

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

**Análisis geoespacial para la identificación de áreas óptimas para
la instalación de plantas solares en la isla San Cristóbal,
Galápagos**

Ruddy Anderson Rodriguez Castillo

Gestión Ambiental

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito
para la obtención del título de Licenciado en Gestión Ambiental

Quito, 20 de mayo de 2025

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales

HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Análisis geoespacial para la identificación de áreas óptimas para la
instalación de plantas solares en la isla San Cristóbal, Galápagos**

Ruddy Anderson Rodriguez Castillo

Nombre del profesor, Título académico

Ing. Victor Herrera, PhD.

Quito, 20 de mes de año

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Ruddy Anderson Rodriguez Castillo

Código: 00322422

Cédula de identidad: 2000149209

Lugar y fecha: Puerto Baquerizo Moreno, 20 de mayo de 2025

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

Este trabajo aborda la identificación de áreas que sean óptimas para la posible instalación de plantas solares en la isla San Cristóbal, Galápagos. Motivado principalmente por la necesidad de preservar la biodiversidad única de las islas y reducir la dependencia de combustibles fósiles, el enfoque utilizado combina la consideración de factores técnicos y de ordenamiento territorial para identificar los mejores lugares para la posible instalación de proyectos de generación solar.

Los resultados más destacables incluyen el mapeo centrado en zonas con alta radiación solar, topografía adecuada y viabilidad de uso, como lo son la zona naval, las áreas cercanas a colegios, la central eléctrica y el barrio Manzanillo. Se evalúan ventajas, desventajas y requerimientos específicos para cada ubicación propuesta.

La principal conclusión es que este mapeo proporciona una base sólida para la implementación estratégica de energía solar en San Cristóbal, contribuyendo al desarrollo sostenible y la conservación del ecosistema de las Galápagos, dejando atrás el uso de combustibles fósiles para la generación de energía. Las perspectivas futuras podrían ayudar al mejoramiento del proyecto con monitoreos continuos del rendimiento de los paneles solares instalados.

Palabras clave: Energía solar, Galápagos, matriz energética, conservación ambiental, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

This work addresses the identification of areas that are optimal for the possible installation of solar plants on San Cristóbal Island, Galápagos. Primarily motivated by the need to preserve the islands' unique biodiversity and reduce dependence on fossil fuels, the approach used combines the consideration of technical and land-use factors to identify the best locations for the potential installation of solar generation projects.

The most notable results include mapping focused on areas with high solar radiation, adequate topography and feasibility of use, such as the naval zone, areas near schools, the power plant and the Manzanillo neighborhood. Advantages, disadvantages and specific requirements for each proposed location are evaluated.

The main conclusion is that this mapping provides a solid foundation for the strategic implementation of solar energy in San Cristóbal, contributing to the sustainable development and conservation of the Galápagos ecosystem, leaving behind the use of fossil fuels for power generation. Prospects could help improve the project with continuous monitoring of the performance of the installed solar panels.

Keywords: Solar energy, Galápagos, geospatial mapping, environmental conservation, sustainable development.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	5
ABSTRACT.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
Introducción.....	11
Casos de éxito identificados	13
Contexto Geográfico: Isla San Cristóbal, Galápagos	15
Antecedentes:.....	20
Estudios de viabilidad de paneles solares en islas	20
Experiencia exitosa con Paneles Solares en las Galápagos	21
Objetivos:.....	23
Objetivo General:	23
Objetivos Específicos:.....	23
Metodología:.....	24
Resultados:.....	27
Análisis de área de estudio	27
Discusión	42
1. Relación con los Objetivos.....	42
Conclusiones	49
Referencias bibliográficas	51

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros técnicos considerados para el cálculo del potencial.....	25
Tabla 2 Potencial energético estimado en función del área disponible	26
Tabla 3 Descripción de áreas identificadas, según las condiciones que presentan.....	32
Tabla 4 Estimación del número total de paneles solares requeridos	41

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo del potencial para instalación de paneles solares.....	26
Ecuación 2 Cálculo del potencial energético estimado a instalarse en MW.....	41
Ecuación 3 Número de paneles necesarios para instalarse en el área total obtenida.	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso por el cual un panel solar puede generar energía Fuente:(Perlaza & Solis, 2022)	12
Figura 2 Mapa de Zonificación para la Propuesta de Instalación de Paneles Solares en la Isla San Cristóbal, Galápagos. Fuente: (Bustos et al., 2025)	16
Figura 3 Distribución de Órdenes de Suelo en la Isla San Cristóbal (Taxonomía de Suelos 2006), con indicación de curvas de nivel, áreas protegidas, zonas urbanas, hidrografía y vías de comunicación. Fuente:(Espinosa et al., 2022)	18
Figura 4 : Mapa de número de viviendas presentes en Puerto Baquerizo Moreno y su Crecimiento Poblacional Fuente:(Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos., 2020)	19
Figura 5 Mapa sobre el potencial de rendimiento fotovoltaico en la isla San Cristóbal Fuente:(Atlas Solar Global 2.0, 2024)	29
Figura 6 Áreas óptimas para la instalación de paneles solares : (A) Zona Naval, (B) GAD Municipal, (C) Zona aledaña al Colegio Ignacio Hernández, (D) Zona adyacente al Colegio Liceo Naval, (E) Zona aledaña a la central eléctrica de la isla, (F) Zona cercana a la Encañada, (G) Área cercana al barrio Manzanillo.	35

INTRODUCCIÓN

Las Islas Galápagos son un archipiélago de origen volcánico ubicado en el océano Pacífico, a unos 1.000 kilómetros de la costa de Ecuador. Son mundialmente reconocidas por su biodiversidad única. Este ecosistema ha sido protegido por el Parque Nacional Galápagos desde 1959 (Robles, 2022). Sin embargo, una de las principales amenazas que enfrenta esta biodiversidad es la dependencia de fuentes de energía basadas en combustibles de origen fósil (Espinoza Echeverría, 2023; Le Calvez, 2011). Estas fuentes de energía generan emisiones de gases de efecto invernadero, que contribuyen al cambio climático y al deterioro del medio ambiente (Andrade-Castañeda et al., 2017). Ante esta situación, la transición hacia fuentes de energía renovables, como la energía solar, representa una gran oportunidad para poder reducir la huella ambiental de las Galápagos y poder contribuir a su adecuada conservación.

La Figura 1 ilustra la operación básica de un panel solar para generar energía (Perlaza & Solís, 2022). Esta tecnología tiene el potencial de transformar la generación de energía en las Islas Galápagos, sustituyendo fuentes fósiles y minimizando el impacto ambiental (Calderón Carrillo & Sornoza Sornoza, 2016; Liliana, 2020; Solís Gallo, 2011). La energía solar es una fuente de energía limpia y renovable que tiene el potencial de poder satisfacer las necesidades energéticas de las islas de manera sostenible. Sin embargo, la selección de las ubicaciones para la instalación de plantas solares es un proceso que debe tener en cuenta factores técnicos, ambientales y socioeconómicos, así como la integración de sistemas de almacenamiento de energía y una adecuada gestión energética. A pesar de la importancia de la energía solar para las islas, aún existe un vacío en el conocimiento sobre las ubicaciones óptimas para su instalación en el archipiélago.

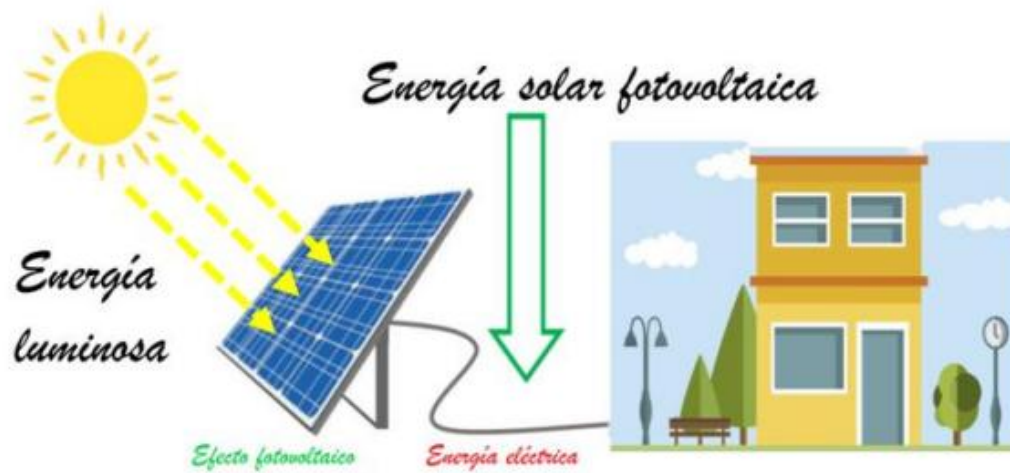


Figura 1 Proceso por el cual un panel solar puede generar energía Fuente: (Perlaza & Solis, 2022)

La energía solar es una energía que obtenemos directamente del Sol en forma de luz y calor principalmente. El sol libera energía a través de reacciones que ocurren en su núcleo. Esta energía llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas, lo que conocemos como radiación solar (Lopez Escola & Krättli, 2020). Esta es una fuente de energía renovable y sostenible, la cual no produce emisiones contaminantes, comparada con otros métodos de generación de energía como el uso de combustibles de origen fósil que sí producen contaminantes.

La radiación solar se divide en tres principales tipos: **Radiación difusa:** Radiación que llega a la Tierra después de ser reflejada por partículas presentes principalmente en la atmósfera, las nubes y otros elementos. **Radiación directa:** Luz solar que llega a la tierra sin ser desviada y es más fuerte. **Radiación reflejada:** Radiación reflejada desde la superficie terrestre, como montañas o edificios.

La cantidad de energía solar que llega a la Tierra depende de varios factores, como lo es la latitud, la época del año, la hora del día y las condiciones climáticas, esta misma se puede

utilizar para generar electricidad, calentar agua, iluminación eléctrica, sistemas de aire acondicionado y otras aplicaciones sumamente convenientes y beneficiosas para el desarrollo de la vida humana como la conocemos(Lopez Escola & Krättli, 2020).

La energía solar presenta notables ventajas como fuente renovable y sostenible que puede ser utilizada globalmente; además, su tecnología ha experimentado una disminución significativa en costos, volviéndose más accesible con el tiempo (Lopez Escola & Krättli, 2020). Sin embargo, también existen desventajas importantes, incluyendo la variabilidad en la cantidad de energía solar recibida según la ubicación, latitud, nivel del mar y las condiciones climáticas(Pino & Nicolás, 2023), la necesidad de una extensa superficie para la instalación de paneles, y el aún elevado costo del almacenamiento de la energía generada(Cañar Reinoso, 2014).

Casos de éxito identificados

Referente a esto está el caso de la isla de San Andrés, ubicada en el Mar Caribe colombiano, ha experimentado un notable éxito en la implementación de energía solar fotovoltaica. El artículo "Energía solar fotovoltaica en la isla de San Andrés, Colombia: Propuesta para viviendas unifamiliares" analiza en detalle este caso(Gutiérrez et al., 2015).

