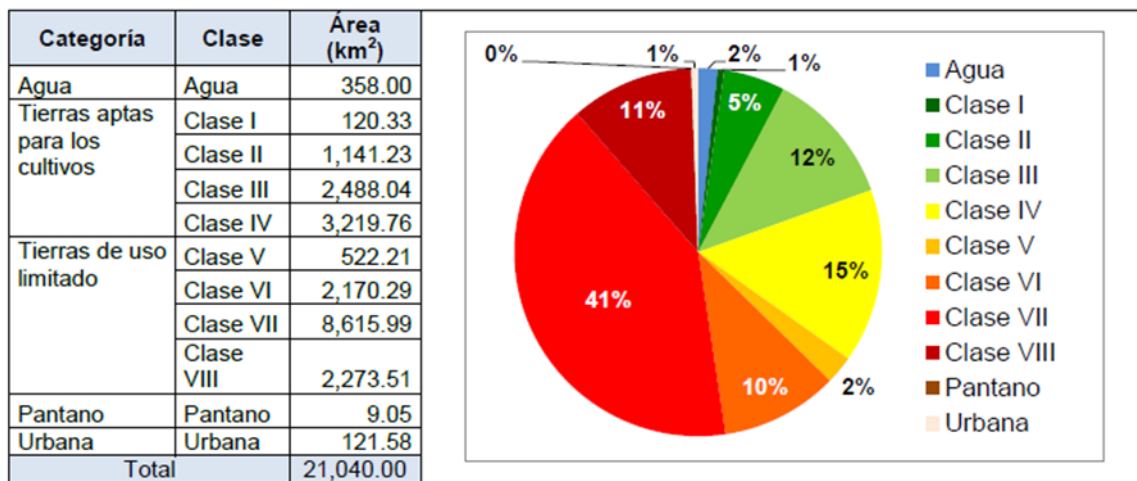


Ilustración 24: Fuente centa.gov.sv

A continuación, se procede a la estimación de la energía producida usando tecnología solar fotovoltaica en suelo no apto para la agricultura, es decir Clase VIII.

Potencia fotovoltaica a partir de área disponible en unidades de W_p se calcula usando la siguiente ecuación:

$$PFV = A * I * \eta_m * PR * FU$$

Donde

A = área de captación sobre la que incide la irradiancia [m^2]

I = Irradiancia promedio [$750 W/m^2$]

η_m = eficiencia de conversión del módulo, igual 0.15

PR = Performance Ratio, igual a 0.75

FU = Factor de utilización del suelo, es decir separación entre módulos, igual a 0.75

Usando el área total de suelo Clase VIII, 2273.51 km^2 equivalente a 2 273,510,000 m^2 se procede a calcular la potencia fotovoltaica PFV:

$$PFV = 2\ 273,510,000 * 750 * 0.15 * 0.75 * 0.75$$

$$PFV = 143,870,554,687.5 W_p$$

$$PFV = 143,870,554.68 kW_p$$

Para el cálculo de la energía producida en un año se usa la ecuación:

$$E_{PV} = PFV * 1550 \frac{kWh}{kW_p}$$

$$E_{PV} = 143,870,554.68 kW_p * 1550 \frac{kWh}{kW_p}$$

$$E_{PV} = 222,999,359,765 kWh/año$$

$$E_{PV} = 222,999 GWh/año$$

Del cálculo se denota que la producción de energía en suelo Clase VIII es nada despreciable, habiendo sido la demanda acumulada en el mercado mayorista para el año 2023 de 6,845.84 GWh según CNE

2.6 Impacto en la flora y fauna acuática de los sistemas fotovoltaicos flotantes

Los sistemas fotovoltaicos flotantes son una tecnología innovadora que se instala sobre cuerpos de agua, como embalses, lagos y estanques. Aunque presentan varios beneficios, como la reducción de la evaporación del agua y el uso eficiente del espacio, también generan impactos sobre las especies acuáticas y el ecosistema. A continuación, se detallan algunos de estos efectos:

1. Sombras y alteración de la fotosíntesis acuática

- Los paneles solares flotantes crean sombras que pueden reducir la cantidad de luz solar que penetra en el agua. Esto puede afectar el crecimiento de plantas acuáticas y algas que dependen de la luz para la fotosíntesis.
- Una reducción en la fotosíntesis puede alterar la producción primaria, afectando a los organismos que dependen de las plantas acuáticas como fuente de alimento.

2. Cambio en la temperatura del agua

- La instalación de sistemas fotovoltaicos flotantes podría reducir el calentamiento del agua en la superficie al bloquear la radiación solar, lo que puede alterar los patrones de temperatura.
- Las variaciones de temperatura pueden afectar la estratificación térmica del agua, influyendo en la distribución de nutrientes y oxígeno disuelto, lo que impacta la fauna acuática, especialmente los peces que son sensibles a estos cambios.

3. Modificación de los niveles de oxígeno disuelto

- La reducción de la luz solar y la actividad fotosintética de las plantas acuáticas puede disminuir la producción de oxígeno disuelto, esencial para la supervivencia de muchas especies acuáticas.

- Esto podría generar áreas de hipoxia (bajo nivel de oxígeno), afectando negativamente a los organismos acuáticos, especialmente a los peces y otras especies que dependen de altos niveles de oxígeno.

4. Impacto en el comportamiento y reproducción de especies

- Las especies que dependen de la luz, como los peces y los invertebrados, pueden ver alterados sus patrones de alimentación, reproducción y migración.
- Algunas especies que desovan en aguas poco profundas podrían verse afectadas si la luz y la temperatura de esas áreas cambia significativamente por la sombra proyectada por los paneles.

5. Alteración del hábitat

- Los sistemas flotantes pueden modificar el hábitat físico de muchas especies acuáticas. Esto incluye la creación de estructuras que podrían ofrecer refugio para algunas especies, pero al mismo tiempo cambiar los ecosistemas acuáticos al alterar la circulación de agua y los nutrientes.
- La instalación de estos sistemas podría también aumentar la presencia de depredadores que utilizan los paneles flotantes como áreas de caza, lo que afectaría a la fauna que vive en los cuerpos de agua.

6. Posible impacto en la biodiversidad

- Si bien algunos estudios sugieren que los sistemas fotovoltaicos flotantes pueden tener efectos neutros o incluso beneficiosos en términos de biodiversidad, estos impactos dependen del tipo de cuerpo de agua y su ecosistema.
- En cuerpos de agua cerrados o pequeños, los cambios en la temperatura, luz y oxígeno disuelto pueden ser más pronunciados, lo que podría llevar a una reducción en la diversidad de especies.

2.7 Ejemplo práctico de planta solar fotovoltaica flotante

Como resultado de la metodología desarrollada, a continuación se presenta un ejemplo de aplicación práctica de una propuesta en el embalse de la central hidroeléctrica 15 de septiembre cuya ubicación geodésica es la siguiente: lat.: 13.699343, long: -88.506614.

La planta se dimensionó para una potencia estimada de 5 MWe en AC, conectado a la red de media tensión (46 kV) más próxima en la zona.

En la ilustración siguiente se presenta un esquema general de una planta fotovoltaica flotante en donde se puede observar las partes principales.

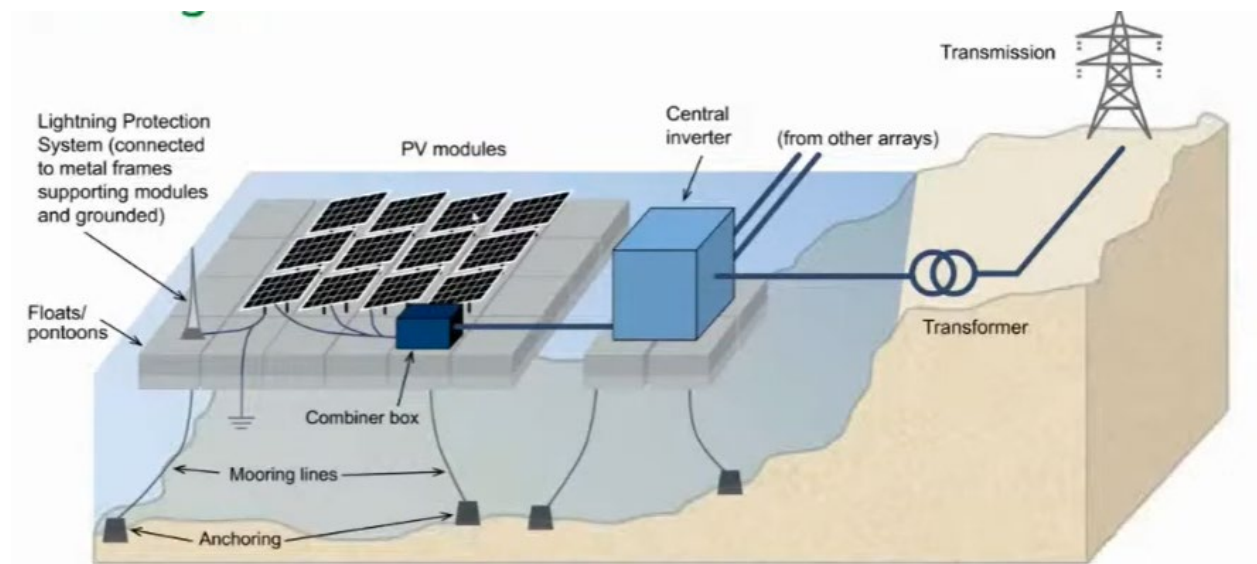


Ilustración 25 Esquema de planta fotovoltaica flotante. (Ref.: Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS))

Según se muestra en la ilustración, la diferencia principal entre la planta fotovoltaica flotante (PFF) y la estacionaria o convencional en tierra, es que, para el caso de la flotante, el movimiento del agua induce esfuerzos mecánicos en todos los componentes de la planta, los cuales se amplifican por la fatiga provocada por el movimiento continuo que produce la olas o mareas del cuerpo de agua.

Según Isigenere, los parámetros por considerar en el diseño de la planta PFF son los siguientes:

- Tiempo esperado de operación (no menor a 20 años),

- Tamaño del cuerpo de agua y su uso,
- Profundidad y orografía del fondo del cuerpo de agua,
- Cambio en el nivel de agua,
- Frecuencia de oleaje y altura de mareas,
- Composición química del agua (salinidad, principalmente),
- Velocidad máxima de las corrientes superficiales de agua, y
- Distancia desde la PFF hasta el punto más cercano para inyección de la energía.

Lo anterior impacta directamente en la viabilidad técnica y económica del proyecto pues tendrá las implicaciones directas en los parámetros siguientes:

- Calidad de los flotadores a seleccionar (espesor de pared de los mismo y flotabilidad) y la flexibilidad como flotabilidad de la estructura,
- Porcentaje de área a cubrir del cuerpo de agua para minimizar el impacto visual,
- Tiempo y cantidad de anclajes de los cuales pueden ser en superficie o en el fondo del cuerpo de agua,
- Selección de los materiales eléctricos más adecuados según el ambiente,
- Logística para el suministro (principalmente los flotadores), y
- Pasillo para operadores para trabajos de O&M.

