

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO AMBIENTAL**

**ÁREAS IDÓNEAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
BASADO EN PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (PAJ)
Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN
AMAZONAS**

**Autor : Bach. Leiber Julón Perez
Asesores : Ing. Nilton Beltrán Rojas Briceño
Ing. Elgar Barboza Castillo**

Registro:

CHACHAPOYAS - PERÚ

2022

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

A mi hija Gabriela Leticia Julón Rojas; a mis padres y hermanos, por su impulso a seguir adelante y ser un profesional.

A MIS AMIGOS

A todas las personas, compañeros y docentes, que en el transcurso de mi carrera han aportado de diferentes maneras.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la vida y las fuerzas para seguir adelante. Y por darme una madre y un padre que, con su apoyo incondicional, llenos de principios y valores, han sabido guiarme por el buen sendero.

A los asesores, Ing. Nilton Beltrán Rojas Briceño y Ing. Elgar Barboza Castillo, porque me brindaron las facilidades para ejecutar esta tesis, su amistad, confianza, paciencia y tiempo para dotar del conocimiento práctico y científico en Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicada a la gestión y manejo de los recursos naturales.

A los docentes miembros del jurado, M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje, Ing. Wildor Gosgot Ángeles y M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina, por sus aportes y recomendaciones al proyecto de tesis, informe inicial e informe final, dando la oportunidad de aclarar las ideas y presentarlas en un lenguaje fácil de comprensión para cualquier lector.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Dr. Policarpio Chauca Valqui

Rector

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Vicerrector Académico

Dra. Flor Teresa García Huamán

Vicerrectora de Investigación

M.Sc. Rosalynn Yohanna Rivera López

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-K

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "ÁREAS IDONEAS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS BASADO EN PROCESO ANALÍTICO SERARBUICO (PAJ) Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN AMAZONAS"; del egresado LEIDER JULÓN PEREZ de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 12 de febrero del 2022


Firma y nombre completo del Asesor

VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

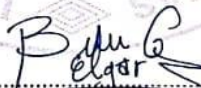
ANEXO 3-K

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

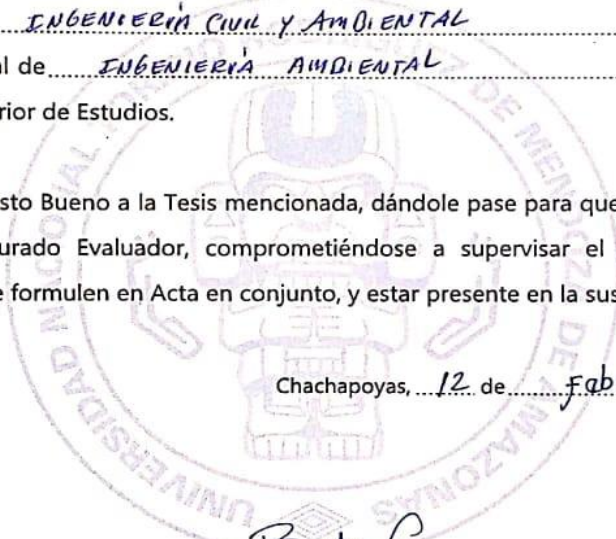
El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X) / Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "ÁREAS IDÓNEAS PARA LA INSTALACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS BASADO EN PROCESO ANALÍTICO SERCABUOCO (PAS) Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) EN AMAZONAS"; del egresado LEIDER JULIÁN PEREZ de la Facultad de INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 12 de febrero del 2022



Firma y nombre completo del Asesor



JURADO CALIFICADOR



M.Sc. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Presidente



Ing. Wildor Gosgot Ángeles

Secretario



M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-0

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

ÁREAS EODNEAS PARA SISTEMAS FOTOVOLTAICOS BASADO EN PROCESO ANÁLITICO JERÁRQUICO (PAJ) Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA-SIG EN AMAZONAS

presentada por el estudiante ()/egresado (X) LEIBER JULÓN PEREZ

de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL

con correo electrónico institucional leiberjulon@gmail.com

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- a) La citada Tesis tiene 18 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- b) La citada Tesis tiene % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.

Chachapoyas, 12 de febrero del 2022



SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:
.....
.....