El estudio destaca que la isla, expone una alta radiación solar y una demanda energética considerable, presentando condiciones ideales para la energía solar. De lo cual se ha desarrollado un proyecto piloto que ha demostrado la viabilidad técnica y económica de esta tecnología. Los resultados del proyecto son alentadores, destacándose una reducción significativa en el consumo de diésel, lo que conlleva un menor impacto ambiental, así como un ahorro económico significativo gracias a la implementación de energía solar en los costos de generación. Adicionalmente, la adopción de esta tecnología ha generado un beneficio

social importante, incluyendo la creación de empleos y una contribución tangible al desarrollo sostenible de la isla (Gutiérrez et al., 2015).

Los paneles solares representan una fuente de energía con atractivas ventajas y ciertos desafíos a considerar. Entre sus beneficios más notables se encuentra el acceso a una energía gratuita e inagotable, operando además de forma silenciosa, limpia y respetuosa con el medio ambiente. La capacidad de generar electricidad en el mismo lugar donde se necesita elimina pérdidas asociadas a la transmisión y distribución, y su bajo mantenimiento (Zambrano, 2024), los convierte en una opción duradera. No obstante, su rendimiento se ve susceptible a las variaciones climáticas y atmosféricas, impactando su eficiencia energética (Canaza, 2022), la cual también experimenta una disminución gradual con el tiempo, aproximadamente un 0,5% anual (Amaro et al., 2023). La posibilidad de complementar los paneles con baterías solares es crucial para asegurar un suministro energético continuo, especialmente en ausencia de luz solar (Perdomo et al., 2022). En entornos costeros, la brisa marina introduce desafíos, ya que la salinidad puede corroer los componentes metálicos de los paneles, acortando su vida útil y disminuyendo su eficiencia (Chunga Santos et al., 2022), mientras que la acumulación de sal y polvo en la superficie reduce la captación de luz solar (Jaszczur et al., 2018), haciendo indispensable un mantenimiento periódico para asegurar un rendimiento óptimo.

El proyecto para la instalación de paneles solares en la Isla Puná también es uno relevante, ya que tiene como objetivo principal el asegurar el suministro constante de energía eléctrica las 24 horas del día, atendiendo a una de las necesidades más importantes de la comunidad local (Baracaldo & Coronado, 2014). La propuesta implica la construcción de una planta fotovoltaica que utilice la radiación solar, lo que no solo solucionaría el acceso a la energía, sino que también disminuiría la contaminación ambiental y aumentaría la eficiencia del

servicio. Desde la perspectiva financiera, el proyecto requiere una inversión de \$1.244.251,04, siendo financiado en un 61,25% por el F.O.E.S (Fondo de Electrificación del Sector Rural y Urbano Marginal) (Coronado Blum, 2003). Y en un 38,75% por el CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad), entidad que recuperará la inversión mediante el cobro de planillas en un plazo de 10 años. Además, se proyecta como sustentable y sostenible, al generar empleo local, dinamizar el turismo y comercio de la isla, y servir de modelo replicable para otras comunidades que puedan aprovechar la energía solar como recurso natural (Ampuño Aviles & Lata Garcia, 2022).

En 2014, investigadores de la Universidad Politécnica Salesiana llevaron a cabo un proyecto en la comuna Puerto Roma, ubicada en la isla Mondragón del golfo de Guayaquil, con el objetivo de proporcionar acceso a energía eléctrica a familias que carecían de este servicio básico. El estudio incluyó un análisis socioeconómico de las familias beneficiadas, el diseño de las instalaciones eléctricas y la implementación de un sistema solar fotovoltaico (González Peñafiel et al., 2014). Se instalaron cuatro paneles solares con sus respectivos elementos de protección para satisfacer las necesidades energéticas de igual número de familias. Este proyecto no solo mejoró la calidad de vida de los habitantes al proporcionarles electricidad, sino que también promovió el uso de energías limpias en una zona aislada del país (Revelo Landazuri, 2023).

Contexto Geográfico: Isla San Cristóbal, Galápagos

La Figura 2 nos muestra un mapa de la Isla San Cristóbal en las Islas Galápagos, Ecuador, con seis áreas aptas para instalar paneles solares, en la cual se estiman en el estudio previo como posibles o idóneas desde la perspectiva de investigadores nacionales no residentes (Bustos et al., 2025). Estas áreas, diferenciadas por color y tamaño, se localizan en Puerto Baquerizo Moreno (cuatro zonas), y en las cercanías del Aeropuerto de San Cristóbal (dos

zonas). Donde se identifican áreas propuestas para la instalación de plantas fotovoltaicas (PV). El mapa distingue entre las áreas propuestas cercanas al aeropuerto (en color amarillo) y otras áreas propuestas (en color rojo), indicando para cada una su extensión en hectáreas (ha), la capacidad de generación de energía estimada en megavatios pico (MWp), y el porcentaje de la demanda energética actual de la isla que podría cubrir dicha instalación. Además, se señalan la ubicación del Parque Nacional Galápagos, las plantas térmicas existentes, y una planta fotovoltaica existente de menor capacidad, proporcionando un contexto geográfico y energético para la propuesta de desarrollo solar. Con base en el análisis de este estudio, se propondrán modificaciones o eliminaciones, ya sean parciales o totales, de las áreas señaladas en la Figura 2, en función de su idoneidad y de los posibles desafíos asociados a su aseguramiento para el uso previsto.



Figura 2 Mapa de Zonificación para la Propuesta de Instalación de Paneles Solares en la Isla San Cristóbal, Galápagos. Fuente: (Bustos et al., 2025)

A partir de la información proporcionada en la Figura 2, se comenzó a evaluar la viabilidad técnica y ambiental de las áreas propuestas para la instalación de paneles solares en la Isla San Cristóbal. Esta evaluación consideró factores como la proximidad al Parque Nacional Galápagos, la existencia de infraestructuras energéticas actuales y la capacidad estimada de generación de cada sitio. Además, se analizaron los posibles impactos en la demanda energética de la isla, con el objetivo de identificar las ubicaciones que maximicen la eficiencia energética y minimicen los efectos ambientales adversos.

Adicionalmente, la Figura 3 muestra una vista general del uso de suelo en la Isla San Cristóbal, separando áreas urbanas y rurales que se pueden usar libremente para la construcción o agricultura. Estas dos áreas están separadas de la zona Parque Nacional Galápagos (mostrada en color verde claro) que es una zona protegida. Nos da una idea general de cómo está subdividido el parque nacional para acoplarse a la presencia de las personas y su sociedad.

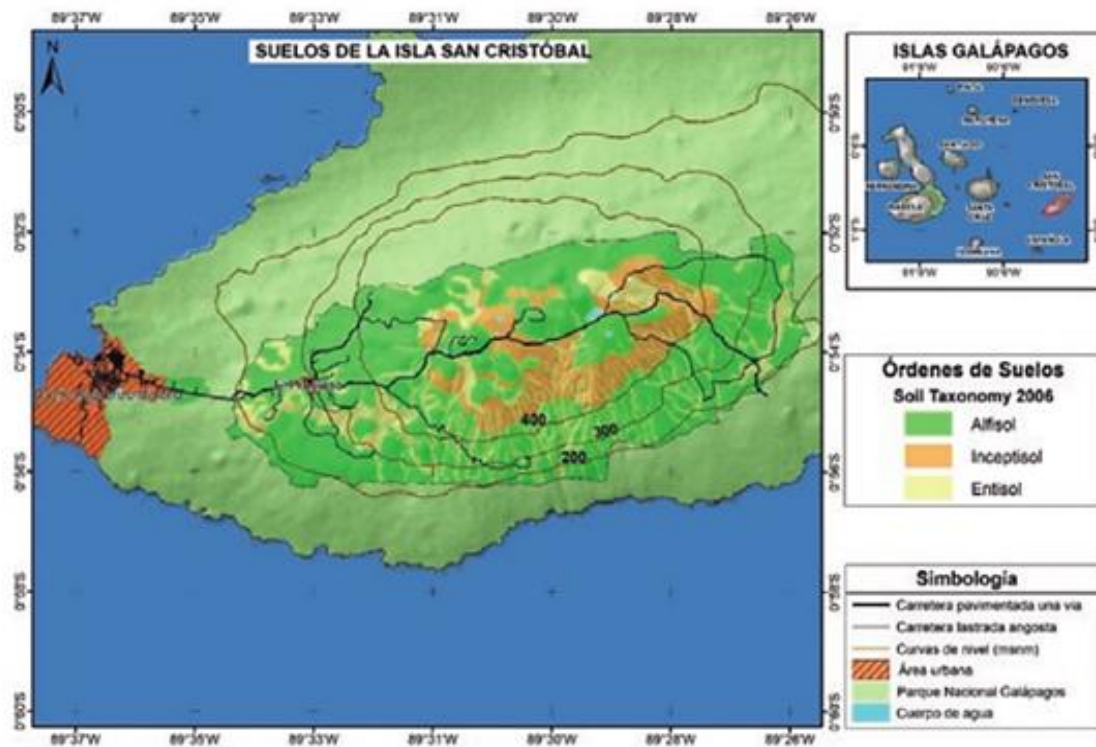


Figura 3 Distribución de Órdenes de Suelo en la Isla San Cristóbal (Taxonomía de Suelos 2006), con indicación de curvas de nivel, áreas protegidas, zonas urbanas, hidrografía y vías de comunicación. Fuente:(Espinosa et al., 2022)

Finalmente, la Figura 4, que detalla la estructura urbana y rural del cantón San Cristóbal, específicamente en Puerto Baquerizo Moreno y sus alrededores, nos permite identificar y delimitar claramente las áreas urbanizadas y de expansión urbana. Al representar el crecimiento poblacional a través de la densidad de viviendas por barrio, esta figura se convierte en una herramienta crucial para excluir zonas con alta concentración de edificaciones y futuro desarrollo urbano de nuestro análisis para la instalación de paneles solares. Esto asegura que nos enfoquemos en áreas con menor densidad poblacional y potencial para un uso más eficiente de la energía solar a gran escala. La tendencia de expansión urbana hacia áreas periféricas, como señala el documento del Consejo de Gobierno

del Régimen Especial de Galápagos., (2016), refuerza la importancia de evitar la competencia por el espacio entre el desarrollo urbano y la infraestructura de energías renovables.