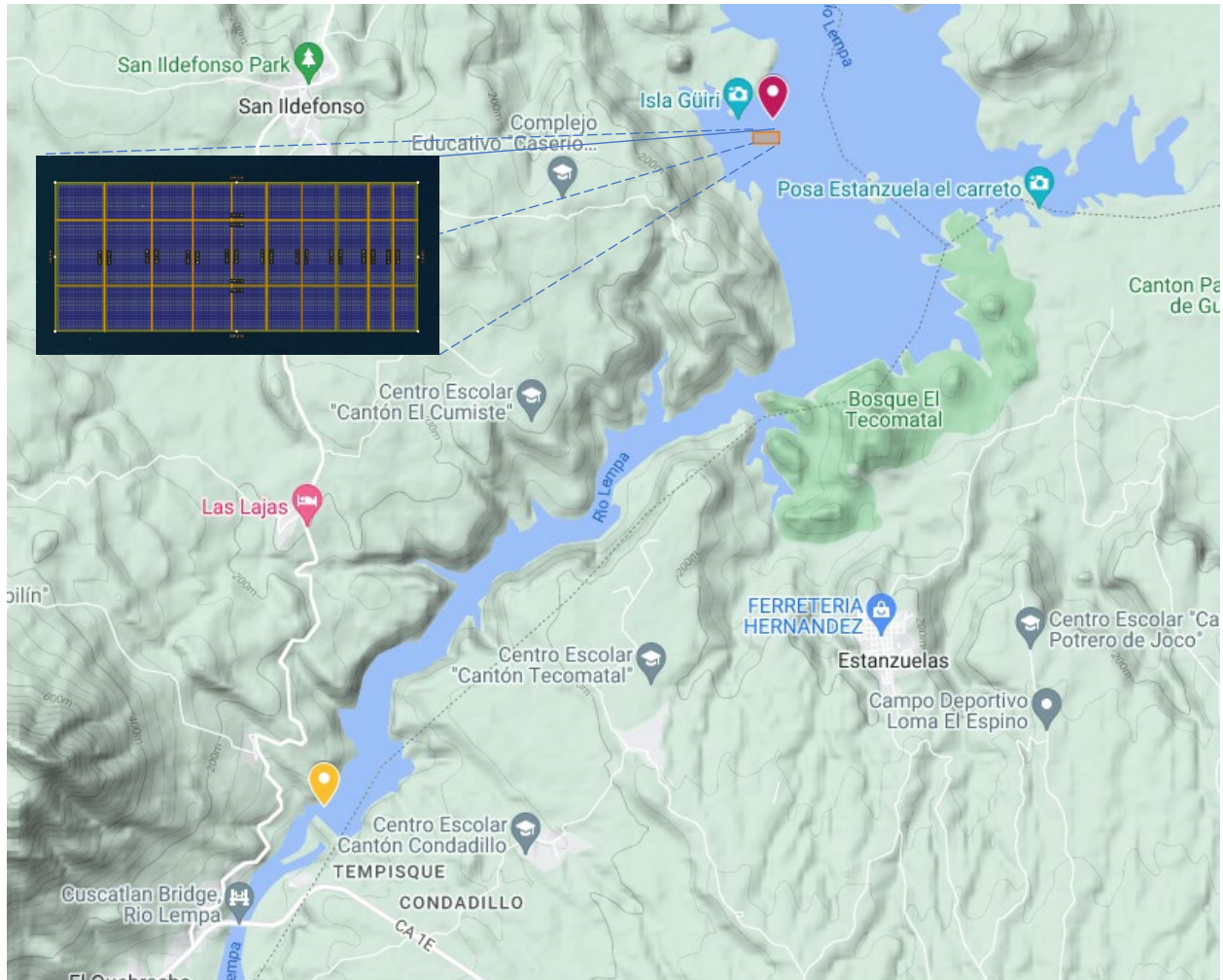


Ilustración 26 Ubicación de PFF de aproximadamente 5MWe. En rojo la ubicación de la planta PFF y en amarillo la CH-15 de septiembre (ref.: Google Maps).

2.7.1 Especificaciones técnicas de los componentes de la planta.

2.7.1.1 Variación de la altura del cuerpo de agua

Un parámetro importante por tomar en cuenta en la selección de los componentes de la planta PFF es la variación de altura del nivel del cuerpo de agua. Al respecto, se deberá realizar un estudio sobre la altura máximos y mínimos del nivel de agua y el relieve del terreno para lo cual se deberá realizar una batimetría a través del cual se haga un levantamiento topográfico del relieve de la superficie cubierta por el agua cuya información será útil para determinar el tipo, cantidad y profundidad de los anclajes a construir para fijar la planta; pero al mismo tiempo, permitir que ésta

pueda adaptarse a los cambios de nivel. Para el caso, preliminarmente se ha utilizado el registro realizado por la Unidad de Transacciones, cuya información se presenta en la ilustración siguiente.

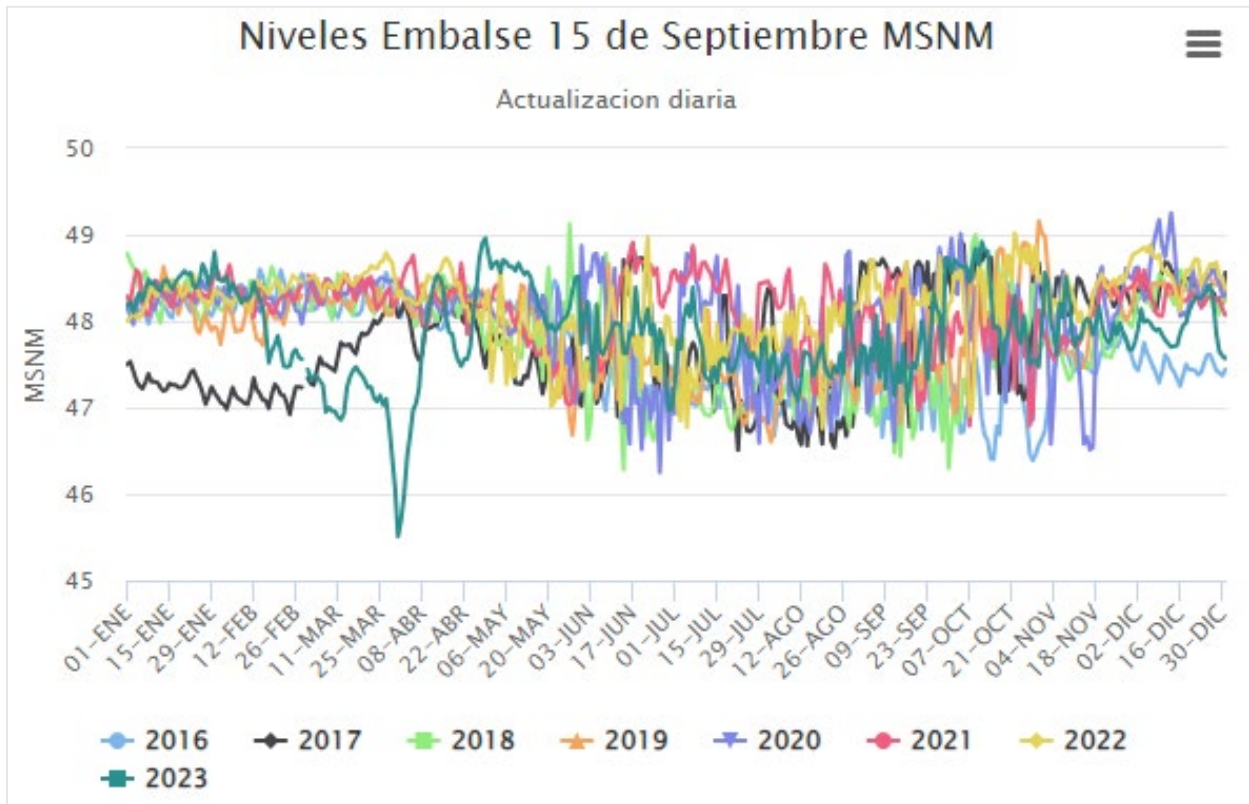


Ilustración 27 Registro de variación de nivel de agua en el embalse de la central hidroeléctrica CH-15 de septiembre. (Ref.: Grafico por DGEHM con información de UT).

De acuerdo con la información, la amplitud máxima está entre 46.5 y 49 m.s.n.m. según lo anterior, la diferencia de amplitud máxima de nivel es de 2.5 m.

2.7.1.2 Características técnicas de los equipos de la PFF

- Estructura Flotante

Con la información de la variación de altura, velocidad de las corrientes y oleaje en el nivel de agua del embalse, así como también las características de los equipos generadores en superficie, se procedió con la selección del tipo de flotador.

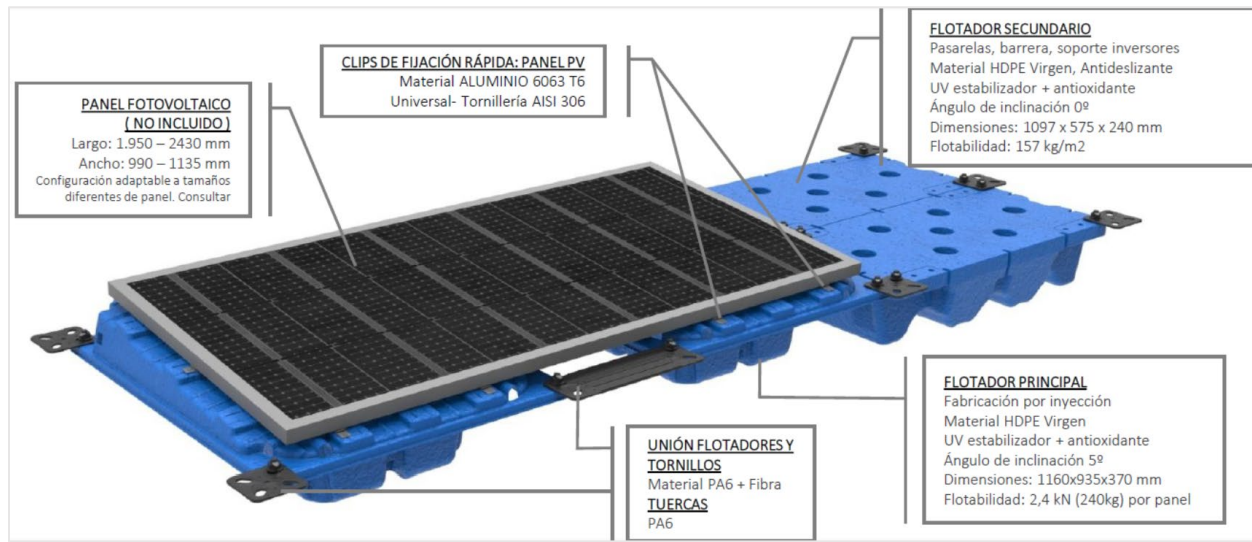


Ilustración 28 Característica técnicas de los flotadores (color azul) para soportar los módulos FV. (Ref.: Tecnología Isifloating de la empresa Isigenere).

Según lo anterior, el tipo de estructura flotante seleccionado tiene las características técnicas siguientes:

- Material HDPE con aditivos contra UV 100% reciclable.
- Espesor mínimo 2 mm.
- Vientos máximos de 180 km/h, oleaje de hasta 1 m, temperatura -20 a 60°C
- Alta adaptabilidad a las variaciones del nivel de agua
- Acceso Fácil y seguro para actividades de limpieza y mantenimiento
- No necesita herramientas especializadas para su instalación y limpieza
- Instalación de 1MWp en 15 días con un equipo de 5 técnicos
- Disponibilidad: 1 MWp en 5 días

Con base a una simulación realizada con el Software *HelioScope*, para una potencia de 5,250.0 MWe es necesaria un área de 52,500.0 m² (150x350 m) por cubrir con flotadores como los indicados en la ilustración 28. Dicha área de flotadores estará orientada hacia el sur con 5° de inclinación para los módulos.

- Módulos fotovoltaicos

La potencia de la planta (6,380.0 kWp) está compuesta por 10,374.0 módulos de 615 Wp, fabricados por Jinko Solar, modelo JKM615N-66HL4M-BDV. Las características técnicas son las que se muestran en la ilustración 29, en donde destaca su alta eficiencia y bajo peso por unidad de área.