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-Q

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 28 de Febrero del año 2022, siendo las 19 horas, el aspirante: Bach. Leider Julón Perez defiende en sesión pública

presencial () / a distancia () la Tesis titulada:

Áreas ideóneas para sistemas fotovoltaicos basados en proceso analítico jerárquico (PAJ) y sistemas de información geográfico en Amazonas

teniendo como asesor a Ing. Nilton Beltrán Rojas Briceño y el Ing. Elgar Barboza Castillo, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio

Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Mg. Jefferson Fitzgerald Reyes Farje

Secretario: Ing. Wildor Gosgot Angeles

Vocal: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 20:30 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.

SECRETARIO

VOCAL

PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iv
VISTO BUENO DEL ASESOR 1 DE LA TESIS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR 2 DE LA TESIS.....	vi
JURADO CALIFICADOR.....	vii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	viii
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS.....	ix
CONTENIDO.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
I. INTRODUCCIÓN.....	16
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
2.1. Área de estudio.....	18
2.2. Proceso metodológico.....	18
2.3. Identificación de los criterios que determinan la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas.....	19
2.4. Desarrollo del modelo geográfico para analizar la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas.....	20
2.4.1. Reclasificación de mapas según umbrales de idoneidad.....	20
2.4.2. Ponderación de importancia de mapas de criterios y subcriterios.....	21
2.5. Zonificación áreas idóneas para la instalación de plantas fotovoltaicas en Amazonas con Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	24
III. RESULTADOS.....	25
3.1. Pesos de importancia de criterios para el análisis de idoneidad del territorio.....	25
3.2. Modelos de sub criterios generados según umbrales de idoneidad del territorio.....	26
3.3. Sub modelos (criterios) de idoneidad.....	28
3.4. Modelo de áreas idóneas para plantas fotovoltaicas.....	29

IV. DISCUSIÓN	32
V. CONCLUSIONES	35
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	36
VII. ANEXOS.....	40
Anexo 1. Enlace de información académico-científica de los expertos.....	40
Anexo 2. Matrices originales de expertos en energía fotovoltaica.	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Umbrales de idoneidad de los sub criterios.....	21
Tabla 2. Matriz de comparación por pares para generar el peso relativo de criterios.....	22
Tabla 3. Matriz de comparación por pares para generar el peso relativo de criterios.....	22
Tabla 4. Ejemplo de matriz original completada por los expertos.....	22
Tabla 5. Ejemplo de matriz de normalización.....	23
Tabla 6. Ejemplo de matriz de consistencia lógica.....	23
Tabla 7. Valores del RI basados en el “n” de la matriz según Saaty (1987).....	24
Tabla 8. Expertos que completaron las matrices.....	25
Tabla 9. Pesos de importancia de los criterios y subcriterios por experto.....	26
Tabla 10. Pesos de importancia promedios y estandarizados de los criterios y subcriterios.....	26
Tabla 11. Superficie de idoneidad de subcriterios para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.....	28
Tabla 12. Superficie de idoneidad de submodelos para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.....	28
Tabla 13. Superficie de idoneidad del modelo de áreas idóneas para plantas fotovoltaicas en Amazonas.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del departamento de Amazonas en Perú.	18
Figura 2. Proceso metodológico del estudio.	19
Figura 3. Jerarquía de criterios.	20
Figura 4. Modelos de idoneidad de subcriterios para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.	27
Figura 5. Mapas de submodelos de idoneidad para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.	29
Figura 6. Modelo final de áreas idóneas para plantas fotovoltaicas en Amazona.	30
Figura 7. Distritos con superficie de idoneidad $>4 \text{ km}^2$ de área Adecuada para plantas fotovoltaicas en Amazonas.	31