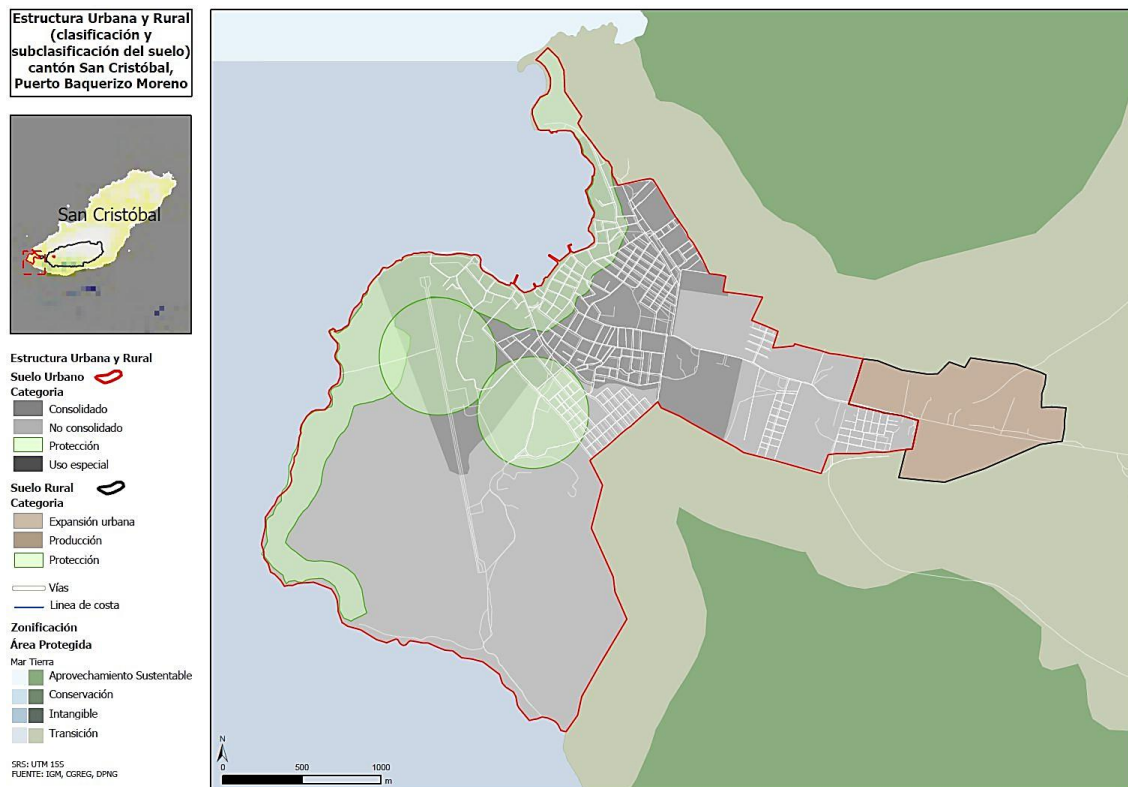


Figura 4 Mapa de número de viviendas presentes en Puerto Baquerizo Moreno y su Crecimiento Poblacional Fuente:(Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos., 2020)

La presente tesis aborda la identificación y evaluación de ubicaciones estratégicas para el desarrollo de energía solar en la isla de San Cristóbal, Galápagos. Dada la importancia de la sostenibilidad ambiental y la necesidad de diversificar las fuentes de energía en este ecosistema único, esta investigación se centra en determinar las áreas que ofrecen las condiciones técnicas óptimas para la captación solar y la infraestructura eléctrica, al tiempo

que se minimiza el impacto en la biodiversidad local. Los hallazgos de este estudio buscan aportar información valiosa para la planificación de un sistema energético solar sostenible en el archipiélago.

ANTECEDENTES

Estudios de viabilidad de paneles solares en islas

En el estudio publicado en la revista *Renewable Energy* en 2019 examinó la viabilidad de la energía solar en las islas del Pacífico (Angeles et al., 2019). Este estudio concluyó que la energía solar es una fuente de energía viable y sostenible para las islas del Pacífico. También se llegó a señalar que la energía solar puede ser más rentable que los combustibles fósiles en el largo plazo por su capacidad de regeneración (Angeles et al., 2019). El estudio se centró en la evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental de la energía solar en las islas del Pacífico. Los autores del estudio utilizaron datos de radiación solar, costos de instalación y mantenimiento, y otros factores para evaluar la viabilidad de la energía solar en las islas del Pacífico (Angeles et al., 2019)

Otro estudio publicado en la revista *Energy* en 2018 evaluó la viabilidad técnica y ambiental de la energía solar en las islas del Caribe (Eirin et al., 2022). Los autores concluyeron que, dada la alta radiación solar característica de estas islas, la energía solar representa una fuente energética viable y sostenible. Para llegar a esta conclusión, el estudio analizó datos de radiación solar, así como los costos de instalación y mantenimiento proyectados.

Experiencia exitosa con Paneles Solares en las Galápagos

La implementación exitosa de sistemas de paneles solares en las Islas Galápagos ha generado impactos positivos significativos en diversos sectores. Tal como lo señala Chavez, (2023) las comunidades locales de Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela han experimentado una mejora en su calidad de vida gracias a estos proyectos. Asimismo, instituciones públicas como el Parque Nacional Galápagos han liderado la adopción de energía solar, extendiéndose su uso a escuelas y centros de salud en las islas. Finalmente, la industria turística responsable también se ha beneficiado de esta tecnología, con hoteles y restaurantes implementando sistemas fotovoltaicos que reducen costos y atraen a un turismo consciente de la sostenibilidad (Chavez, 2023).

Según Mateus et al.,(2023), en 2008, el gobierno ecuatoriano lanzó la Iniciativa de Cero Combustibles Fósiles en Galápagos para promover el desarrollo sostenible en las islas, principalmente mediante la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía renovable. Esta iniciativa ha llevado a la implementación de proyectos de energía solar en varias islas del archipiélago. En los últimos 20 años, se han llevado a cabo tres proyectos de suma importancia en Galápagos como parte de la iniciativa de Cero Combustibles Fósiles: la implementación de energía solar en Santa Cruz-Baltra, Isabela y Floreana; la energía eólica en San Cristóbal y Santa Cruz-Baltra; y el biodiésel en Floreana(Mateus et al., 2023).

Adicionalmente, según Vásquez et al.,(2024) se están llevando a cabo varios proyectos de paneles solares en las Islas Galápagos, los cuales se detallan a continuación:

- **Proyecto Conolophus:** Este es el proyecto más grande con una capacidad de 14,8 MW y un costo estimado de US \$63 millones. Está siendo financiado completamente por el sector privado y servirá a las islas de Baltra y Santa Cruz.

- **Proyecto en San Cristóbal:** El Korea Institute for Advancement of Technology financiará un sistema fotovoltaico en San Cristóbal con una capacidad instalada de 1 MW y un costo estimado de US \$6,14 millones.
- **Proyecto en Isabela:** El Banco Alemán de Desarrollo (kFW) invertirá US \$3,32 millones en la implementación de un sistema fotovoltaico en Isabela, con la cual se tendrá una capacidad instalada de 0,8 MW.

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Identificar áreas en San Cristóbal con radiación solar óptima y características topográficas adecuadas para la instalación de plantas solares, considerando la disponibilidad de espacio y la viabilidad ambiental.

Objetivos Específicos:

- Realizar un análisis de la radiación solar en diferentes áreas de San Cristóbal para determinar aquellas con mayor potencial de captación solar.
- Analizar la disponibilidad de espacio en las áreas seleccionadas, considerando restricciones geográficas y usos actuales del terreno.
- Evaluar la viabilidad ambiental de las ubicaciones propuestas y disponibilidad del espacio dentro del plan de ordenamiento territorial de la isla a futuro, teniendo en cuenta el impacto potencial en la biodiversidad local.

METODOLOGÍA

Identificación de regiones de interés: En esta etapa, se identificaron las regiones a analizar, considerando las condiciones climáticas y geográficas de la región. Se prestó especial atención a la ubicación de los paneles solares, buscando estratégicamente maximizar la captación de energía solar. Además, se evaluó la biodiversidad y los ecosistemas presentes, con el objetivo de minimizar el impacto ambiental. La selección se orientó hacia áreas que permitieran una integración eficiente de la energía solar sin comprometer la conservación de la flora y fauna de la zona.

Recopilar datos: para obtener información relevante, se recopilaron datos sobre la radiación solar, la topografía y otros factores relevantes para la generación de energía solar en las islas. Se utilizó la los datos de la plataforma online Atlas solar Global, la cual es una plataforma online que ofrece y recopila mapas de recursos solares y datos GIS (Atlas Solar Global 2.0, 2024). Adicionalmente, se llevó a cabo una investigación bibliográfica para identificar casos de éxito de proyectos similares fuera y dentro de las islas Galápagos. Entre los documentos consultados, se incluyeron mapas sobre el uso del suelo y el crecimiento poblacional de la isla San Cristóbal. Estos mapas sirvieron como referencia para identificar zonas viables, aquellas que no están dentro del Parque Nacional Galápagos (PNG) y que, al mismo tiempo, se encuentran dentro de las limitaciones del casco urbano. Evitando cualquier posible conflicto con áreas protegidas o zonas de alta biodiversidad.

Evaluar la viabilidad técnica y ambiental: En esta fase, se evaluó la factibilidad técnica y ambiental de desarrollar proyectos de energía solar en las zonas seleccionadas. Se aseguró que las áreas escogidas no se encuentran dentro del Parque Nacional Galápagos ni en zonas ambientalmente sensibles, como aquellas cercanas a sitios de reproducción de especies. Para

cada área, se analizaron tanto las ventajas como las posibles desventajas, considerando los potenciales contratiempos que podrían surgir durante el desarrollo del proyecto.

Como parte de este análisis, se realizó una comparación sistemática entre las Figuras 3 y 4, lo que permitió integrar múltiples criterios en la evaluación espacial. Esta comparación facilitó la identificación de zonas con mayor potencial, así como la exclusión o modificación de áreas con restricciones técnicas, ambientales o logísticas. El cruce de datos visuales y temáticos funcionó como punto de partida para validar o descartar las áreas propuestas inicialmente.

Una vez determinadas las zonas más adecuadas, se estimó el potencial energético de cada una y se calculó el número de paneles solares necesarios para cubrir la demanda energética local. Este análisis permitió optimizar la generación distribuida, minimizando las pérdidas asociadas a la transmisión de energía.

En la tabla 1 se muestran los datos para utilizar en las ecuaciones posteriores.

Tabla 1 Parámetros técnicos considerados para el cálculo del potencial

Área (A)	30,95 Ha = 309.500 m ²	
Irradiación solar promedio (IS)	1500 W/ m ²	
Energía solar promedio diaria	5 kWh/ m ² /día	
Potencia del panel solar	550 W	275 W/ m ²
Eficiencia del sistema (ES)	17%	

En la tabla 2 se muestran las ecuaciones y cálculos utilizados para determinar el potencial solar que se puede instalar.

Tabla 2 Potencial energético estimado en función del área disponible

Potencial(P)	Área* Potencia del panel solar	
Potencial (P)	309.500	275
Potencial (P)	85.112,5 kW = 85.1 MW	

El potencial que se busca instalar: La potencia de energía solar que se busca instalar se calculará mediante la siguiente ecuación:

Ecuación 1 Cálculo del potencial para instalación de paneles solares.

$$\text{Potencial} = \text{Área} \times \text{Potencia del panel solar}$$

Donde se entiende que: Área: Es el área disponible para la instalación de paneles solares, que es de 309.500 m². Potencia del panel solar: Es la cantidad máxima de energía eléctrica que puede producir un solo panel en condiciones óptimas, que es de 550 W, pero se lo divide a la mitad para obtener la cantidad de energía generada por metro cuadrado siendo que es de 275 W/ m² siendo la eficiencia media.