- Inversores de DC a AC

Según cálculos realizados, la potencia AC de la central será de 5,250.0 MWe, para lo cual se instalarán un total de 30 inversores fabricados por ABB modelo PVS-175-TL con capacidad nominal de 175 kWe. Estos son equipos trifásicos con un amplio rango de voltaje DC de entrada y potencia de salida de hasta 188 kWe y entradas MPPT.

En cuanto a sus características generales destaca la doble capa de esmalte de sus conductores lo cual lo hace especial para ambientes de alta humedad como el marino.

Mechanical Characteristics	
Cell Type	N type Mono-crystalline
No. of cells	132 (2×66)
Dimensions	2382×1134×30mm (93.78×44.65×1.18 inch)
Weight	32.4 kg (71.43 lbs)
Front Glass	2.0mm, Anti-Reflection Coating
Back Glass	2.0mm, Heat Strengthened Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP68 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² (+): 400mm , (-): 200mm or Customized Length

Ilustración 29 Características técnicas de módulos FV para la planta PFF. (Ref.: Jinko Solar)



Ilustración 30 Inversor ABB PVS-175-TL para PFF. (Ref.: ABB)

En cuanto al cable y protecciones para fotovoltaico y de AC, éstas han sido seleccionadas para su uso en ambientes de alta humedad como el que se anticipa.

Según lo expuesto anteriormente, el esquema unifilar siguiente muestra, preliminarmente, la integración de todos los equipos de la PFF.

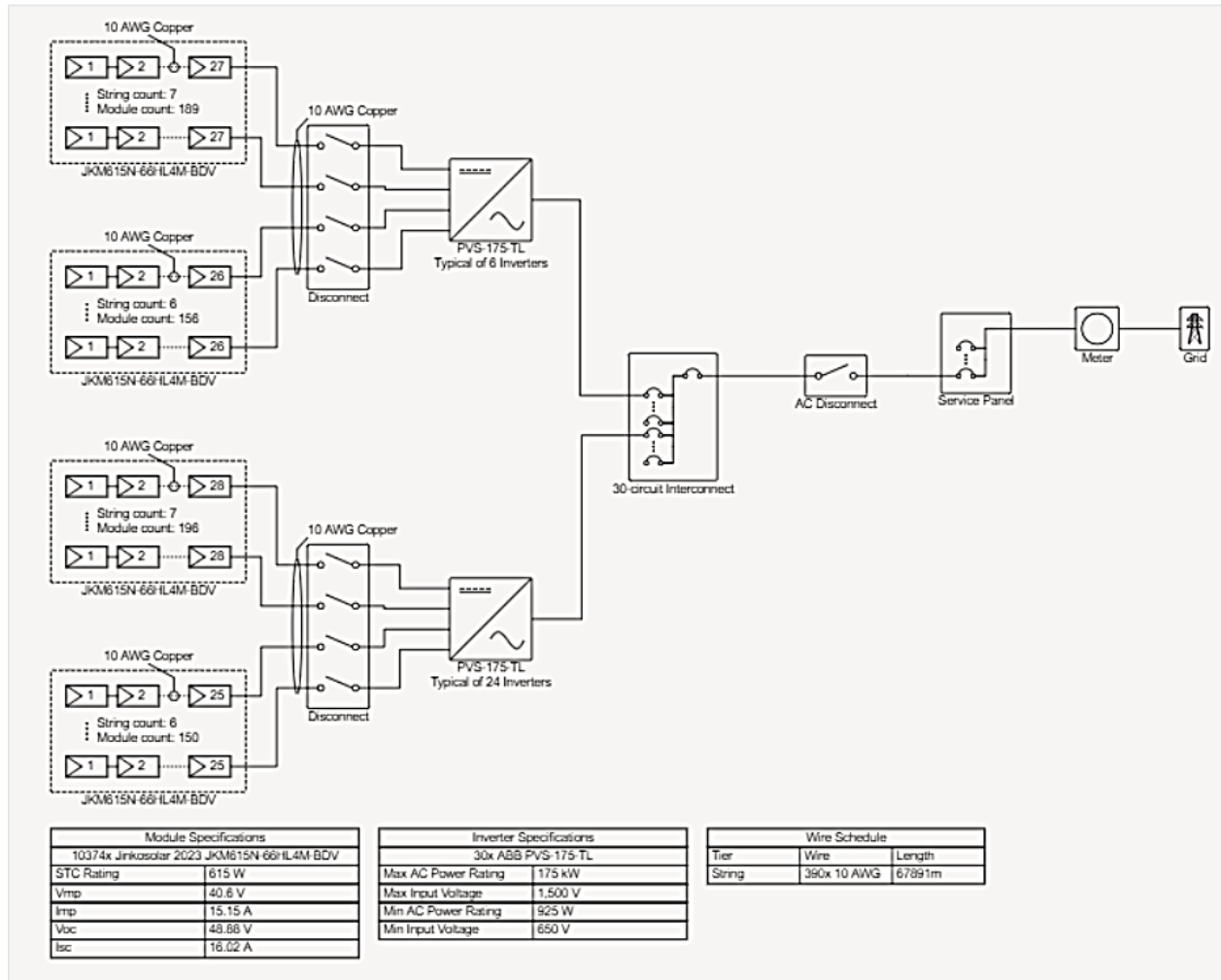


Ilustración 31 Diagrama eléctrico unifilar de la PFF de ~5.0 MWe. (Ref. Elaboración propia mediante HelioScope).

2.7.1.3 Estimación de la producción de energía de la PFF

De acuerdo con el resultado de la simulación, para que la planta tenga una potencia de salida de 5,250.0 kWe, es necesario instalar 6,380.0 kWp, con lo cual la relación DC/AC queda de 1.22.

Por lo tanto, los parámetros operativos de la planta quedan de la manera siguiente:

- Potencia DC: 6,380.0 kWp.
- Potencia AC: 5,250.0 kWe.
- Relación DC/AC: 1.22.
- Energía eléctrica anual generada: 10.55 GWh/año.
- Índice de producción: 1,653.1 kWh/kWp.
- PR de la instalación: 82.2 %.

En cuanto a los factores que afectan la producción, en la ilustración siguiente se muestra el detalle por cada uno y la incidencia respecto a la producción total de energía.

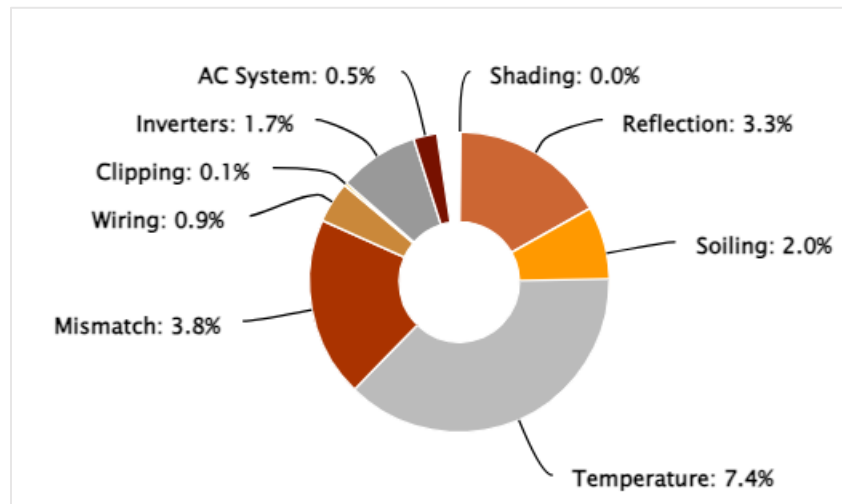


Ilustración 32 Factores que afectan la producción de energía. (Ref.: Elaboración propia mediante HelioScope)

2.8 Cálculo de indicadores de rentabilidad

EL presente ejemplo se concluye con un análisis de la rentabilidad del proyecto tomando en cuenta los indicadores siguientes:

- Valor Actual Neto (VAN),
- Tasa Interna de Retorno (TIR), y
- Periodo de Recuperación de la Inversión (PRI)

Para el análisis de cada uno de los indicadores antes citados, primero se formuló el proyecto en donde se tomó en cuenta los rubros principales de la inversión y las ganancias estimadas por venta de energía. Con base a la formulación se procedió con la evaluación del proyecto mediante la construcción de su respectivo flujo de caja, todo para un periodo de 20 años.

2.8.1 Presupuesto de la instalación

En la tabla siguiente se detalla el presupuesto estimado para montaje de la instalación utilizando como referencia los costos que determinó un estudio de la NREL en el año 2021.

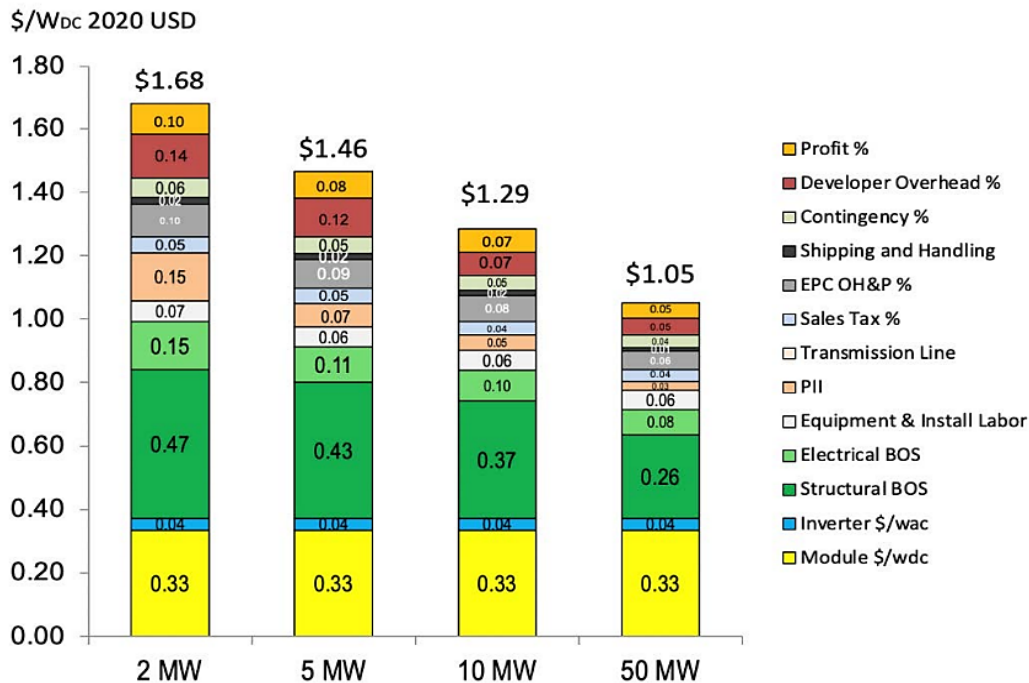


Ilustración 33: Floating Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2021 Installations on Artificial Water Bodies.

De la ilustración 33 se obtienen la siguiente estructura de costos unitarios:

- 1) Potencia instalada: 0.33 \$/Wp en módulos + 0.04 \$/Wp en inversores + 0.11 \$/Wp en instalación eléctrica.
- 2) Estructura flotante: 0.43 \$/Wp
- 3) Obra civil y montaje: 0.06 \$/Wp de equipo y labores de instalación.

Con respecto al costo de la red eléctrica, y O&M se obtuvo del Boletín Estadístico de IRENA 2023, con todo lo anterior, se hacen las estimaciones según se muestran en la tabla 24.