RESUMEN

Las energías renovables cumplen un papel fundamental para la lucha contra el cambio climático porque reducen la cantidad de gases de efecto invernadero producidos por combustibles fósiles. En ese contexto, se requiere la evaluación del potencial fotovoltaico de los territorios. Por tanto, este estudio determinó las áreas idóneas para la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red (planta fotovoltaica), basado en el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en la región Amazonas. Para lo cual, se identificaron, mapearon y sopesaron 14 criterios que determinan la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas; se desarrolló un modelo geográfico para analizar la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas y se zonificaron áreas idóneas para la instalación de plantas fotovoltaicas. Los criterios físicos fueron más importantes que los socioeconómicos. Y la superposición ponderada de estos criterios (en mapas) permitió identificar que el 10,1% (4253,07 km²), 73,4% (30879,92 km²) y 16,5% (6925,02 km²) del territorio de Amazonas presenta características Adecuadas, Poco adecuadas y No adecuadas, respectivamente, para la instalación de plantas fotovoltaicas. Las provincias de mayor potencial son Bagua y Utcubamba. Finalmente, los resultados de este estudio proporcionan un importante punto de partida para los interesados en invertir en energía renovable, y el conocimiento de la idoneidad de los sitios proporcionará un mayor nivel de confianza, por lo tanto, acelerará el proceso de inversión en energía renovable.

Palabras clave: energía renovable; energía solar; potencial fotovoltaico; selección de sitio.

ABSTRACT

Renewable energies play a fundamental role in the fight against climate change because they reduce the amount of greenhouse gases produced by fossil fuels. In this context, the evaluation of the photovoltaic potential of the territories is required. Therefore, this study determined the ideal areas for the installation of photovoltaic systems connected to the grid (photovoltaic plant), based on the Hierarchical Analytical Process (PAJ) and Geographic Information Systems (GIS) in the Amazonas region. For which, 14 criteria were identified, mapped and weighed that determine the suitability of areas for the installation of photovoltaic systems; A geographic model was developed to analyze the suitability of areas for the installation of photovoltaic plant and suitable areas were zoned for the installation of photovoltaic plant. The physical criteria were more important than the socioeconomic ones. And the weighted superposition of these criteria (on maps) allowed us to identify that 10,1% (4253,07 km²), 73,4% (30879,92 km²) and 16,5% (6925,02 km²) of the Amazonas territory present characteristics that are Adequate, Poorly adequate and Inadequate, respectively, for the installation of photovoltaic plant. The provinces with the greatest potential are Bagua and Utcubamba. Finally, the results of this study provide an important starting point for those interested in investing in renewable energy, and knowledge of the suitability of the sites will provide a higher level of confidence, therefore accelerating the process of investing in renewable energy.

Key words: renewable energy; solar energy; photovoltaic potential; site selection.

I. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables cumplen un papel fundamental para la lucha contra el cambio climático (Creutzig et al., 2017). La dependencia de combustibles fósiles a lo largo de los años ha debilitado el desarrollo de este tipo de energías. A pesar de que la combustión de combustibles fósiles es responsable de alrededor del 70% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) (Johnsson et al., 2019). Sin embargo, actualmente el creciente auge de la energía fotovoltaica está facilitando su accesibilidad, distribución a nivel mundial y reducción de los GEI (Liu et al., 2019). Por ello, el uso de energías renovables como la fotovoltaica, son una gran alternativa sostenible (Hertzberg et al., 2017), técnica y económicamente viable (Mansouri et al., 2019). Por tanto, su despliegue está ganando mayor importancia como energía sostenible para los países que buscan realizar su transición energética justas, democráticas y ecológicas (Burke & Stephens, 2018; Heuberger & Mac Dowell, 2018).

En ese sentido, se requiere evaluar el potencial fotovoltaico del territorio. A nivel regional no se han encontrado referencias con la evaluación espacial de áreas idóneas para parques solares utilizando el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) y Sistemas de Información Geográfica (SIG). Sin embargo, a nivel internacional se encuentran casos que destacan la importancia de evaluar el potencial de las energías renovables debido al agotamiento de las fuentes de energía convencionales (Firozjaei *et al.*, 2019; Zoghi *et al.*, 2017; Janke, 2010). Los resultados de este tipo de estudios proporcionan un importante punto de partida para los interesados en invertir en energía renovable, y el conocimiento de la idoneidad de los sitios proporcionará un mayor nivel de confianza, por lo tanto, acelerará el proceso de inversión en energía renovable (Ali *et al.*, 2019).