RESULTADOS

Análisis de área de estudio

Teniendo en cuenta la radiación disponible en cada zona, fue posible identificar las áreas con mayor potencial para la instalación de paneles solares en Puerto Baquerizo Moreno (Figura 5). La ayuda que aporta este Gráfico al presente proyecto radica en el dimensionamiento preciso de las zonas. Esto en especial es muy importante para la selección de la ubicación óptima de los paneles solares, asegurando una mayor eficiencia en la generación de energía y una toma de decisiones más informada para el proyecto. Siguiendo lo que se muestra en el mapa se puede ver que las zonas con mayor radiación solar son las más cercanas al puerto y a playas, en sí las zonas más cercanas al nivel del mar por la poca presencia de nubosidades en el área y la poca precipitación constante al contrario de las zonas más altas de la isla como serían el progreso que presentan gran cantidad de nubosidad y de precipitaciones constantes en la gran mayoría del año, por lo cual se establece que las mejores zonas para la posible instalación de paneles solares es las zonas circundantes al puerto por la alta presencia de radiación solar.

Ya que las islas Galápagos se encuentran en una latitud cercana a 0° , la radiación solar directa es más intensa que en otras regiones del planeta, una ventaja significativa para la generación de energía solar. Las zonas costeras seleccionadas aprovechan esta característica, presentando además la ventaja de ser áreas secas con precipitaciones poco frecuentes, lo que maximiza la captación solar. En contraste, las partes más altas de la isla, a pesar de recibir radiación solar, sufren de alta nubosidad y lluvias recurrentes durante gran parte del año, reduciendo la eficiencia de los paneles. Adicionalmente, estas zonas costeras se encuentran a una distancia prudente del mar, minimizando los riesgos de corrosión por salinidad en los

componentes de los paneles solares, un factor que podría afectar su rendimiento y requerir un mantenimiento más frecuente.

Como se observa en la Figura 5, las tonalidades más oscuras indican una mayor radiación solar directa, lo que implica un mayor potencial para la instalación de paneles solares. En cambio, las zonas representadas con colores más claros presentan una radiación menor. Al analizar detenidamente la figura, se identifica que las áreas con mayor radiación se concentran en la franja costera cercana a la playa La Lobería. Sin embargo, estas zonas no son viables para el proyecto debido a su difícil acceso y a la presencia de especies de aves que habitan en el lugar, lo cual representa un riesgo para la biodiversidad.

Por estas razones, se priorizaron zonas ligeramente más alejadas de la costa, ubicadas dentro del área urbana del puerto. Estas presentan condiciones geográficas más favorables para la construcción, menor impacto ambiental y una mayor facilidad de conexión al sistema eléctrico existente. Además, requieren una inversión menor tanto en infraestructura como en mano de obra, lo que las convierte en una opción más viable y sostenible para la instalación de paneles solares.

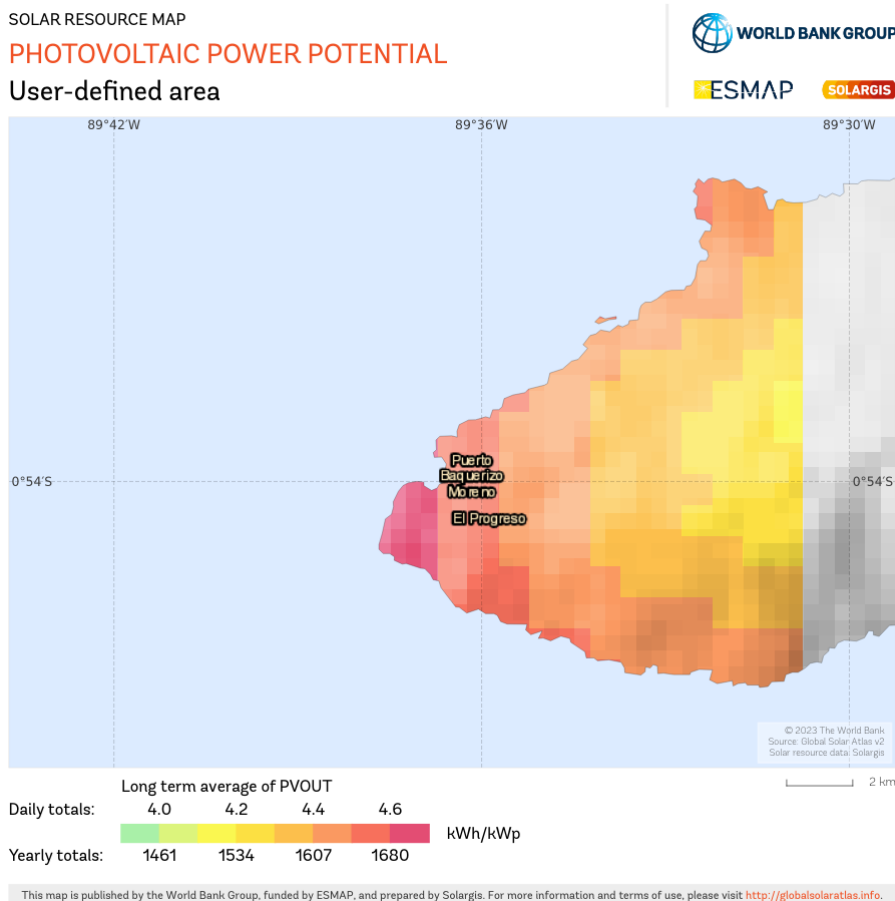


Figura 5 Mapa sobre el potencial de rendimiento fotovoltaico en la isla San Cristóbal

Fuente: (Atlas Solar Global 2.0, 2024)

Considerando las áreas con mayor radiación solar y potencial fotovoltaico, se realizó una comparación con la información sobre el uso del suelo en el puerto. Esta integración de datos permitió identificar zonas con proyección de crecimiento poblacional, lo cual facilitó el establecimiento de criterios más precisos para determinar la viabilidad de instalación de paneles solares. El análisis conjunto de áreas disponibles para construcción futura y de aquellas con alta radiación solar permitió seleccionar los sectores más adecuados para el desarrollo del proyecto.

El análisis de la distribución de los tipos de suelo en el área de estudio (Figura 3) permitió delimitar las zonas urbanas, rurales que se pueden usar y las extensiones correspondientes al Parque Nacional Galápagos (PNG), identificadas como áreas de conservación. Esta primera aproximación espacial ofreció una visión general de las áreas potencialmente disponibles para el estudio, concentrándose inicialmente en la zona más cercana al puerto principal. Posteriormente, la información del Mapa de ordenamiento territorial (Figura 4) ilustró la alineación de estos tipos de suelo con los planes de uso de la tierra y las restricciones de desarrollo, especialmente en las zonas de conservación circundantes. Como se observa, la relación entre ambos mapas es crucial para identificar áreas que no presenten un riesgo para la fauna local. Sin embargo, la comparación de estas dos Figuras revela restricciones legales en algunas de estas áreas, como zonas protegidas o urbanas, que impiden el desarrollo efectivo de proyectos solares. Para la identificación de las zonas óptimas, se realiza una superposición y análisis de diversas variables, tomando como referencia la Figura 2. Este proceso integra parámetros previamente definidos a partir de figuras anteriores, tales como la radiación solar porcentual presente en diferentes ubicaciones, el crecimiento poblacional proyectado, el uso de suelo urbano actual, la zonificación del uso de suelo y la presencia de áreas restringidas pertenecientes al parque nacional. El objetivo de esta superposición es determinar qué áreas cumplen con los criterios establecidos para la viabilidad de la instalación de paneles solares. Aquellas zonas que no cumplan inicialmente con los parámetros requerirán una evaluación para posibles adecuaciones, o en su defecto, serán descartadas para la exploración de alternativas más adecuadas y así poder determinar finalmente cuáles serían las zonas ideales.

Tras la identificación de las zonas con mayor viabilidad mediante el cruce integrado de las variables geográficas, ambientales y sociales, se delimitó con mayor precisión aquellas áreas que presentan un potencial significativo para la instalación de la infraestructura. Esta

delimitación consideró no solo la radiación solar y la compatibilidad del uso de suelo, sino también factores logísticos cruciales como la accesibilidad, la cercanía a las redes eléctricas existentes y la facilidad de mantenimiento. Como resultado de este análisis detallado, se identificó una serie de ubicaciones preliminares que cumplen con los criterios iniciales de viabilidad, caracterizadas por una radiación solar favorable. Estas áreas fueron posteriormente refinadas al considerar su proximidad al puerto principal para optimizar la logística de implementación y mantenimiento. La Tabla 3 presenta un resumen organizado de estas localizaciones prioritarias, facilitando su visualización para los actores técnicos e institucionales, y ofreciendo una visión general de su distribución geográfica para aquellos no familiarizados con la zona.

La Tabla 3 presenta un listado de estas localizaciones identificadas, ofreciendo una referencia espacial para los lectores no familiarizados con la geografía de la isla. La proximidad de estas áreas al puerto principal representa una ventaja estratégica significativa, facilitando las labores de mantenimiento y la respuesta oportuna ante posibles fallos o averías en la infraestructura solar. Adicionalmente, estas ubicaciones se caracterizan por registrar los niveles más altos de radiación solar en San Cristóbal, un factor crucial para optimizar la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. En conjunto, las áreas detalladas en la Tabla 1 constituyen puntos potenciales que combinan condiciones técnicas favorables con consideraciones logísticas y de acceso.