Tabla 24 Presupuesto por montaje de PFF. (Ref.: Elaboración propia)

Sistema	Cantidad	Costo unitario	Costo por partida [USD]
Pot. instalada	6,380,000.0 Wp	0.48\$/Wp	\$3,062,400.00
Flotadores	6,380,000.0 Wp	0.43\$/Wp	\$2,743,400.00
Obra civil y montaje	6,380,000.0 Wp	0.06\$/Wp	\$382,800.00
Red eléctrica 46 kV	4.0 km	\$450000/km	\$1,800,000.00
		Total	\$7,988,600
O&M	6,380.0 kWp	\$15.00/kWp	\$95,700.0

Según los montos, el costo de la planta es \$USD 7,988,600.0, lo que hace un costo específico de instalación de la planta es de \$USD 1.25/Wp.

Para el caso de la operación y mantenimiento, este tiene un costo estimado de \$USD 95,700.0 por año.

Para el caso de los ingresos, los parámetros para realizar la evaluación son los que listan a continuación

- Tasa de interés bancario: 3.0 %
- Aportación bancaria: 50 %
- Tasa mínimo aceptable de retorno (TMAR): 11 %
- Amortización del préstamo: 20 años
- Tasa de inflación: 2.0 %
- Depreciación lineal de activos: 20 años

Con los considerandos indicados, el resultado de VAN y TIR son presentados en la gráfica siguiente

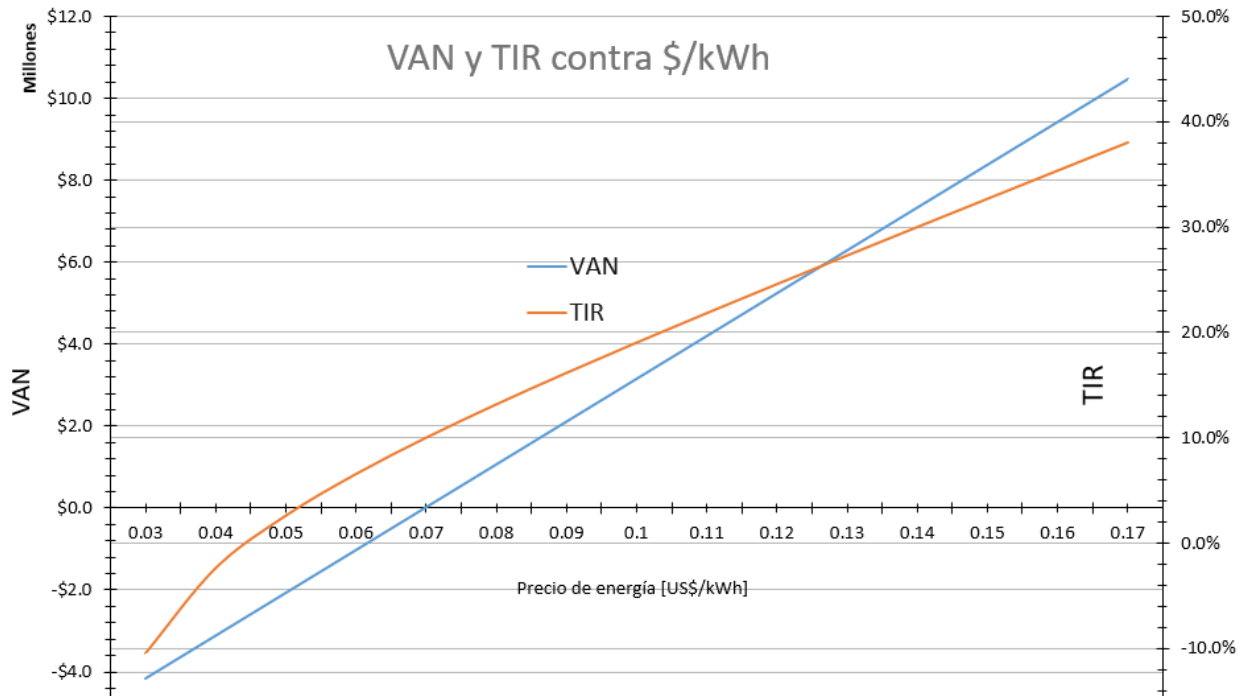


Ilustración 34 Gráfico de VAN y TIR del proyecto para diferentes valores de precio de venta de energía. (ref.: Elaboración propia).

Con base a la gráfica, el precio de venta mínimo a la que se puede vender la energía es \$USD 0.070/kWh ó \$USD 70/MWh. Por arriba de este valor, el proyecto muestra una rentabilidad aceptable dado que la TIR > TMAR

A \$USD 70/MWh, el PRI es igual a 8.5 años.

3. Conclusiones

1. Selección de cuerpos de agua:

- De las 20 opciones evaluadas mediante la metodología multicriterio, los embalses "5 de noviembre" y "15 de septiembre" resultaron ser las alternativas con mayor puntuación y de los que producen mayor energía, situándolos como las mejores opciones para instalar FPV.
- El lago de Ilopango es un cuerpo de agua no recomendado para instalación de FPV por su puntuación resultante de los criterios establecidos igual a cero.

2. Potencial energético:

- El potencial energético de la solar fotovoltaica flotante en un escenario del 5% del área de los 13 cuerpos de agua resultantes es igual a 563.09 GWh/año.
- 528.39 GWh/año es el potencial energético de la solar fotovoltaico flotante si se usará el 5% del área de los 3 cuerpos de agua con mayor producción de energía anual: Lago de Coatepeque, Embalse 5 de noviembre y Embalse 15 de septiembre. El área utilizada en total de 295.91 ha representaría un ahorro en uso de suelo firme utilizado para instalar solar fotovoltaica.
- Para el embalse 5 de noviembre, cuya área superficial es 996.93 Ha, de las cuales 49.85 ha representan el 5% de área a intervenir para el proyecto y utilizando una irradiación media de 6.30 kWh/m²/día, la potencia pico y energía producida es 52.33 MWp y 88.4 GWh/año, respectivamente.
- Para el embalse 15 de septiembre, cuya área superficial es 2,471.27 ha, de las cuales 123.56 ha representan el 5% de área a intervenir para el proyecto y utilizando una irradiación media de 6.35 kWh/m²/día, la potencia pico y energía producida es 129.74MWp y 221.3 GWh/año, respectivamente.

3. Comparación de áreas utilizadas:

Se realizaron cálculos basados en el uso del 5% y 10% del área disponible de cada cuerpo de agua. Por ejemplo:

- En el Lago de Coatepeque con un del área superficial de 2,450 ha, se estimó una producción de 218.68 GWh/año con el 5% del área y de 431.76 GWh/año si se utilizara el 10%.

- En la Laguna Apastepeque, utilizando el 5% del área se producirían 2.65 GWh/año, y con el 10%, la producción aumentaría a 5.30 GWh/año.
4. Comparativa de potenciales:
Como resultado de la investigación, se concluye que los sistemas flotantes debido al enfriamiento por evaporación del agua mejoran el rendimiento en promedio en 11%.
 5. La energía estimada producida utilizando el área total de suelo clase VIII (no apto para agricultura) 222,999 GWh/año.
 6. De acuerdo con el análisis económico presentado, para una planta de 5 MWe instalada en el embalse de la Central Hidroeléctrica 15 de septiembre, el precio de venta mínimo de la energía debe ser de \$70/MWh para que el proyecto sea rentable.
 7. El costo específico estimado de una planta fotovoltaica flotante de 5 MWe es 1.25 \$/Wp instalado.

Impacto en flora y fauna:

8. La implementación de las plantas fotovoltaicas flotantes en cuerpos de agua puede tener las siguientes afectaciones: las estructuras flotantes pueden servir de refugio de peces en etapas tempranas de su desarrollo, reducción de crecimiento de plantas acuáticas y algas por la reducción de la fotosíntesis, reducir el calentamiento del agua en la superficie acuática al bloquear la radiación solar.

4. Recomendaciones

1. Profundizar en el estudio del marco legislativo pertinente al uso de cuerpos de agua y su incidencia en la utilización para instalar en ellos estructuras fotovoltaicas flotantes.
2. Implementar una planta solar fotovoltaica con el objetivo experimental de estudiar la incidencia de esta en la vida acuática, considerando utilizar un 5% del área total del cuerpo de agua donde se instale, para lo cual deberá integrarse un equipo de investigación multidisciplinario.
3. Realizar el estudio de una planta solar fotovoltaica flotante instalada en un embalse de una central hidroeléctrica e identificar las ventajas que pudiera presentar el sistema híbrido con respecto a la gestión del recurso agua, factor de planta y otras variables.
4. Hacer un estudio detallado de las características pertinentes del suelo clasificado como clase VIII para identificar aquellas áreas idóneas para instalar módulos fotovoltaicos.

5. Bibliografía

- Cortez Méndez, Carlos Enrique. Menjívar Urquilla, Edgard Alexander. Padilla Marroquín, Lester Enrique. (noviembre 2014). Tesis Actualización del Mapa de Radiación Solar de El Salvador. Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- Departamento de Física, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. (San Salvador, 1987). Proyecto Especial de Solarimetría.
- Documental final del PGIRH (Producto n° 13, 04/2013), plan nacional de gestión integrada del recurso hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas prioritarias.
- IFC International finance corporation, word Bank Group. (2015). Utility-Scale solar Photovoltaic Power Plants. A Project Developer's Guide.
- Ing. Agr. Miguel A. Rico. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Boletín Técnico n° 36, 2ª. Edición. (septiembre 1970). Manual para interpretar el mapa de levantamiento general de suelos de el Salvador.
- Ing. MSc. Hernández, Miguel. (2016). Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de El Salvador. Foro Tecnologías de información y comunicación para la toma de decisiones en el sector agropecuario; Sistemas de Información Geográfica en El Salvador.
- IRENA (2020). Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency. Abu Dhabi.
- Jiménez, Ignacio. Sánchez, Lino. Gil, Mármol. Herrera Néstor. (2004). Inventario Nacional y Diagnostico de los Humedales de El Salvador.
- MARN. (2013.). Zonificación ambiental y usos de suelos de la Subregión Metropolitana de San Salvador (SRMSS).
- MARN. (abril 2013). Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con énfasis en zonas Prioritarias. Anexo 01 inventario de aguas superficiales y subterráneas.
- MARN. (agosto 2018). Inventario Nacional de Humedales, El Salvador,
- Matriz de Pugh para la toma de decisiones, Método de la matriz multicriterio, <https://www.laboratorioti.com/2021/09/27/matriz-de-pugh-como-tomar-una-decision-de-forma-objetiva/>

- Medrano Pérez, Ojilve Ramon. Carreras Cadena, Alejandra. Méndez López, Laura Patricia. (enero 2023). Potencial de Generación de la Tecnología Fotovoltaica flotante en México.
- Ministerio de agricultura y ganadería, dirección general de ordenamiento forestal, cuencas y riego; división de riego y drenaje, área de gestión y tecnología de riego (marzo 2012) clasificación de suelos por división política de El Salvador, CA”. Marzo 2012.
- Mohit Acharya, Sarvesh Devrai, Associate Fellow Renewable Energy Technologies, TERI. (2019). Floating Solar Photovoltaic (FSPV) A Third Pillar to Solar PV Sector? The Energy and Resources Institute.
- Natural Heritage Institute, San Francisco, California In association with the national University of Lao. (January 2018). Sustainable hydropower master plan for the xe kong basin in Lao PDR.
- Prinsloo, Frederik Christoffel. (August 2019). Development of A Gis-Based Decision support tool for environmental impact assessment and due-diligence analyses of planned agricultural floating solar systems.
- Proposed loan and administration of loans Da Nhim-Ham Thuan-Da Mi Hydro Power Joint Stock Company (August 2018), Floating solar Energy Project (Viet Nam).
- Solar Energy Research Institute of Singapore (SERIS), World Bank Group. (2018). Where Sun Meets Water, Floating Solar Market Report.
- Trapani, K.; Redón-Santafé, M. (2015). A review of floating photovoltaic installations: 2007.
- A Study on Power Generation Analysis of Floating PV System Considering Environmental Impact. Young-Kwan Choi. K-wáter (Korea Water Resources Corporation), Republic of Korea.
- Kristiaan Versteeg Project Manager and Hamed Roozdar Business Developer, Conference Floating Solar, SolarPlaza 2020 June.
- Experimental Study Of The Effect Of Floating Solar Panels On Reducing Evaporation in SINGAPORE RESERVOIRS GAIK KAI XIANG MELVIN DEPARTMENT OF CIVIL & ENVIRONMENTAL ENGINEERING NATIONAL UNIVERSITY OF SINGAPORE 2014.