Firozjaei *et al.* (2019), utilizaron un análisis basado en SIG para investigar la viabilidad de la energía solar en Irán, mediante un enfoque de Promedio Ponderado Ordenado (PPO). La integración del PPO y el análisis SIG proporcionan modelos que determinaron la prioridad de las regiones, desde la decisión sin riesgos hasta las estrategias de decisión arriesgadas. Los resultados obtenidos mostraron las provincias que tienen una buena capacidad para invertir en proyectos de energía solar. El análisis basado en SIG indica que los valores de los porcentajes de plantas de energía solar instaladas en áreas de alta elección para las estrategias más pesimistas y optimistas son 7% y 64%, respectivamente.

Ali *et al.* (2019), identificaron los lugares para ubicar parques eólicos y solares a gran escala en el sur de Tailandia. El SIG y el PAJ se utilizaron para evaluar diversos criterios fisiográficos,

ambientales y económicos. Además, obtuvieron un mapa de Irradiación Horizontal Global (GHI) con una resolución espacial de 1 km/píxel para los años 2007-2015 de Solargis, así como un mapa eólico (a 100 m de altura) de 200 m de resolución espacial. Los resultados del estudio indican que la zona evaluada tiene áreas de tierra potenciales de hasta 66,113 km² y 844,93 km² disponibles para parques eólicos y solares, respectivamente, aunque solo las áreas de 38,749 km² y 69,509 km², respectivamente, se consideraron "altamente adecuadas".

Asakereh *et al.* (2017), realizaron una priorización de las tierras de Khuzestan (Irán) para instalar granjas solares fotovoltaicas, basadas en aspectos tecnoeconómicos y ambientales. Utilizaron la técnica del PAJ para sopesar los criterios. Los resultados mostraron que la provincia de Khuzestan tiene un gran potencial para generar electricidad solar a través de matrices fotovoltaicas. Según este estudio, el potencial de generación de electricidad solar en Khuzestan a través del peor escenario es aproximadamente 1,75 veces más que la electricidad bruta producida en Irán en 2013. También indican que la instalación de granjas solares en las tierras ubicadas al sur y al suroeste de la provincia, que están en peligro de volverse al desierto, es una buena oportunidad para combatir la propagación de la desertificación.

Zoghi *et al.* (2017), indican que las energías renovables, como la solar, debe usarse con cuidado y planificarse en una ubicación óptima para brindar una gran oportunidad para el crecimiento económico y el desarrollo. El objetivo fue la selección del sitio de optimización en función de la lógica difusa, la combinación lineal ponderada (WLC) que tiene un riesgo promedio y puede involucrar a las capas de prioridad a través de su peso, y el proceso de toma de decisiones de criterios múltiples (MCDM). De esta manera, después de la identificación, la valoración de las capas de criterios utilizando el método difuso debido a su incertidumbre se determinó su importancia y las capas se combinaron. En general, los resultados mostraron que la combinación de lógica difusa, WLC y MCDM tiene una alta precisión y posicionamiento en la ubicación de los sitios solares óptimos y, de esta manera, las capas climáticas son las más importantes.

Esta investigación tuvo por objetivo determinar las áreas idóneas para la instalación de sistemas fotovoltaicos conectados a red (planta fotovoltaica con una superficie disponible para instalación >1 km², según estudio previo de Sánchez-Lozano *et al.* (2013)) basados en PAJ y SIG en Amazonas. Para lo cual, a) se identificaron los criterios que determinan la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas; b) se desarrolló un modelo geográfico para analizar la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas y c) se zonificaron áreas idóneas para la instalación de plantas fotovoltaicas en Amazonas con SIG.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El departamento de Amazonas está ubicado en la región nororiental del país, limita al oeste con el departamento de Cajamarca, al sur con La Libertad, al sureste con San Martín, al este con Loreto y al norte con la República de Ecuador (**Figura 1**). Abarca un área aproximada de 39 306,47 km² de agreste territorio, en su mayoría, cubierto por la Amazonía. Su capital es Chachapoyas y su ciudad más poblada es Bagua Grande. Según el último censo (realizado en 2017) el departamento de Amazonas tiene una población total de 379 384 habitantes, con una densidad de 9,6 hab./km² siendo el cuarto con menor densidad poblacional, por delante de Ucayali, Loreto y Madre de Dios (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018).