Tabla 3 Descripción de áreas identificadas, según las condiciones que presentan

Áreas Identificadas	Condiciones del área
FIGURA 6A	<p>Esta zona, perteneciente a la fuerza naval de la isla San Cristóbal, presenta características favorables para la instalación de paneles solares. Con una extensión de 1,59 hectáreas, el área incluye algunas estructuras utilizadas como bodegas u oficinas, además de espacio libre sin construcciones. Su ubicación cercana al mar garantiza una considerable recepción de luz solar a lo largo del día, pero también tiene una desventaja de la corrosión por parte de la brisa marina. Adicionalmente, la topografía plana del terreno facilita la instalación de los paneles.</p>
FIGURA 6B	<p>Esta zona, una de las más pequeñas con 0,03 Ha, se ubica en el techo del GAD Municipal de San Cristóbal. A pesar de su reducida extensión, podría considerarse una opción complementaria para la instalación de paneles. Su uso se evaluaría en caso de requerirse espacio adicional ante la limitación de áreas libres de tierra.</p>
FIGURA 6C	<p>Esta zona, con una extensión de 6.82 hectáreas, se ubica al sureste del Colegio Liceo Naval y forma parte de sus terrenos. A pesar de no haber sido utilizada en años recientes, presenta características favorables para la instalación de paneles solares. Al estar colindando con el área de paneles del aeropuerto de la isla San Cristóbal sugiere una radiación solar adecuada en la zona. Dada su ubicación y la ausencia de uso actual, el desarrollo de infraestructura solar en este emplazamiento representaría una oportunidad con mínima afectación a la población.</p>

FIGURA 6D	<p>Con una extensión de 9.23 hectáreas y ubicada junto al colegio Ignacio Hernández, esta zona presenta potencial para su utilización. Su condición de área no habitada, sumada a su relativa cercanía y fácil acceso al puerto, son factores favorables que considerar.</p>
FIGURA 6E	<p>Esta zona, con una extensión de 3.66 hectáreas, se encuentra cercana a la central eléctrica de la isla y presenta una radiación solar óptima, minimizando potenciales impactos a la población. En contraste con el área delimitada en el estudio de Bustos et al., (2025), se realizaron modificaciones significativas en la presente investigación. El estudio previo no consideró la presencia de una encañada, obstáculo para la instalación y adecuación de los paneles. Por esta razón, se redujo el área de utilización y se reubicó ligeramente, alejándola de la encañada para prevenir futuros inconvenientes</p>
FIGURA 6F	<p>Esta zona, aledaña a la central eléctrica, presenta una extensión de 6,78 hectáreas. Su proximidad a la central facilita el acceso. Además, registra una radiación solar óptima, similar a la de las zonas anteriores, lo que asegura un buen rendimiento sin afectar a la población circundante.</p>
FIGURA 6G	<p>El área identificada, cercana al Barrio El Manzanillo, cuenta con una extensión de 3.84 hectáreas. Esta dimensión fue el resultado de una adecuación necesaria debido a la presencia de viviendas en la zona inicialmente considerada. Con el fin de evitar afectaciones a los residentes, se redujo el área proyectada originalmente a las 3.84 hectáreas actuales para la instalación de los paneles solares.</p>

Análisis de viabilidad ambiental

Se evaluó la viabilidad ambiental de las ubicaciones propuestas en la Tabla 3 para la instalación de los paneles solares, tomando en cuenta el plan de ordenamiento territorial de la isla a futuro y la Figura 4, que ilustra la estructura urbana y rural del cantón San Cristóbal, incluyendo las zonas de conservación y expansión urbana. Se identificaron áreas con una baja interferencia en las zonas de conservación y un impacto mínimo en la biodiversidad local. La mayoría de las áreas propuestas se encuentran fuera de las zonas protegidas, lo que asegura que la instalación no produzca efectos negativos notables sobre las especies endémicas o de sus hábitats. Además, se consideró la disponibilidad del espacio según el plan de ordenamiento territorial, y se determinó que las zonas seleccionadas cumplen con los criterios de accesibilidad y adecuación para proyectos solares a largo plazo, sin comprometer el uso sostenible del territorio. Sin embargo, algunas áreas cercanas a zonas de alto valor ecológico presentaron ciertas restricciones que podrían requerir medidas de mitigación para minimizar cualquier impacto ambiental, por lo cual se realizó una adecuación del área para que no presenten ningún posible futuro daño.

La Figura 6 nos presenta siete polígonos georreferenciados en la Isla San Cristóbal, Galápagos, identificados como zonas potenciales para la instalación de paneles solares. Cada polígono está delimitado y etiquetado con su respectiva área en hectáreas, ubicándose en diferentes sectores de Puerto Baquerizo Moreno, incluyendo zonas cercanas a instituciones educativas, instalaciones municipales y áreas residenciales. Estas localizaciones ofrecen una primera aproximación visual para analizar su viabilidad técnica y ambiental en el marco de un proyecto de transición energética hacia fuentes renovables en la isla.



Figura 6 Áreas optimas para la istalacion de paneles solares : (A) Zona Naval, (B) GAD Municipal, (C) Zona aledaña al Colegio Ignacio Hernández, (D) Zona adyacente al Colegio Liceo Naval, (E) Zona aledaña a la central eléctrica de la isla, (F) Zona cercana a la Encañada, (G) Área cercana al barrio Manzanillo.

Para la primera área elegida, como se observa en la Figura 6A, la cual propongo basándonos en el mapeo inicial, es un terreno perteneciente a la fuerza naval, con una extensión total de 1,59 hectáreas, adecuado para la instalación de paneles solares. Esta área fue seleccionada considerando factores clave, como su buena extensión y localización, ya que se encuentra en una zona con alta radiación solar, cercana al puerto. Además, la uniformidad del terreno, y su fácil accesibilidad son aspectos importantes que la hacen viable para el proyecto.

No obstante, la cercanía de esta área a la costa presenta posibles desventajas. La brisa marina, al transportar polvo y sal, podría generar una acumulación que obstruya el funcionamiento de los paneles solares y potencialmente dañe sus componentes eléctricos, incrementando la necesidad de mantenimiento. Adicionalmente, al tratarse de un terreno de propiedad del Estado Ecuatoriano bajo la administración y uso de la Armada, existe incertidumbre respecto a su posible cesión para el proyecto. Si bien el municipio ejerce competencias en ordenamiento territorial, estas deben coordinarse y respetar el régimen especial de las áreas militares. Por lo tanto, cualquier plan de desarrollo o uso de suelo que involucre estos terrenos requeriría una coordinación y autorización especial entre la institución militar y el municipio, en observancia de las leyes y regulaciones pertinentes.

En áreas similares a las ilustradas en la Figura 6B, correspondientes a techos de casas, edificios o instituciones, existe la oportunidad de fomentar la independencia eléctrica de organismos públicos mediante la implementación de energía limpia. No obstante, estas zonas presentan la desventaja de un espacio limitado para la instalación. Esta restricción, sumada a los posibles desafíos de limpieza y mantenimiento derivados de su relativa cercanía a la playa, condiciona la viabilidad de estas ubicaciones.

Aunque el área disponible en el techo del GAD Municipal de San Cristóbal es limitada, su aprovechamiento podría contribuir a la independencia energética de esta institución pública. La instalación de paneles solares en techos y edificios es una práctica cada vez más común, ya que permite aprovechar mejor el espacio disponible sin necesidad de ocupar más terrenos. No obstante, es importante evaluar la capacidad estructural del techo para identificar si pudiera soportar el peso de los sistemas fotovoltaicos, así como considerar los desafíos de accesibilidad y mantenimiento que implica trabajar en altura.

Se eligió la zona de la Figura 6C debido a su amplia extensión, la cual no afectaría a las personas, y ofrece un área con buena radiación solar. El terreno es bastante amplio, lo que lo convierte en un lugar ideal para la instalación de los paneles solares, sin que se presenten grandes problemas en cuanto a su uso. Esta área, ubicada junto al Colegio Ignacio Hernández, tiene varias ventajas que la hacen adecuada para su consideración.

En primer lugar, su tamaño permitiría la instalación de una cantidad considerable de paneles solares, lo que contribuiría de manera significativa a la generación de energía renovable. Otro factor favorable es su cercanía al puerto, lo que facilita el transporte y la logística durante las fases de construcción e instalación de la planta solar. Sin embargo, es fundamental evaluar detenidamente la propiedad y el uso actual del terreno, ya que podrían ser necesarios permisos y aprobaciones para su uso con fines de generación de energía. Además, la proximidad de las viviendas cercanas podría generar molestias para los residentes, lo que debe de tenerse en cuenta en el proceso de planificación.

En cuanto a la Figura 6D, esta zona es favorable en términos de radiación solar, ya que el aeropuerto de la isla ya ha implementado su propio parque solar. El terreno, que es parte del colegio Liceo Naval, podría aprovecharse para la instalación de nuestros paneles, lo que permitirá suministrar energía tanto al aeropuerto como al colegio y a la red local. Su

ubicación estratégica facilita la integración con la infraestructura existente, optimizando así la distribución y aprovechamiento de la energía generada.

Dado que se trata de terrenos pertenecientes al colegio, sería necesario gestionar los permisos y acuerdos correspondientes con las autoridades educativas. No obstante, esta situación podría representar una oportunidad para involucrar a la comunidad estudiantil en proyectos de educación ambiental y sensibilización sobre el uso de energías renovables. Además, al estar ubicada una zona alejada de viviendas relativamente cercanas, se minimizaría los impactos visuales y las molestias para los residentes. Sin embargo, será necesario evaluar cuidadosamente cualquier posible afectación a las actividades escolares y tomar las medidas necesarias para garantizar la seguridad de los estudiantes.

Por otro lado, la zona mostrada en la Figura 6E está cerca de la central eléctrica de la isla, especialmente en la vía al Progreso. Esta zona se vería beneficiada al estar ubicada cerca de dicha central, lo que facilita el mantenimiento, ya que los materiales no tendrían que ser transportados a largas distancias. Esta área de 6,78 hectáreas ofrece varias ventajas logísticas y técnicas para la instalación de paneles solares. La proximidad a la infraestructura eléctrica existente permitiría una conexión e integración más sencilla de la energía generada al sistema de distribución local.

Además, al ubicarse en una zona industrial y alejada de áreas residenciales, se minimizan los posibles impactos visuales y conflictos con los habitantes cercanos. No obstante, es importante recalcar que se debe evaluar cuidadosamente cualquier afectación a las operaciones de la central eléctrica y tomar las medidas necesarias para garantizar la seguridad de las instalaciones como la del personal. Otro factor por considerar es la accesibilidad de la zona, ya que su proximidad a las principales vías de comunicación facilita el transporte de materiales y equipos durante la construcción y el mantenimiento de la planta solar.

El área representada en la Figura 6F ha sido modificada debido a su proximidad a la Encañada. Inicialmente, se había propuesto una zona de mayor tamaño, pero ahora se ha reducido a un área más pequeña para facilitar su uso, sin dejar de estar cercana a la central eléctrica. Estos ajustes se realizaron para minimizar complicaciones logísticas y ambientales. La nueva ubicación propuesta se encuentra un poco más alejada de esta formación geológica, lo que facilitará la instalación y el mantenimiento de los paneles solares, y también está más cerca de la planta de energía local.

A pesar de su cercanía a la central eléctrica, es fundamental considerar el potencial impacto ambiental sobre la Encañada y su ecosistema circundante. Se deberán realizar estudios detallados de impacto ambiental y tomar las medidas necesarias para mitigar cualquier afectación a esta zona de valor ecológico, especialmente durante la temporada invernal de lluvias, cuando estas áreas pueden convertirse en rutas para el exceso de agua que termina en el mar. Además, será necesario evaluar la accesibilidad a la nueva ubicación propuesta, asegurando que las vías de acceso sean adecuadas para el transporte de materiales y equipos tanto durante la construcción como para el mantenimiento posterior de la planta solar.