- <https://www.pv-magazine-latam.com/2023/02/06/un-sistema-fotovoltaico-flotante-reduce-en-un-60-la-evaporacion-del-agua-en-un-embalse-brasileno/>
- <https://www.ambientum.com/ambientum/energia/plantas-fotovoltaicas-hacia-una-transicion-energetica-sostenible-que-garantice-la-conservacion-de-la-biodiversidad.asp>

6. Anexos

- Listado de áreas naturales protegidas.

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
 DIRECCIÓN GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
 GERENCIA DE ECOSISTEMAS
 ÁREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
 LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO ÁREA NATURAL PROTEGIDAS



LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO ÁREA NATURAL PROTEGIDA
 PERIODO DE 1996-2021
 FECHA DE ACTUALIZACIÓN: 31 DE MARZO DEL 2022

N.º	Nombre del ANP	Departamento	Municipio	Extensión (Ha)	Año de la Declaratoria	Origen
1	Santa Rita	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	233.009730	2007	Estatal
2	Las Colinas	Ahuachapán	Tacuba	35.334490	2007	Estatal
3	El Salto	Ahuachapán	Jujutla	39.134671	2008	Estatal
4	El Chino	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	24.357515	2008	Estatal
5	San Benito I	Ahuachapán	San Francisco Menéndez y Tacuba	1,142.116350	2010	Estatal
6	San Benito II	Ahuachapán	San Francisco Menéndez y Tacuba	1,142.116350	2010	Estatal
7	Cara Sucia	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	38.968965	2010	Estatal
8	El Imposible	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	396.567308	2010	Estatal
9	Hoja de Sal	Ahuachapán	Jujutla	87.315671	2011	Estatal
10	Tahuapa	Ahuachapán	Ahuachapán	15.627440	2011	Estatal
11	El Chino Porción Uno	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	301.482544	2011	Estatal
12	Los Laureles	Ahuachapán	Tacuba	59.407324	2012	Estatal
13	Las Mercedes	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	5.600000	2015	Estatal
14	Mashtapula	Ahuachapán	Tacuba	5.600000	2015	Estatal
15	San Antonio y El Golondrinal	Ahuachapán	Tacuba	5.600000	2015	Estatal
16	El Escondido	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	45.278507	2016	Estatal
17	La Esperanza	Ahuachapán	Tacuba	65.120088	2016	Estatal
18	Lote 9 Zona Dos	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	10.448121	2016	Estatal
19	Los Encuentros	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	6.988870	2016	Estatal
20	Atehuesian	Ahuachapán	Ahuachapán	85.651415	2017	Estatal
21	El Chino Dación	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	85.441711	2017	Estatal
22	La Labor	Ahuachapán	Ahuachapán	27.052843	2017	Estatal
23	El Corozo	Ahuachapán	Tacuba	121.491473	2019	Estatal
24	Cara Sucia -El Imposible-1	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	2.450000	2019	Estatal

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCION GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
GERENCIA DE ECOSISTEMAS
AREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO AREA NATURAL PROTEGIDAS



25	Cara Sucia- El Imposible-2	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	28.000000	2019	Estatal
26	Lotes Los Encuentros	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	26.600000	2019	Estatal
27	San Benito Cara Sucia 1	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	20.966880	2019	Estatal
28	San Benito Cara Sucia 2	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	6.988900	2019	Estatal
29	San Benito Cara Sucia 3	Ahuachapán	San Francisco Menéndez	9.936400	2019	Estatal
30	San Blas o Las Brumas	Santa Ana	Santa Ana	457.452560	2007	Estatal
31	Paraje Galán	Santa Ana	Candelaria de La Frontera	24.350636	2007	Estatal
32	Montecristo	Santa Ana	Metapán	1,973.465000	2008	Estatal
33	San Diego y San Felipe Las Barras	Santa Ana	Metapán	1,866.554628	2009	Estatal
34	La Montañita	Santa Ana	Metapán	42.246256	2010	Estatal
35	San Jerónimo	Santa Ana	Candelaria de La Frontera	36.707641	2013	Estatal
36	La Magdalena	Santa Ana	Chalchuapa	812.414222	2014	Estatal
37	La Criba	Santa Ana	Candelaria de la Frontera	25.859659	2015	Estatal
38	Chaparrón o San Cayetano	Santa Ana	Santa Ana	127.364751	2015	Estatal
39	Montecristo- Los Limas	Santa Ana	Metapán	14.000000	2019	Estatal
40	San Francisco El Triunfo	Sonsonate	Juayúa	23.320936	2007	Estatal
41	Santa Marta Las Trincheras	Sonsonate	Izalco y San Julián	100.011342	2007	Estatal
42	Complejo Los Cobanos: Santa Águeda o El Zope, bosque salado y porción marina	Sonsonate	Acajutla y Sonsonate	21,312.914692	2007	Marina
43	Las Victorias	Sonsonate	Caluco	184.034933	2008	Estatal
44	San José Miramar	Sonsonate	Nahuizalco	57.098250	2008	Estatal
45	San Rafael Los Naranjos o Cerro El Águila	Sonsonate	Juayúa	33.349065	2008	Estatal
46	Volcán de Izalco	Sonsonate	Izalco	1,526.407840	2008	Estatal

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCIÓN GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
GERENCIA DE ECOSISTEMAS
ÁREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO ÁREA NATURAL PROTEGIDAS



47	San Isidro	Sonsonate	Izalco	393.822480	2008	Estatal
48	Los Lagartos	Sonsonate	Izalco y San Julian	113.773560	2009	Estatal
49	Chiquileca	Sonsonate	Santa Isabel Ishuatán	147.04550	2010	Estatal
50	El Carmen Bosque Nueve	Sonsonate	Caluco	7.099497	2012	Estatal
51	Bosque San Eugenio y La Concordia	Sonsonate	Armenia	73.902172	2015	Municipal
52	El Saucito	Sonsonate	Armenia	7.224192	2015	Estatal
53	La Chapina Cerro	Sonsonate	Izalco	18.876682	2017	Estatal
54	Buenos Aires	Sonsonate	Juayua	81.611721	2017	Estatal
55	Acaxual	Sonsonate	Acajutla	24.461866	2017	Municipal
56	Chanmico	La Libertad	San Juan Opico	455.832099	2007	Estatal
57	Colombia	La Libertad	Quezaltepeque	181.88592	2007	Estatal
58	La Isla	La Libertad	San Juan Opico	51.974353	2007	Estatal
59	El Jabalí	La Libertad	San Juan Opico	49.807780	2007	Estatal
60	Las Granadillas	La Libertad	San Juan Opico	26.635688	2007	Estatal
61	San Lorenzo	La Libertad	San Matías y Quezaltepeque	104.636250	2007	Estatal
62	San Andrés	La Libertad	San Juan Opico	83.867963	2007	Estatal
63	San Juan Buenavista	La Libertad	La Libertad	193.035471	2007	Estatal
64	Comaesland	La Libertad	Teotepeque y Jicalapa	63.158800	2007	Estatal
65	Cráter del Volcán de San Salvador	La Libertad	Santa Tecla, Colón, San Juan Opico y Quezaltepeque	205.128443	2008	Estatal
66	Los Abriles	La Libertad	Quezaltepeque	233.256851	2009	Estatal
67	Catorce de Marzo	La Libertad	Quezaltepeque	42.826863	2009	Estatal
68	El Espino Bosque Los Pericos	La Libertad	San Salvador y Antiguo Cuscatlán (propiedad municipal)	89.094000	2009	Municipal
69	Talcualhuya	La Libertad	San Juan Opico y San Matías	628.957246	2016	Estatal
70	Walter Thilo Deininger	La Libertad	San José Villanueva y La Libertad	732.957600	2020	De Entidad Autónoma
71	Secundino Mata Reyes	Chalatenango	San Ignacio	7.339200	2013	Privada

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCION GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
GERENCIA DE ECOSISTEMAS
AREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO AREA NATURAL PROTEGIDAS



72	Juan Miguel Posada Guevara	Chalatenango	San Ignacio	4.192007	2013	Privada
73	Finca Los Encinos -Rosa Amelia Rivera de Vásquez	Chalatenango	San Ignacio	3.300081	2013	Privada
74	Cerro Negro -María Antonia Arriaga	Chalatenango	La Palma	42.000000	2013	Privada
75	Vicente Romero Gutiérrez	Chalatenango	San Ignacio	7.700000	2013	Privada
76	Quebrada Aguas Arriba - Nelson Antonio Guillén Huevo	Chalatenango	San Ignacio	8.906115	2013	Privada
77	El Botoncillo - Oscar Alnoldo Vásquez Huevo	Chalatenango	San Ignacio	8.351250	2013	Privada
78	Amayo y Santa Barbera	Chalatenango	El Paraiso	172.833710	2016	Estatal
79	Finca Santa Marta	Chalatenango	El Carrizal	22.970070	2019	Privada
80	Colima	Cuscatlan	Suchitoto	651.466676	2007	Estatal
81	Colimita	Cuscatlan	Suchitoto	1.915529	2007	Estatal
82	Santa María	San Salvador	Mejicanos	71.616751	2009	Estatal
83	El Mirador	San Salvador	Mejicanos	11.889580	2009	Estatal
84	Las Mercedes	San Salvador	Apopa	24.383817	2009	Estatal
85	San Francisco Dos Cerros	San Salvador	El Paisnal	65.696273	2014	Estatal
86	Piedras Tontas	San Salvador	El Paisnal	200.842122	2017	Estatal
87	Chantecuan	San Salvador	Soyapango	33.988700	2018	Municipal
88	El Astillero	La Paz	Zacatecoluca	253.488050	2007	Estatal
89	Santa Clara	La Paz	San Luis Talpa	602.207655	2008	Estatal
90	San Cristobal Bosque Dulce	La Paz	Santiago Nonualco	8.224500	2015	Privada
91	Nahualapa	La Paz	El rosario	76.205664	2017	Estatal
92	Isla Tasajera	La Paz	Zacatecoluca	401.606080	2018	Estatal

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCION GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
GERENCIA DE ECOSISTEMAS
AREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO AREA NATURAL PROTEGIDAS