Figura 1. Localización del departamento de Amazonas en Perú.

2.2. Proceso metodológico

Para determinar las áreas idóneas para parques solares basados en Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) en Amazonas, se siguió el proceso metodológico indicado en la **Figura 2**.

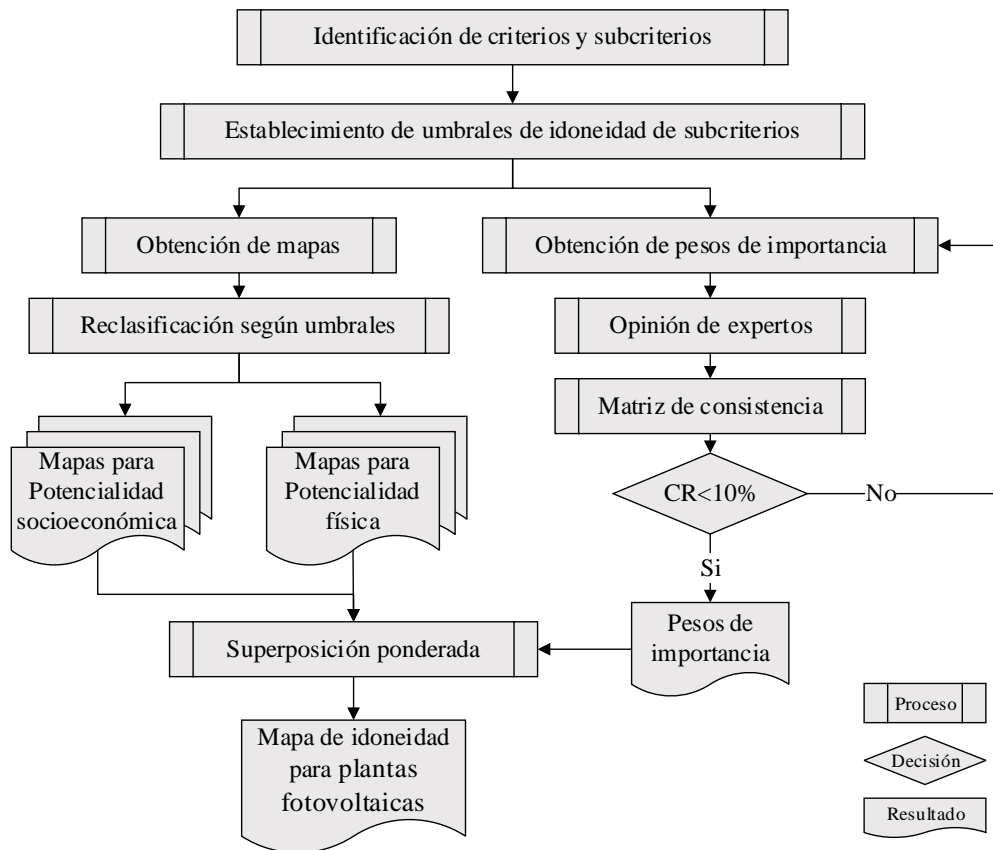


Figura 2. Proceso metodológico del estudio.

2.3. Identificación de los criterios que determinan la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas

La revisión bibliográfica de artículos científicos recientes y de alto impacto (Firozjaei *et al.*, 2019; Zoghi *et al.*, 2017; Janke, 2010; Ali *et al.*, 2019; Asakereh *et al.*, 2017) permitió la identificación de los criterios que determinan la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas. Para aplicar el Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) se agruparon en criterios físicos socioeconómicos y subcriterios, los cuales correspondieron a una jerarquía de análisis cada uno (**Figura 3**).

Los datos de cada criterio se obtuvieron de entes gubernamentales encargados de generar la información espacial correspondiente a su área. La red vial se obtuvo del portal web del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2019). La pendiente y aspecto del terreno se generó a partir del ASTER GDEM (Aster Global Digital Elevation Model), de 90 metros de resolución espacial, descargado del Geo Servidor del Ministerio del Ambiente (MINAM, 2019). Las Áreas Naturales Protegidas se obtuvieron del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP, 2019).