Para la zona representada en la Figura 6G, el área original propuesta se modificó en comparación con la que se había ejemplificado por (Bustos et al., 2025, Figura 2), ya que debido a cuestiones de ubicación, no podría ser utilizada en su totalidad. La nueva área es más pequeña, pero su viabilidad ha mejorado gracias a su ubicación y a la disponibilidad de radiación solar. Esta nueva ubicación está más alejada de las zonas residenciales, lo que reduce el impacto visual y las posibles molestias para los habitantes cercanos. A pesar de su tamaño reducido, esta área podría aprovecharse de forma complementaria con otras zonas principales, contribuyendo a la generación de energía renovable de manera distribuida en diferentes puntos de la isla.

Finalmente, la información de las siete áreas se compiló en un solo mapa (Figura 7), el cual muestra las zonas que este estudio propone como viables para la instalación de paneles solares en Puerto Baquerizo Moreno. Este mapa es el resultado de adecuaciones realizadas sobre el mapa original presentado en la Figura 2. Aquel mapa seleccionaba áreas basándose principalmente en la perspectiva de personas ajenas a la comunidad. La perspectiva de un residente local permitió aportar un enfoque más cercano a la realidad de la isla, eligiendo las zonas que realmente se beneficiarían de la radiación solar, lo cual permite una mayor certeza sobre su viabilidad de uso. No obstante, cabe recalcar que esta sigue siendo una propuesta y está sujeta a ajustes posteriores.

Mapa de Zonificación para la Propuesta de Instalación de Paneles Solares en la Isla San Cristóbal, Galápagos

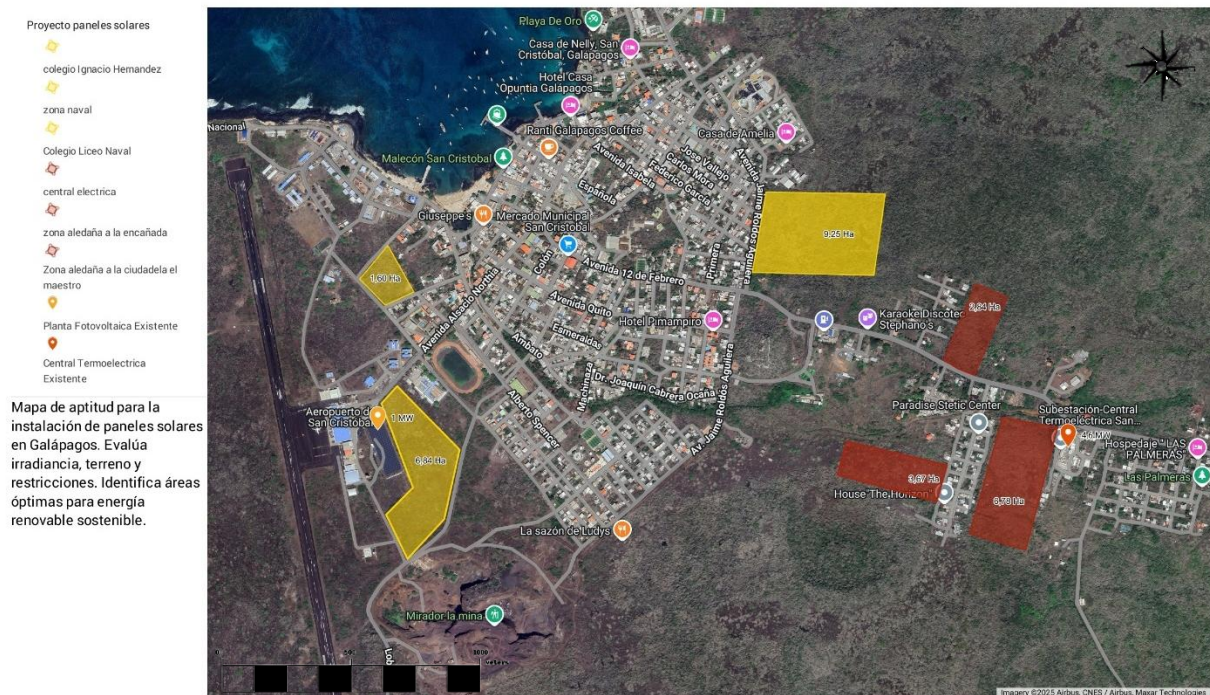


Figura 7 Propuesta final de áreas óptimas para la instalación de paneles solares en la zona portuaria.

La distribución de las áreas propuestas se fundamenta en una estrategia que aprovecha las características y condiciones favorables de cada ubicación identificada. Esta propuesta es el

resultado de un análisis detallado y una adaptación de áreas previamente sugeridas por investigaciones externas. Mi conocimiento local de la isla permitió identificar limitaciones potenciales y ajustar las zonas propuestas en consecuencia, integrando diversas perspectivas analíticas que incluyen el nivel de radiación solar porcentual, mapas de uso de suelo, límites del parque nacional y patrones de crecimiento poblacional.

Este enfoque combinado de análisis técnico y conocimiento local confiere una mayor solidez y viabilidad a la propuesta final. Por lo tanto, es esencial realizar evaluaciones adicionales en el sitio, considerar aspectos legales y obtener los permisos necesarios antes de proceder con la implementación de los proyectos de energía solar en las áreas seleccionadas.

Ecuación 2 Cálculo del potencial energético estimado a instalarse en MW.

$$Potencial = 309.500 \text{ m}^2 * 275 \text{ W} / \text{m}^2 = 85.112,5 \text{ kW} = 85,1 \text{ MW}$$

En la tabla 4 se muestran las ecuaciones y cálculos utilizados para determinar el número de paneles solares requeridos a usarse, abarcando el total de áreas identificadas.

Tabla 4 Estimación del número total de paneles solares requeridos

Np	(Área / Área de un panel solar) * 0,7	
Np	309.500	2
Np	108.325	

Ecuación 3 Número de paneles necesarios para instalarse en el área total obtenida.

$$Np = (\text{Área de un panel solar}) \times 0,7$$

$$Np = \left(\frac{309.500 \text{ m}^2}{2 \text{ m}^2} \right) \times 0,7 = 108.325 \text{ Paneles Solares}$$

En referencia a esto, el valor de 0,7 en la ecuación es un factor de utilización, tomando en cuenta que una instalación solar requiere un área disponible para la instalación de la central de transformación y zonas de mantenimiento.

El potencial calculado del parque solar una vez instalado es de 85,1 MW. Para alcanzar esta potencia, se requerirán alrededor de 108.325 paneles solares de 275 W/m² cada uno, en un área aproximada de 30,95 Ha (Hectáreas) delimitadas en las áreas previamente identificadas en este documento. Estos cálculos son fundamentales para dimensionar adecuadamente el proyecto y estimar recursos y costos asociados a la adquisición e instalación de los sistemas fotovoltaicos. Además, brindan una idea clara del impacto potencial en términos de generación de energía renovable para la isla.

DISCUSIÓN

La presente sección tiene como objetivo analizar los resultados obtenidos en relación con los objetivos específicos planteados al inicio de esta investigación, así como contrastarlos con la literatura existente y discutir sus implicaciones para el desarrollo de energía solar sostenible en la isla San Cristóbal. Las mejores áreas para la instalación de paneles solares son aquellas que no solo se encuentran fuera de las zonas restringidas o de conservación. Así, la combinación del mapa de radiación solar y el de limitaciones territoriales permite una evaluación integral, priorizando las zonas con mayor radiación solar, con suelos adecuados y que no estén sujetas a limitaciones territoriales. A continuación, se detalla la relación de los hallazgos con cada uno de los objetivos específicos:

1. Relación con los Objetivos

Los resultados obtenidos muestran que en la isla San Cristóbal existen áreas suficientes, y cercanas al casco urbano, para instalar la capacidad total de plantas solares fotovoltaicas

proyectada hasta el año 2050, prevista en 25,83 MW (Bustos et al., 2025) lo que representa una superación significativa, llegando a 85,1 MW en comparación con los 25,83 MW proyectados. La selección de estas áreas se basó en criterios técnicos específicos, como una radiación solar anual superior a 5 kWh/m²/día, lo cual garantiza un alto rendimiento energético de los paneles solares, y la presencia de pendientes menores al 15%, lo que facilita su instalación, disminuye los costos de construcción y reduce riesgos geotécnicos, como desplazamientos de tierra.

Este estudio se distingue por su enfoque territorial detallado, centrado especialmente en la isla San Cristóbal. A diferencia del trabajo publicado por Tian et al., (2021), centrado en sistemas fotovoltaicos en techos en Puerto Baquerizo Moreno y Puerto Ayora, este análisis abarca terrenos abiertos, ofreciendo una perspectiva más amplia y coherente con el ordenamiento ecológico del territorio. Mientras que en el documento de Tian et al., (2021) destaca una posible superación de la demanda actual de energía solar en 4,8 y 3,7 veces en dichas localidades. Nuestro estudio complementa este hallazgo al identificar zonas específicas de alto potencial solar para una planeación más estratégica a nivel territorial. Mientras que Pizarro et al., (2019) se centran en techos urbanos, esta investigación se distingue por evaluar terrenos abiertos y adoptar una perspectiva más integral al analizar factores como accesibilidad, pendientes, viabilidad ambiental y cercanía a infraestructuras eléctricas.

Otro estudio relevante es el de Álvarez et al., (2022), que propone un sistema energético completamente descarbonizado para las islas Galápagos, con una meta a alcanzar de un 100% de energías renovables para 2050. Este objetivo se alinea con el énfasis en la energía solar del presente estudio, ya que ambos reconocen el papel clave de la energía solar en la transición hacia fuentes limpias. No obstante, este trabajo se diferencia por la elaboración de una cartografía específica para la isla San Cristóbal. Esta cartografía identifica áreas óptimas para

la instalación de plantas solares fotovoltaicas, evaluando su viabilidad técnica y ecológica mediante un análisis espacial.

Para respaldar la selección de estas zonas se utilizó la base de datos de **Solargis (Atlas Solar Global)**, una plataforma ya validada en otros estudios internacionales como el de Al-Ali et al., (2024), donde se aplicó con éxito para la toma de decisiones en la identificación y selección de ubicaciones para parques fotovoltaicos en Emiratos Árabes Unidos. Esto fortalece los criterios dentro de la metodología del presente análisis, al garantizar que las áreas propuestas tengan un alto potencial energético.

La identificación de estos espacios no solo responde a una necesidad técnica, sino también ambiental y socioeconómica. Promueve la conservación de San Cristóbal como área protegida, al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y fomentar el uso sostenible de los recursos naturales. Esta transición energética favorece la biodiversidad local y aporta a la resiliencia del sistema energético insular, mediante una matriz energética diversificada que incluye energía solar. En este sentido, se contempla el uso de una red que permita compartir el excedente energético generado por los paneles, aliviando así el impacto ambiental de la generación fósil. Además, se plantea la instalación de paneles solares más pequeños en instituciones públicas y viviendas particulares interesadas, ofreciendo la posibilidad de incentivos económicos (como la reducción en los pagos por consumo eléctrico) si no se concreta la instalación de grandes plantas en las áreas previamente designadas.