93	Copinolapa	Cabañas	Victoria	44.889444	2012	Estatal
94	Mango Niño de Cinquera (Propiedad Privada)	Cabañas	Cinquera	3.775241	2014	Privada
95	El Mirador (Propiedad Privada)	Cabañas	Cinquera	3.355910	2014	Privada
96	El Polvorín (Propiedad Privada)	Cabañas	Cinquera	3.928702	2014	Privada
97	Peñón del Zapote (Propiedad Privada)	Cabañas	Cinquera	4.823702	2014	Privada
98	Entre Punto Cincuenta y Torre de Control (Propiedad Privada)	Cabañas	Cinquera	2.527015	2014	Privada
99	Tanchecuan	Cabañas	Victoria	122.802800	2015	Estatal
100	Cerro Grande	Cabañas	Sensuntepeque	59.213834	2017	Estatal
101	Tehuacán	San Vicente	Tecoluca	70.061293	2008	Estatal
102	San Francisco Block 8	San Vicente	San Vicente	69.867109	2015	Estatal
103	San Pablo Cañales	San Vicente	San Ildefonso	125.996779	2017	Estatal
104	Nuevo Oriente	San Vicente	Verapaz	90.327838	2019	Estatal
105	Isla San Sebastián	Usulután	Jiquilisco	161.945100	2007	Estatal
106	Chaparrón o Chaquantique	Usulután	Puerto El Triunfo	53.803338	2008	Estatal
107	Nancuchiname La Maroma	Usulután	Jiquilisco	177.298501	2008	Estatal
108	Nancuchiname Mata de Piña	Usulután	Jiquilisco	275.914678	2008	Estatal
109	Nancuchiname Porción Seis	Usulután	Jiquilisco	177.228833	2008	Estatal
110	Nancuchiname Porción Cinco	Usulután	Jiquilisco	182.068790	2009	Estatal
111	El Caballito	Usulután	Jucuarán	205.531886	2010	Estatal
112	Las Nieves Porción 2-1	Usulután	Ozatlán	93.082352	2013	Estatal
113	El Tecomatal	Usulután	Estanzuelas	127.320347	2014	Estatal

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCION GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
GERENCIA DE ECOSISTEMAS
AREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO AREA NATURAL PROTEGIDAS



114	El Tamarindo	Usulután	Estanzuelas	19.474047	2014	Estatal
115	Nancuchiname R1 y 2	Usulután	Jiquilisco	42.272710	2016	Estatal
116	Nancuchiname Porción Mata de Piña L-2-B	Usulután	Jiquilisco	19.733218	2016	Estatal
117	Santa Marta El Marillo	Usulután	Jiquilisco	38.703860	2017	Estatal
118	Isla El Arco Uno	Usulután	Jucuarán	0.346025	2017	Estatal
119	Isla El Arco Dos	Usulután	Jucuarán	1.261273	2017	Estatal
120	Isla El Arco Tres	Usulután	Jucuarán	0.240036	2017	Estatal
121	Isla El Arco Cuatro	Usulután	Jucuarán	0.070455	2017	Estatal
122	Isla El Espino Uno	Usulután	Jucuarán	0.368829	2017	Estatal
123	Isla El Espino Dos	Usulután	Jucuarán	0.323729	2017	Estatal
124	Isla El Espino Tres	Usulután	Jucuarán	0.068144	2017	Estatal
125	Isla El Espino Cuatro	Usulután	Jucuarán	1.527488	2017	Estatal
126	Isla El Cementerio Uno	Usulután	Jiquilisco	0.018578	2017	Estatal
127	Isla El Cementerio Dos	Usulután	Jiquilisco	0.069371	2017	Estatal
128	Isla El Cartón	Usulután	Jiquilisco	13.958218	2017	Estatal
129	Isla Punta El Limón	Usulután	Jiquilisco	1.070765	2017	Estatal
130	Isla El Guayabo	Usulután	Jiquilisco	0.520930	2017	Estatal
131	Isla Puerto San Juan	Usulután	Jiquilisco	21.184543	2017	Estatal
132	Isla El Magueyal	Usulután	Jiquilisco	14.543865	2017	Estatal
133	Isla del Limón Uno	Usulután	Jiquilisco	33.369574	2017	Estatal
134	Isla del Limón Dos	Usulután	Jiquilisco	1.352766	2017	Estatal
135	Isla Punta El Limón Dos	Usulután	Jiquilisco	0.123170	2017	Estatal
136	Isla El Cocodrilo Uno	Usulután	Jiquilisco	39.217215	2017	Estatal
137	Isla El Cocodrilo Dos	Usulután	Jiquilisco	0.768414	2017	Estatal

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
DIRECCION GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
GERENCIA DE ECOSISTEMAS
AREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO AREA NATURAL PROTEGIDAS



138	Isla Bola de Monte Uno	Usulután	Jiquilisco	47.323211	2017	Estatal
139	Isla Bola de Monte Dos	Usulután	Jiquilisco	0.852287	2017	Estatal
140	Isla Bola de Monte o del Guayabo 1	Usulután	Jiquilisco	45.891625	2017	Estatal
141	Isla Bola de Monte o del Guayabo 2	Usulután	Jiquilisco	2.627839	2017	Estatal
142	Isla Pajarera o Palacio de Las Aves 1	Usulután	Jiquilisco	5.302991	2017	Estatal
143	Isla Pajarera o Palacio de Las Aves 2	Usulután	Jiquilisco	0.468002	2017	Estatal
144	Isla La Majada	Usulután	Puerto El Triunfo	14.623925	2017	Estatal
145	Isla Los Pajaritos Uno	Usulután	Puerto El Triunfo	7.965991	2017	Estatal
146	Isla Los Pajaritos Dos	Usulután	Puerto El Triunfo	0.121548	2017	Estatal
147	Isla Vuelta de Gato	Usulután	San Dionisio	0.652925	2017	Estatal
148	Isla Punta El Recodo	Usulután	San Dionisio	1.365161	2017	Estatal
149	Isla Punta La Chepona	Usulután	San Dionisio	0.395658	2017	Estatal
150	Isla El Astillero	Usulután	San Dionisio	0.060250	2017	Estatal
151	Isla Punta Bajo del Astillero	Usulután	San Dionisio	0.586106	2017	Estatal
152	Isla El Guarumal	Usulután	San Dionisio	0.450509	2017	Estatal
153	Isla Samuria Tres	Usulután	San Dionisio	0.020332	2017	Estatal
154	Isla Samuria Dos	Usulután	San Dionisio	0.193617	2017	Estatal
155	Isla Santa Rita Uno	Usulután	Usulután	20.148377	2017	Estatal
156	Isla Santa Rita Dos	Usulután	Usulután	2.864578	2017	Estatal
157	Isla El Botoncillo	Usulután	Usulután	157.374695	2017	Estatal
158	Isla Monte Redondo	Usulután	Jiquilisco	20.930989	2017	Estatal
159	Isla Tortuga	Usulután	Puerto El Triunfo	442.657868	2017	Estatal
160	Isla San Dionisio	Usulután	San Dionisio	814.431769	2017	Estatal
161	Complejo Marino Costero Isla	Usulután	Jiquilisco, San Dionisio, Puerto El Triunfo, Usulután y Jucuarán	19,760.184259		

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
 DIRECCION GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
 GERENCIA DE ECOSISTEMAS
 AREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
 LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO AREA NATURAL PROTEGIDAS



	San Sebastián - Jiquilisco					
162	Laguna El Jocotal	San Miguel	San Miguel	1,571.891917	1996	Estatal
163	El Triunfo Paso Las Iguanas	San Miguel	Chirilagua	8.736372	2010	Estatal
164	San Antonio Porción La Pupusa	San Miguel	San Miguel	8.188253	2010	Estatal
165	Hacienda Casamota y La Pezota	San Miguel	San Miguel	195.597330	2011	Estatal
166	San Antonio Silva	San Miguel	San Miguel	34.246575	2011	Estatal
167	La Ortega.	San Miguel	Chinameca	21.450539	2012	Estatal
168	San Juan Mercedes Silva	San Miguel	San Miguel	47.824103	2012	Estatal
169	La Morita	San Miguel	San Miguel	144.493100	2017	Estatal
170	La Ermita	Morazán	Joateca/Arambala	169.872928	2010	Estatal
171	San Carlos	Morazán	Oscala/Yamabal/Chilanga	120.494403	2014	Estatal
172	El Faro Yologual	La Unión	Conchagua	205.693990	2007	Estatal
173	Suravaya	La Unión	Conchagua	256.677700	2007	Estatal
174	Maquigue 3	La Unión	Conchagua	187.349010	2007	Estatal
175	El Faro Yologual-Dación en pago	La Unión	Conchagua	77.926907	2008	Estatal
176	El Retiro	La Unión	Conchagua	72.688609	2010	Estatal
177	San Lucas o Palo Galán	La Unión	Yucuaiquín	59.612474	2010	Estatal
178	El Socorro	La Unión	Yayantique	575.947592	2011	Estatal
179	Santa Elena	La Unión	Yayantique	46.640993	2015	Estatal
180	Isla Perico	La Unión	La Unión	130.285960	2019	Estatal
181	Tierra Blanca e Isla Olomeguita	San Miguel	Chirilagua	79.779935	2021	Estatal
182	Bosque Salado 1	La Unión	San Alejo	597.372703	2021	Estatal (Manglar)
183	Bosque Salado 2	La Unión	San Alejo	311.51263	2021	Estatal (Manglar)

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
 DIRECCION GENERAL DE ECOSISTEMAS Y BIODIVERSIDAD
 GERENCIA DE ECOSISTEMAS
 AREA DE DEFENSA DEL PATRIMONIO NATURAL
 LISTADO DE INMUEBLES DECLARADOS COMO AREA NATURAL PROTEGIDAS



184	Bosque Salado 3	La Unión	San Alejo	1756.319648	2021	Estatal (Manglar)
185	Espejo de Agua Laguna de Olomega	San Miguel	Chirilagua y San Miguel	2685.818715	2021	Estatal
TOTAL ANP TERRESTRES Y MARINAS				72,407.488070		

- Embalse 5 de noviembre, cálculo del potencial con el 5% del área.

6/3/24, 9:54 PM



Cálculo: Las predicciones de rendimiento de sistemas fotovoltaicos que calcula PVWatts® incluyen muchas suposiciones e incertidumbres inherentes y no reflejan las variaciones entre tecnologías PV ni características específicas de los sitios, con excepción de las que representan los datos de entrada de PVWatts®. Por ejemplo, PVWatts® no diferencia los módulos PV de mejor rendimiento de los de rendimiento más bajo. Both NREL and private companies provide more sophisticated PV modeling tools (such as the System Advisor Model at //sam.nrel.gov) that allow for more precise and complex modeling of PV systems.

El rango esperado se basa en 30 años de datos meteorológicos reales de la ubicación dada y su fiabilidad se proporciona un índice de la variación que podrá haber. Encuentra más información en este informe del NREL: The Error Report (El informe de errores).

Aviso legal: El modelo PVWatts® (el Modelo) es proporcionado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), el cual dirige Alliance for Sustainable Energy, LLC (Alliance) para el Departamento de Energía de EE. UU. (DOE), y puede utilizarse con cualquier propósito.

Los nombres DOE/NREL/Alliance no deben usarse en ninguna declaración, promoción, publicidad o de otro manera que se le entienda que patrocinan o promuevan a entidad alguna que adopte o utilice el Modelo. DOE/NREL/Alliance no brindarán ningún tipo de apoyo, asesoramiento, capacitación o asistencia respecto del uso del Modelo o cualquiera de sus actualizaciones, revisiones o nuevas versiones.

LEEDO ACEPTA INDICAR A DOE/NREL/ALLIANCE Y SUS ORGANISMOS RELACIONADOS, FUNCIONARIOS, AGENTES Y EMPLEADOS ANTE TODO RECLAMO O DEMANDA, INCLUIDOS HOMONAJES RAZONABLES DE ABOGADOS, RELACIONADOS CON SU USO, ADOCIÓN O DEPENDENCIA DEL MODELO PARA CUALQUIER PROPÓSITO. DOE/NREL/ALLIANCE PROPORCIONAN EL MODELO "EN SU FORMA ACTUAL", Y POR LA PRESENTE SE RESERVA TODA GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA, INCLUIDAS, ENTRE OTRAS, LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS DE COMERCIABILIDAD E IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO EN PARTICULAR. DOE/NREL/ALLIANCE NO SERÁN RESPONSABLES EN NINGÚN CASO DE NINGÚN DAÑO ESPECIAL, INDIRECTO, CONSECUCIONAL O DE CUALQUIER OTRO TIPO, INCLUIDOS, SIN CARÁCTER EXHAUSTIVO, RECLAMOS ASOCIADOS CON LA PÉRDIDA DE DATOS O EL LUCRO CESANTE, QUE PUEDAN RESULTAR DE CUALQUIER ACCIÓN CONTRACTUAL, NEGLIGENCIA U OTRO RECLAMO EXTRACONTRACTUAL QUE SURGA DEL USO O DESEMPEÑO DEL MODELO O EN RELACIÓN CON DICHO USO O DESEMPEÑO.

El rango de producción eléctrica se basa en el análisis de 30 años de datos meteorológicos históricos de un sitio cercano, y su fiabilidad se proporciona un índice de la posible variación interanual en la generación de un sistema FV (de bastidor abierto) fijo situado en esa ubicación.

<https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>

Calculadora PVWatts

RESULTADOS

126,277,957 kWh/año*

Mes	Radiación solar (kWh / m ² / día)	Energía de corriente alterna (kWh)
Enero	6.60	11,427,060
Febrero	6.97	10,622,952
Marzo	7.23	12,011,820
Abril	6.75	10,885,062
Mayo	5.88	9,889,808
Jun	5.65	9,283,268
Jul	5.89	10,000,055
Agosto	6.03	10,226,493
Septiembre	5.77	9,503,366
Octubre	5.86	10,071,989
Noviembre	6.50	11,003,199
Diciembre	6.46	11,352,884
Annual	6.30	126,277,956

Comentarios del usuario

Embalse 5 de Noviembre 5% área

Ubicación e identificación de la estación

Ubicación solicitada	13.98177, -88.77634
Fuente de datos meteorológicos	Lat., long.: 14.01, -88.78 0.5 mi
Latitud	14.01° N
Longitud	88.78° W

Especificaciones del sistema FV

Tamaño del sistema en CC	74758.9 kW
Tipo de módulo	Estándar
Tipo de campo	Fijo (bastidor abierto)
Pérdidas del sistema	14.08%
Inclinación del campo	13°
Acimut del campo	180°
Relación de tamaño de CC a CA	1.2
Eficiencia del Inversor	96%
Tasa de cobertura del terreno	0.4
Albedo	From weather file
Bifacial	No (0)
Pérdida de irradiación mensual	Ene Feb Marzo Abr Mayo Jun

1/2

- Embalse 15 de septiembre, cálculo del potencial con el 5% del área.



Cuidado: Las predicciones de rendimiento de sistemas fotovoltaicos que calcula PWSWatts® incluyen muchas suposiciones e incertidumbres intrínsecas y no reflejan las variaciones entre tecnologías. PV ni características específicas de los sitios, con excepción de las que representan los datos de entrada de PWSWatts®. Por ejemplo, PWSWatts® no diferencia los módulos PV de mejor rendimiento de los de rendimiento más bajo. Both NREL and private companies provide more sophisticated PV modeling tools (such as the System Advisor Model at [/sam.nrel.gov](http://sam.nrel.gov)) that allow for more precise and complex modeling of PV systems.

El rango esperado se basa en 30 años de datos meteorológicos reales de la ubicación dada y su fiabilidad se proporciona un índice de la variación que podría haber. Encuentra más información en este informe de error de NREL: The Error Report (El informe de error).

Aviso legal: El modelo PWSWatts® (el Modelo) es proporcionado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), al cual dirige Alianza for Sustainable Energy, LLC (Alianza) para el Departamento de Energía de EE. UU. (DOE), y puede utilizarse con cualquier propósito.

Los nombres DOE/NREL/Alianza no deben usarse en ninguna declaración, promoción, publicidad o de otra manera que dé a entender que patrocinan o promocionan a entidad alguna que adopte o utilice el Modelo. DOE/NREL/Alianza no brindarán ningún tipo de apoyo, asesoramiento, capacitación o asistencia respecto del uso del Modelo o cualquiera de sus actualizaciones, revisiones o nuevas versiones.

USTED ACEPTA INDICAR A DOE/NREL/Alianza Y SUS ORGANISMOS RELACIONADOS, FUNCIONARIOS, AGENTES Y EMPLEADOS ANTE TODO RECLAMO O DEMANDA, INCLUIDOS HONORARIOS RAZONABLES DE ABOGADOS, RELACIONADOS CON SU USO, ADOPCIÓN O DEPENDENCIA DEL MODELO PARA CUALQUIER PROPÓSITO. DOE/NREL/Alianza PROPORCIONAN EL MODELO "EN SU FORMA ACTUAL", Y POR LA PRESENTE SE RECHAZA TODA GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA, INCLUIDAS, ENTRE OTRAS, LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS DE COMERCIABILIDAD E IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO EN PARTICULAR. DOE/NREL/Alianza NO SERÁN RESPONSABLES EN NINGÚN CASO DE NINGÚN DAÑO ESPECIAL, INDIRECTO, CONSECUENCIAL O DE CUALQUIER OTRO TIPO, INCLUIDOS, SIN CARÁCTER EXHAUSTIVO, RECLAMOS ASOCIADOS CON LA PÉRDIDA DE DATOS O EL LUCRO CESANTE QUE PUEDAN RESULTAR DE CUALQUIER ACCIÓN CONTRACTUAL, NEGLIGENCIA U OTRO RECLAMO EXTRACONTRACTUAL QUE SURCA DEL USO O DESEMPEÑO DEL MODELO, O EN RELACIÓN CON DICHO USO O DESEMPEÑO.

El rango de producción eléctrica se basa en el análisis de 30 años de datos meteorológicos históricos de un sitio cercano, y su fiabilidad se proporciona un índice de la posible variación interanual en la generación de un sistema PV (de bastidor abierto) tipo situado en esa ubicación.

RESULTADOS

316,156,878 kWh/año*

Mes	Radiación solar (kWh / m ² / día)	Energía de corriente alterna (kWh)
Enero	6.75	28,636,352
Febrero	7.13	27,343,227
Marzo	7.20	30,051,893
Abril	6.66	26,976,361
Mayo	5.68	24,002,622
Jun	5.63	23,024,781
Jul	6.09	25,684,808
Agosto	6.17	25,950,934
Septiembre	5.89	23,999,731
Octubre	6.21	26,333,662
Noviembre	6.31	26,283,848
Diciembre	6.47	27,868,660
Annual	6.35	316,156,879

Comentarios del usuario

Embalse 15 de Septiembre 5% área

Ubicación e identificación de la estación

Ubicación solicitada	13.623308529070338, -88.55933289223661		
Fuente de datos meteorológicos	Lat, Lng:	13.61, -88.58	1.7 mi
Latitud	13.61° N		
Longitud	88.58° W		

Especificaciones del sistema FV

Tamaño del sistema en CC	185343.8 KW
Tipo de módulo	Estándar
Tipo de campo	Fijo (bastidor abierto)
Pérdidas del sistema	14.08%
Inclinación del campo	13°
Acimut del campo	180°
Relación de tamaño de CC a CA	1.2
Eficiencia del inversor	96%
Tasa de cobertura del terreno	0.4
Albedo	From weather file
Bifacial	No (0)
Pérdida de irradiación mensual	Ene Feb Marzo Abr Mayo Jun

- Lago de Coatepeque, cálculo del potencial con el 5% del área.

5/30/24, 10:18 AM



Cuidado: Las predicciones de rendimiento de sistemas fotovoltaicos que calcula PWSatts® incluyen muchas suposiciones e incertidumbres intrínsecas y no reflejan las variaciones entre tecnologías PV ni características específicas de los sitios, con excepción de las que representan los datos de entrada de PWSatts®. Por ejemplo, PWSatts® no diferencia los módulos PV de mayor rendimiento de los de menor rendimiento más bajo. Both NREL and private companies provide more sophisticated PV modeling tools (such as the System Advisor Model at [/sam.nrel.gov](http://sam.nrel.gov)) that allow for more precise and complex modeling of PV systems.

El rango esperado se basa en 30 años de datos meteorológicos reales de la ubicación dada y su finalidad es proporcionar un indicio de la variación que podrá haber. Encuentra más información en este informe del NREL: The Error Report (El Informe de errores).

Aviso legal: El modelo PWSatts® (el Modelo) es proporcionado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL), el cual dirige Alliance for Sustainable Energy, LLC (Alliance) para el Departamento de Energía de EE. UU. (DOE), y puede utilizarse con cualquier propósito.

Los nombres DOE/NREL/Alliance no deben usarse en ninguna declaración, promoción, publicidad o de otra manera que dé a entender que patrocinan o promuevan a una entidad alguna que adopte o utilice el Modelo. DOE/NREL/Alliance no brindarán ningún tipo de apoyo, asesoramiento, capacitación o asistencia respecto del uso del Modelo o cualquiera de sus actualizaciones, revisiones o nuevas versiones.

LISTED ACEPTA INDICAR A DOE/NREL/ALLIANCE Y SUS ORGANISMOS RELACIONADOS, FUNCIONARIOS, AGENTES Y EMPLEADOS ANTE TODO RECLAMO O DEMANDA, INCLUIDOS HONORARIOS RAZONABLES DE ABOGADOS, RELACIONADOS CON SU USO, ADOPCIÓN O DEPENDENCIA DEL MODELO PARA CUALQUIER PROPÓSITO. DOE/NREL/ALLIANCE PROPORCIONAN EL MODELO "EN SU FORMA ACTUAL", Y POR LA PRESENTE SE RECHAZA TODA GARANTÍA EXPRESA O IMPLÍCITA, INCLUIDAS, ENTRE OTRAS, LAS GARANTÍAS IMPLÍCITAS DE COMERCIABILIDAD E IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO EN PARTICULAR. DOE/NREL/ALLIANCE NO SERÁN RESPONSABLES EN NINGÚN CASO DE NINGÚN DAÑO ESPECIAL, INDIRECTO, CONSECUENCIAL O DE CUALQUIER OTRO TIPO, INCLUIDOS, SIN CARÁCTER EXHAUSTIVO, RECLAMOS ASOCIADOS CON LA PÉRDIDA DE DATOS O EL LUCRO CESANTE, QUE PUEDAN RESULTAR DE CUALQUIER ACCIÓN CONTRACTUAL, NEGLIGENCIA U OTRO RECLAMO EXTRA CONTRACTUAL QUE SURJA DEL USO O DISEÑO DEL MODELO, O EN RELACIÓN CON DICHO USO O DISEÑO.

El rango de producción eléctrica se basa en el análisis de 30 años de datos meteorológicos históricos de un sitio cercano, y su finalidad es proporcionar un indicio de la posible variación interanual en la generación de un sistema PV (de bastidor abierto) fijo situado en esa ubicación.