A partir de la identificación de las zonas con mayor potencial para la captación solar, este estudio propone siete ubicaciones específicas dentro del casco urbano de San Cristóbal que cumplen con los criterios técnicos y ambientales establecidos. Entre ellas, se destacan dos principales por su extensión y potencial: un área de 8,44 hectáreas perteneciente a la Unidad Educativa Liceo Naval, ubicada cerca del Aeropuerto, y una zona urbana circundante al

puerto, que comprende unas 22,51 hectáreas. Estas áreas fueron seleccionadas por presentar alta radiación solar, pendientes favorables inferiores al 15%, y proximidad tanto a zonas urbanas como a la infraestructura eléctrica existente. Estos factores optimizan la eficiencia energética de los futuros parques solares y, además, reducen los costos asociados a su construcción, mantenimiento y conexión con la red local, facilitando una solución ágil frente a posibles contingencias o averías.

Además de los criterios mencionados, se priorizaron áreas con acceso directo a caminos existentes y cercanía a la red eléctrica, alejadas de zonas protegidas, de riesgo natural o con densa cobertura vegetal, en un esfuerzo por preservar el ecosistema único de la isla y minimizar el impacto ambiental del proyecto. La selección de estos sitios se basó en el análisis cruzado de diversas fuentes, incluyendo el Atlas Solar Global 2.0, (2024), mapas de uso del suelo y proyección de crecimiento poblacional, permitiendo identificar terrenos ubicados dentro del perímetro urbano actual, pero fuera del Parque Nacional Galápagos. De esta manera, esta estrategia responde a la necesidad de evitar conflictos futuros relacionados con el desarrollo urbano o con restricciones derivadas del ordenamiento territorial vigente.

Tal como se advierte en el documento de Ascensão et al., (2023), aunque los sistemas fotovoltaicos representan una solución limpia frente a la generación eléctrica basada en combustibles fósiles, implican un uso extenso del suelo, mayor que el requerido por plantas de generación eléctrica con combustibles fósiles. Por ello, una adecuada selección de sitios resulta crucial, para evitar interferencias con el crecimiento urbano o la conservación ambiental. En este sentido, la inclusión del criterio topográfico también responde a objetivos prácticos económicos. Según R. Hernandez et al., (2015), terrenos con pendientes inferiores al 15 % reducen los costos de nivelación, facilitan la instalación de paneles y minimizan el impacto ambiental, condiciones que precisamente se cumplen en los terrenos propuestos.

Además del impacto ambiental, esta transición hacia fuentes limpias incide directamente en la economía local, la reducción en la dependencia de combustibles fósiles disminuirá la necesidad de importación de estos recursos, lo que, a su vez, implica un alivio económico para la isla al reducir los gastos asociados a la importación de combustibles. Esta transformación energética también contribuye a la mitigación de la huella de carbono, una medida esencial en territorios insulares como San Cristóbal, especialmente vulnerables al cambio climático. En consecuencia, la correcta selección de los terrenos en términos de radiación solar, accesibilidad, topografía y ubicación garantiza la viabilidad del proyecto sin comprometer áreas protegidas o ecológicamente sensibles.

Finalmente, la implementación de parques solares en los terrenos identificados podría generar beneficios sociales adicionales, como la creación de empleo local vinculado a la instalación, operación y mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. La materialización de estos beneficios sociales dependerá de la factibilidad logística de acceso e implementación en las zonas seleccionadas, aspecto que se consideró desde el inicio del análisis. Así, la implementación de estos parques solares se presenta como una vía para contribuir al desarrollo sostenible de San Cristóbal y, al mismo tiempo, fortalecer su capacidad de resiliencia energética y económica.

En este contexto, resulta fundamental destacar que las zonas seleccionadas para el presente estudio no se ubican dentro de los límites del Parque Nacional Galápagos ni en áreas categorizadas como ambientalmente sensibles, como zonas de reproducción o tránsito de fauna silvestre. Esta condición no solo fortalece la viabilidad ambiental del proyecto, sino que también permite avanzar hacia una transición energética sin comprometer los objetivos de conservación que rigen al archipiélago. Si bien diversos estudios previos han analizado el potencial de la energía solar en Galápagos, este trabajo ofrece un enfoque diferencial al

centrarse específicamente en la localización óptima para la instalación de parques solares conectados a la red eléctrica local.

Por ejemplo, el estudio de Yanes Mijas, (2024) analiza los beneficios ambientales de la transición energética en San Cristóbal, destacando la reducción de emisiones de CO₂ mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos. Asimismo, el caso de estudio de Mora Zavala, (2024) profundiza en la gestión del ciclo de vida útil de las baterías que se usan en sistemas solares fotovoltaicos, centrándose principalmente en cómo darle una segunda vida sostenible en la isla San Cristóbal. No obstante, a diferencia de estos enfoques centrados en los beneficios o la sostenibilidad del almacenamiento, el presente estudio contribuye al debate al identificar de manera específica zonas con el mayor potencial físico, técnico y ambiental para el despliegue de parques solares a nivel territorial.

Este análisis se apoya en datos como los proporcionados por Pizarro et al., (2019), quienes evidencian que la energía solar aun representa el 4,1% de la generación eléctrica en Galapagos, dentro de un 15% total de fuentes renovables. Ante los planes de instalar 28,5 MW adicionales de capacidad renovable para 2025, se hace evidente la necesidad de propuestas técnicas como esta, que proporcione una base territorial sólida sobre la cual se puedan desarrollar nuevas infraestructuras energéticas. Sin embargo, la sola disponibilidad del terreno o radiación solar no garantiza el éxito de un proyecto resulta igualmente necesario considerar el marco institucional y normativo. La implementación de un sistema de parques solares implica, además, que la empresa eléctrica local asuma la responsabilidad de su operación y comercialización, lo cual conlleva la necesidad de adaptar las normativas vigentes y establecer políticas claras de regulación y control.

Cabe destacar que una de las limitaciones de los sistemas docéticos independientes es su desconexión de la red eléctrica local, lo que contradice el objetivo de este estudio, orientado

hacia una transición energética estructural, en este sentido, la propuesta de parques solares conectados directamente a la red busca no solo mejorar la cobertura eléctrica con fuentes limpias, sino también reformar la estabilidad del sistema energético insular.

Desde el punto de vista ecológico, se realizó un riguroso análisis de viabilidad ambiental, que excluyó zonas de alta biodiversidad o sensibles al impacto de actividades humanas. Como destacan (R. R. Hernandez et al., 2014; Kim et al., 2021; Zhang et al., 2023), la instalación de paneles solares, en especial cuando implica la construcción de caminos de acceso o tendidos eléctricos, puede provocar alteraciones importantes en el hábitat local. Sin embargo, cuando estos proyectos se planifican adecuadamente, pueden convertirse en una oportunidad para la regeneración del entorno. El caso de estudio de Blaydes et al., (2021) demuestra que los parques fotovoltaicos bien diseñados incluso pueden beneficiar a especies polinizadores, contribuyendo simultáneamente a la conservación de la biodiversidad y a la reducción de gases de efecto invernadero.

En consecuencia, la propuesta de este estudio no solo evita impactos negativos, sino que también ofrece un modelo de integración sostenible que se alinea con el plan de ordenamiento territorial vigente y los principios ecológicos del archipiélago. Al conectar zonas de bajo impacto con la red eléctrica, se promueve una transformación estructurada que mejora la calidad de vida de los habitantes, garantiza un suministro energético confiable y fortalece la cultura de conservación ambiental de la población local. Esta transición energética ordenada y respetuosa con el entorno, que es gestionada bajo criterios técnicos y ambientales, impulsa una visión de desarrollo que respeta el valor y la fragilidad ecológica de los ecosistemas presentes en San Cristóbal y que responde a los desafíos globales frente al cambio climático.

CONCLUSIONES

La identificación de zonas con potencial para la instalación de paneles solares se basó en el análisis de mapas de radiación solar, uso de suelos y crecimiento poblacional. El análisis espacial evidencia que las ubicaciones que son más adecuadas para los paneles solares se localizan en zonas principalmente cercanas al puerto principal donde se tiene mayor presencia de personas. Debido a esto las zonas seleccionadas tienen parámetros idóneos, ya que son en su mayoría áreas en las que no se necesitaría un gran trabajo para su instalación por el hecho de que son áreas con buen impacto de luz solar además de que las superficies topográficas de las zonas son estables y presentan suelos nivelados o que en su tratamiento futuro no se necesite un trabajo tan exhaustivo.

Se determinó que un área total de 30,95 hectáreas es apta para la instalación de los paneles solares, lo cual permitirá generar una potencia máxima de 85,1 MW, al utilizar el total de las áreas propuestas, con una distribución considerable de 108.325 paneles en el área total designada. En base a esto, se concluye que la opción de la energía solar es una alternativa viable y sostenible para poder satisfacer la demanda de energía eléctrica de la isla de una forma limpia, pudiendo contribuir así a la reducción de la contaminación a base de los gases de efecto invernadero y mejorando y diversificar la matriz energética local. Aunque se han identificado limitaciones y retos, como la precisión del mapeo y el mantenimiento de los paneles solares, este estudio sienta las bases para una implementación exitosa de la energía solar en San Cristóbal.

La presente investigación demuestra la viabilidad y la importancia de implementar plantas solares en la isla San Cristóbal, Galápagos. Mediante un enfoque integral que combina

análisis geoespaciales, consideraciones zonales y evaluaciones de aspectos ambientales, se han identificado áreas óptimas para el aprovechamiento de la energía solar.

Entre las zonas propuestas se encuentran la zona naval, áreas cercanas a colegios e instalaciones públicas, y terrenos adyacentes a áreas como la central eléctrica y el barrio Manzanillo. Estas cumplen con los requisitos de alta radiación solar, topografía adecuada y viabilidad de uso (como la accesibilidad y la cercanía a la red eléctrica). Además, se han evaluado cuidadosamente las ventajas, desventajas y requerimientos específicos de cada ubicación, lo que garantiza una implementación estratégica y sostenible.

De esta manera este proyecto contribuye directamente al desarrollo sostenible y a la conservación del ecosistema de las islas, al tiempo que promueve la autosuficiencia energética y mejora la calidad de vida de los habitantes locales. La transición hacia fuentes de energía renovables como la solar es fundamental para preservar la biodiversidad única de las Islas Galápagos y reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Las perspectivas futuras incluyen el monitoreo continuo del rendimiento de los sistemas instalados y la exploración de nuevas áreas potenciales a medida que la demanda energética aumente y nuevas tecnologías solares se vuelvan disponibles.