Calculadora PWSatts

RESULTADOS

11,722,178 kWh/año*

Mes	Radiación solar (kWh / m ² / día)	Energía de corriente alterna (kWh)
Enero	6.76	1,098,455
Febrero	7.03	1,012,960
Marzo	7.33	1,156,102
Abril	6.58	1,003,150
Mayo	5.67	854,018
Jun	5.35	820,075
Jul	5.86	928,008
Agosto	6.00	952,229
Septiembre	5.68	873,968
Octubre	5.65	908,375
Noviembre	6.42	1,022,479
Diciembre	6.45	1,052,361
Annual	6.23	11,722,180

Comentarios del usuario

Laguna del espino 5% área

Ubicación e identificación de la estación

Ubicación solicitada	13,-85
Fuente de datos meteorológicos	Lat., long.: 13.97, -89.86 336 mi
Latitud	13.97° N
Longitud	89.86° W

Especificaciones del sistema FV

Tamaño del sistema en CC	6906.1 kW
Tipo de módulo	Estándar
Tipo de campo	Fijo (bastidor abierto)
Pérdidas del sistema	14.08%
Inclinación del campo	13°
Acimut del campo	180°
Relación de tamaño de CC a CA	1.2
Eficiencia del inversor	96%
Tasa de cobertura del terreno	0.4
Albedo	From weather file
Bifacial	No (0)
Pérdida de irradiación mensual	Ene Feb Marzo Abr Mayo Jun

<https://pwwatts.nrel.gov/pwwatts.php>

1/2

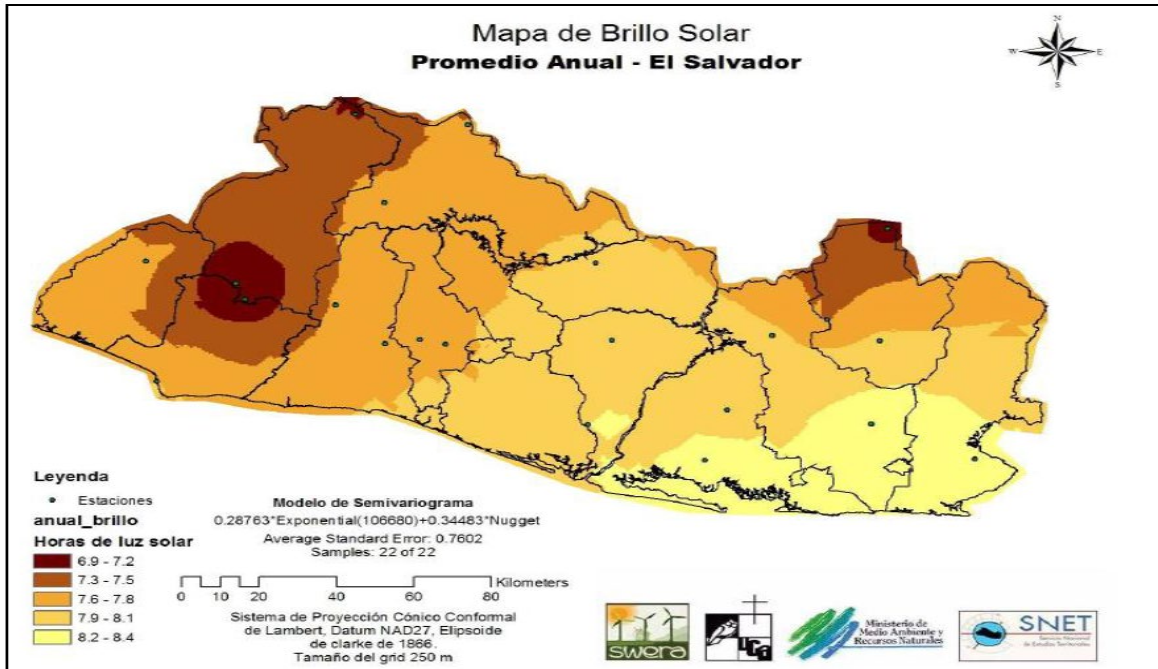


Ilustración 35: Mapa de Brillo Solar SWERA. Tesis Actualización del Mapa de Radiación Solar de El Salvador. UES-FIA.

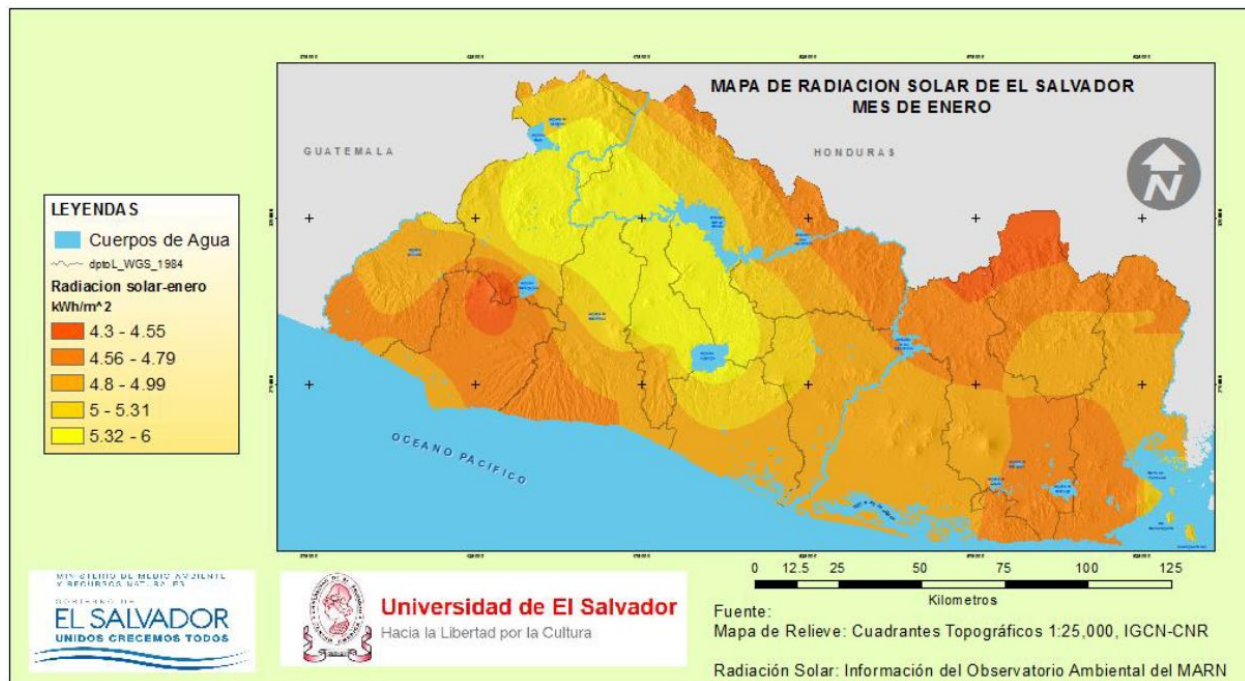


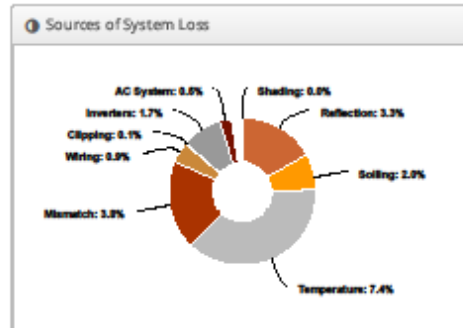
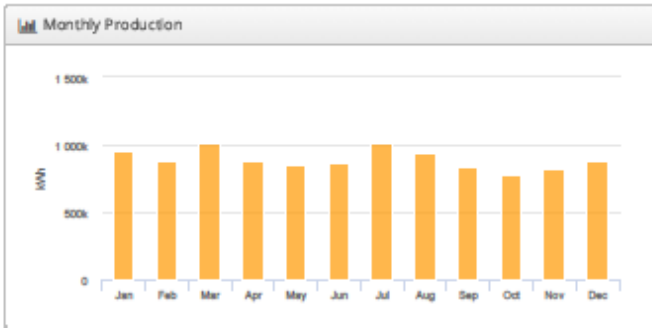
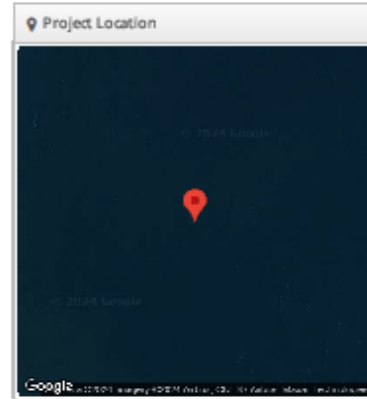
Ilustración 36: Mapa de Radiación solar de El Salvador y algunos cuerpos de agua. Tesis Actualización del Mapa de Radiación Solar de El Salvador. UES-FIA.

- Resultados de HelioScope Embalse 15 de septiembre, Cálculo de planta de 5 MWe.

Isla 5 MWp PVF 15Sept. 6.38 MWp, 13.690132, -88.502232

Report	
Project Name	PVF 15Sept. 6.38 MWp
Project Description	Proyecto de Fotovoltaica Rotante de 5 MWp en presa 15 de sept.
Project Address	13.690132, -88.502232
Prepared By	José Contreras jose.contreras@ser-eficientes.com

System Metrics	
Design	Isla 5 MWp
Module DC Nameplate	638 MW
Inverter AC Nameplate	525 MW Load Ratio: 1.22
Annual Production	10.74 GWh
Performance Ratio	82.2%
kWh/MWp	1,684.0
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, Meteonom 8 (meteonom_v8)
Simulator Version	3cc5002ef554c27a5474b823313045951a1493



Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m ²)	Annual Global Horizontal Irradiance	2,014.2	
	POA Irradiance	2,049.9	1.8%
	Shaded Irradiance	2,049.2	0.0%
	Irradiance after Reflection	1,982.1	-3.3%
	Irradiance after Soiling	1,942.4	-2.0%
	Total Collector Irradiance	1,942.4	0.0%
Energy (kWh)	Nameplate	12,394,618.8	
	Output at Irradiance Levels	12,452,598.1	0.5%
	Output at Cell Temperature Derate	11,528,052.8	-7.4%
	Output After Mismatch	11,087,841.3	-3.8%
	Optimal DC Output	10,991,212.6	-0.9%
	Constrained DC Output	10,984,261.7	-0.1%
	Inverter Output	10,798,128.0	-1.7%
	Energy to Grid	10,744,138.0	-0.5%
Temperature Metrics			
	Avg. Operating Ambient Temp	29.5 °C	
	Avg. Operating Cell Temp	40.4 °C	
Simulation Metrics			
	Operating Hours	4687	
	Solved Hours	4687	

Condition Set												
Description	Condition Set 1											
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, Meteorom 8 (meteorom_v8)											
Solar Angle Location	Meteo Lat/Lng											
Transposition Model	Perez Model											
Temperature Model	Sandia Model											
Temperature Model Parameters	Rack Type	a	b	Temperature Delta								
	Fixed Tilt	-3.56	-0.075	3°C								
	Flush Mount	-2.81	-0.0455	0°C								
	East-West	-3.56	-0.075	3°C								
	Carport	-3.56	-0.075	3°C								
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Irradiation Variance	5%											
Cell Temperature Spread	4° C											
Module Binning Range	-2.5% to 2.5%											
AC System Derate	0.50%											
Module Characterizations	Module	Uploaded By	Characterization									
	JKM615N-66HL4M-BDV (Jinkosolar 2023)	SER EFICIENTES	JKM615N-66HL4M-BDV/PAN, PAN									
Component Characterizations	Device	Uploaded By	Characterization									
	PVS-175-TL (ABB)	HelioScope	Default Characterization									

Components		
Component Name		Count
Inverters	PVS-175-TL (ABB)	30 (5.25 MW)
Strings	10 AWG (Copper)	390 (67,891.0 m)
Module	Jinkosolar 2023, JKM615N-66HL4M-BDV (615W)	10,374 (6.38 MW)

Wiring Zones			
Description	Combiner Poles	String Size	Stringing Strategy
Wiring Zone	-	17-29	Along Racking

Field Segments									
Description	Racking	Orientation	Tilt	Azimuth	Intrarow Spacing	Frame Size	Frames	Modules	Power
Field Segment 1	Fixed Tilt	Landscape (Horizontal)	Module: 5°	Module: 180°	0.6 m	1x1	10,374	10,374	6.38 MW