Adicionalmente, mediante la instalación de paneles solares más pequeños en áreas de instituciones públicas, así como de las casas de las personas que deseen usar los paneles, bajo la premisa de compartir el excedente de energía, se podría generar un incentivo económico, como en el mejoramiento de costes de pagos de electricidad, lo cual sería una opción en caso de no darse luz verde a la instalación de los paneles en las áreas designadas previamente. En conclusión, este mapeo proporciona una base sólida para la implementación estratégica de paneles solares en San Cristóbal, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la preservación del entorno natural de las Islas Galápagos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al-Ali, S., Olabi, A. G., & Mahmoud, M. (2024). Multi-Criteria Decision Making for Selecting the Location of a Solar Photovoltaic Park: A Case Study in UAE. *Energies*, 17(17), Article 17. <https://doi.org/10.3390/en17174235>
- Álvarez, D., Jurado, F., Tostado, M., & Arevalo, P. (2022). Decarbonization of the Galapagos Islands. Proposal to transform the energy system into 100% renewable by 2050. *Renewable Energy*, 189, 199-220. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.03.008>
- Amaro, R. E., Lengua, I. L., & Miguel, S. E. (2023). Sostenibilidad en la gestión de residuos de paneles solares en España. *Proceedings INNODOCT/22. International Conference on Innovation, Documentation and Education*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:257998854>
- Ampuño Aviles, G. O., & Lata Garcia, J. C. (2022). Sistema de Paneles Solares en la Isla Puná. En *Incidencia de los proyectos de Vinculación con la Sociedad de la Universidad Politécnica Salesiana. Vol 2* (pp. 277-295). Editorial Universitaria Abya-Yala.
- Andrade-Castañeda, H. J., Arteaga-Céspedes, C. C., & Segura-Madrigal, M. A. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero por uso de combustibles fósiles en Ibagué, Tolima (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(1), Article 1. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561
- Angeles, R., Cristina, E., & Escudero, J. A. (2019). *Propuesta de uso de energía solar para el suministro de energía eléctrica y mejora de la eficiencia energética en la Universidad ESAN*. https://repositorio.esan.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12640/1668/2019_IGA_19-1_01_TI.pdf?sequence=1
- Ascensão, F., Chozas, S., Serrano, H., & Branquinho, C. (2023). Mapping potential conflicts between photovoltaic installations and biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 287, 110331. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110331>
- Atlas Solar Global 2.0. (2024). *Datos/información/mapas obtenidos de una aplicación web gratuita desarrollada y operada por Solargis en nombre del Grupo Banco Mundial, utilizando datos de Solargis, con financiación del Programa de Asistencia para la Gestión del Sector Energético (ESMAP)*. <https://globalsolaratlas.info>
- Baracaldo, J., & Coronado, J. (2014). *Utilización de energía solar en la Isla Puná. - REDI | REDI*. https://redi.cedia.edu.ec/document/490795?utm_source=chatgpt.com
- Blaydes, H., Potts, S. G., Whyatt, J. D., & Armstrong, A. (2021). Opportunities to enhance pollinator biodiversity in solar parks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 145, 111065. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111065>
- Bustos, J., Gehlen, L. J., Barreto-Cuesta, V., Hernández-Ambato, J., Guevara-Cabezas, E., & Herrera-Perez, V. (2025). Mapping of Optimal Locations for the Installation of Solar Power Plants to Support the Transition of the Energy Matrix in the Galapagos Islands: International Conference of the TC Electrimacs Committee, ELECTRIMACS 2024. *ELECTRIMACS 2024 - Selected Papers*, 521-535. https://doi.org/10.1007/978-3-031-73921-7_40

- Calderón Carrillo, D. C., & Sornoza Sornoza, D. A. (2016). *Análisis de uso de combustibles fósiles y propuestas de incentivar biocombustibles a base de algas marinas para la preservación del medio ambiente en las Islas Galápagos*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/19201>
- Canaza, F. E. (2022). Efecto de las variaciones climáticas y atmosféricas en el rendimiento energético de los paneles solares monofaciales, Chachapoyas, Amazonas. *Revista Científica Pakamuros*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:259482326>
- Cañar Reinoso, D. D. (2014). *Energía solar térmica para generación de electricidad en el Ecuador*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20895>
- Chavez, D. (2023). *Análisis de Riesgo de la Infraestructura en Puerto Ayora (Galápagos) ante Amenazas Naturales, Sismo y Tsunami, para una posible Instalación Técnica de Paneles Fotovoltaicos* [Universidad de las fuerzas armadas]. <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/36611/1/T-ESPE-052774.pdf>
- Chunga Santos, G. E., Gaibor Encalada, F. D., & Peña E., J. (2022). *Análisis de la corrosión en aleaciones metálicas en Salinas (Ecuador) para determinar su empleabilidad en soportes para paneles solares* [Thesis, ESPOL. FIMCP]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57068>
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos. (2016). *Plan de desarrollo sustentable y ordenamiento territorial del Régimen Especial de Galápagos – Plan Galápagos*. https://www.gobiernogalapagos.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/04/Plan-Galapagos-2015-2020_12.pdf
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos. (2020). *CARTOGRAFÍA DE GALÁPAGOS*. <https://unidosporgalapagos.wordpress.com/wp-content/uploads/2021/05/cartograficc81a-de-galacc81pagos-ok.pdf>
- Coronado Blum, G. J. (2003). *Utilización de energía solar en la Isla Puná*. [Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/5769>
- Eirin, M. S., Messina, D., Lisperguer, R. C., & Pavez, R. S. (2022). *Estudio sobre políticas energéticas para la promoción de las energías renovables en apoyo a la electromovilidad*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a38a4e8f-59fb-4daa-a973-646528bdf4a9/content>
- Espinoza Echeverría, V. S. (2023). *Modelado y análisis del sistema energético ecuatoriano con un enfoque en recursos no renovables*. <https://doi.org/10.35376/10324/61906>
- Gonzáles Peñafiel, G. G., Zambrano Manosalvas, J. C., & Estrada Pulgar, E. F. (2014). *Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna Puerto Roma de la Isla Mondragon del golfo de Guayaquil, provincia del Guayas*. [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6553>
- Gutiérrez, C., Carreño, G., Morón, A., Tobón, Y., & Lopez, G. (2015). Energía solar fotovoltaica en la Isla de San Andrés, Colombia Propuesta para viviendas unifamiliares. *Letras ConCiencia Tecnológica*, 13, 48-53.
- Hernandez, R., Hoffacker, M., Murphy, M., Wu, G., & Allen, M. (2015). *Solar energy development impacts on land cover change and protected areas*. 112(44). <https://doi.org/10.1073/pnas.1517656112>

- Hernandez, R. R., Easter, S. B., Murphy-Mariscal, M. L., Maestre, F. T., Tavassoli, M., Allen, E. B., Barrows, C. W., Belnap, J., Ochoa-Hueso, R., Ravi, S., & Allen, M. F. (2014). Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 766-779. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.041>
- Jaszczur, M., Hassan, Q., Teneta, J., Styszko, K., Nawrot, W., & Hanus, R. (2018). *Estudio de la deposición de polvo y el impacto de la temperatura en el módulo solar fotovoltaico*. https://www.researchgate.net/publication/329212065_Study_of_dust_deposition_and_temperature_impact_on_solar_photovoltaic_module
- Kim, J. Y., Koide, D., Ishihama, F., Kadoya, T., & Nishihiro, J. (2021). Current site planning of medium to large solar power systems accelerates the loss of the remaining semi-natural and agricultural habitats. *Science of The Total Environment*, 779, 146475. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146475>
- Le Calvez, M. (2011). *La dependencia del petróleo: ¿obstáculo o estímulo para un cambio de matriz energética?* <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/3161>
- Liliana, J. L. D. (2020). *Implementación de sistemas fotovoltaicos techos fotovoltaicos para la generación de energía en la Isla Santa Cruz, Galápagos*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/61657>
- Lopez Escola, M., & Krättli, W. (2020). *Diseño y operación de un sistema de energía solar fotovoltaica para islas* [Bachelor thesis, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/335938>
- Mateus, C., Flor, D., Guerrero, C. A., Córdova, X., Benitez, F. L., Parra, R., & Ochoa-Herrera, V. (2023). Anthropogenic emission inventory and spatial analysis of greenhouse gases and primary pollutants for the Galapagos Islands. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(26), 68900-68918. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26816-6>
- Mora Zavala, S. A. (2024). *Evaluación y gestión sostenible de baterías de segunda vida en sistemas solares fotovoltaicos de San Cristóbal, Galápagos* [bachelorThesis, San Cristobal]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/13963>
- Perdomo, B. C. C., Guerrero, J. L. P., & Parra, P. J. R. (2022). Comparación de la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica en los paneles solares para estaciones meteorológicas en diferentes zonas del Ecuador. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:253282232>
- Perlaza, A. J., & Solis, W. M. (2022). *Diseño y análisis del funcionamiento de un sistema de energía renovable para usuarios residenciales de la Comunidad Masa 2* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22813>
- Pino, T. del, & Nicolás, B. (2023). *Impacto de las condiciones climáticas en paneles fotovoltaicos con envejecimiento simulado*. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/21017>
- Pizarro, O., Pereira, R., Tuna, E., & Silveira, J., Luis. (2019). Electricity sector in the Galapagos Islands: Current status, renewable sources, and hybrid power generation system proposal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.03.043>

Revelo Landazuri, J. A. (2023). *Diseño de un sistema de generación fotovoltaica para el edificio del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Francisco de Orellana en base a la normativa ecuatoriana vigente* [bachelorThesis]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26519>

Robles, J. (2022). *Políticas públicas con relación a la protección de la biodiversidad: El caso de las islas Galápagos desde el año 2008* [Tesis Maestría, Universidad Andina Simón Bolívar]. <http://hdl.handle.net/10644/8960>

Solís Gallo, M. C. (2011). *Análisis de los costos y los beneficios económicos de la sustitución de combustibles fósiles por energía renovable para la generación de energía eléctrica. Caso: Proyecto eólico de San Cristobal. Período 2007 - 2009*. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/33752>

Tian, A., Zünd, D., & Bettencourt, L. M. A. (2021). Estimating Rooftop Solar Potential in Urban Environments: A Generalized Approach and Assessment of the Galápagos Islands. *Frontiers in Sustainable Cities*, 3. <https://doi.org/10.3389/frsc.2021.632109>

Vásquez, W. F., Mateus, C., Loyola-Plúa, M. I., Torres-Suárez, J., & Ochoa-Herrera, V. (2024). Tourists' willingness to fund local investments in renewable energy: A contingent valuation study from the Galápagos Islands. *Energy for Sustainable Development*, 80, 101434. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101434>

Yanes Mijas, L. A. (2024). *Análisis del beneficio ambiental por transición energética en Galápagos: Estudio comparativo de emisiones de CO2 en San Cristóbal por implementación de paneles solares* [bachelorThesis, Puerto Baquerizo Moreno]. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/13997>

Zambrano, B. (2024). *Análisis de un sistema de generación distribuida para la reducción de pérdidas técnicas en un sistema de 14 barras* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/28878>

Zhang, H., Zhigang Yu, Y., Chengcheng, Z., Yang, R., Yan, B., & Jiang, G. (2023). Green or not? Environmental challenges from photovoltaic technology. *Environmental Pollution*, 320, 121066. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121066>