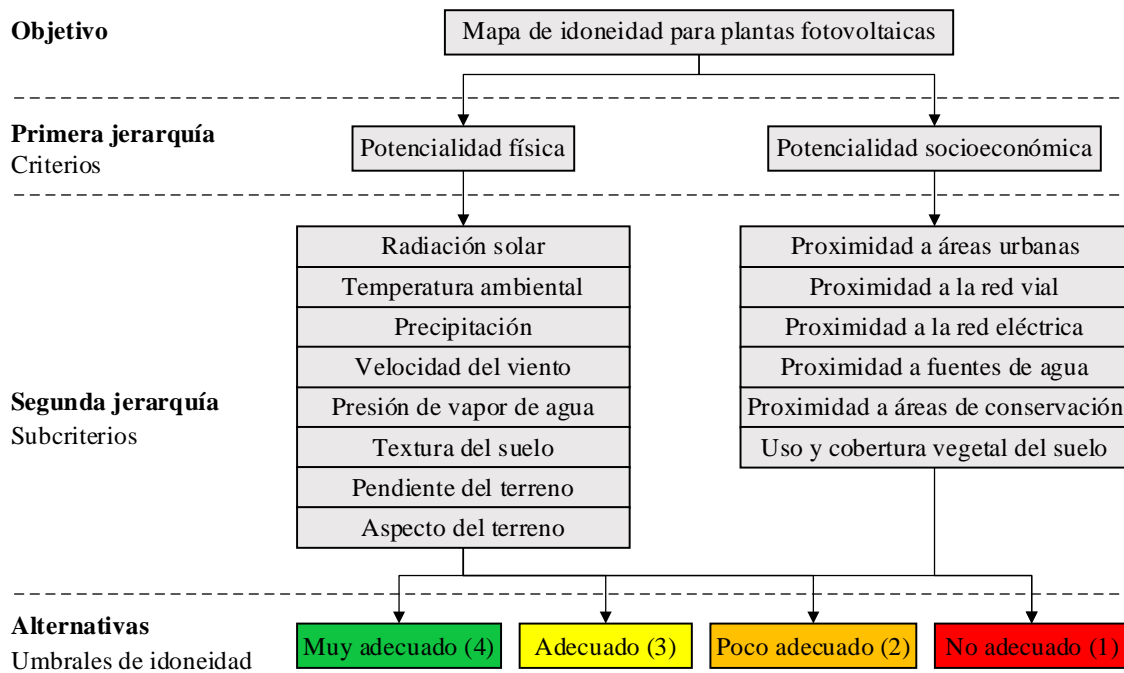


Figura 3. Jerarquía de criterios.

La radiación solar, temperatura ambiental, precipitación, presión de vapor de agua y velocidad del viento se obtuvieron de la versión 2 de WorldClim (<https://www.worldclim.org/>). Esta base ofrece datos mensuales promedio de los criterios de interés, obtenidos en base a datos de estaciones meteorológicas mundiales desde 1970 hasta el 2000 (Fick & Hijmans, 2017). La textura del suelo se obtuvo del sistema de mapeo digital global de suelos SoilGrids, con resolución espacial de 250 metros (Hengl et al., 2017).

En relación a la red eléctrica, esta se obtuvo de la base de datos del Ministerio de Energía y Minas (MINEM, 2021). El Uso y Cobertura de la Tierra (LULC) fue obtenido de la base de datos de la Agencia Espacial Europea Copernicus (<https://lcviewer.vito.be/>) (Martins et al., 2020), de modo que se emplearon la clasificación de uso que propone a nivel mundial.

2.4. Desarrollo del modelo geográfico para analizar la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas

2.4.1. Reclasificación de mapas según umbrales de idoneidad

A cada criterio se le reclasificó los píxeles y se les otorgó una puntuación de acuerdo con la idoneidad; los muy adecuados obtendrán una puntuación de 4, los adecuados una puntuación de 3, los poco adecuados una puntuación de 2 y una puntuación de 1 a los no adecuados (**Tabla 1**).

Tabla 1. Umbrales de idoneidad de los sub criterios.

Criterios/Subcriterios	No adecuado (1)	Poco adecuado (2)	Adecuado (3)	Muy adecuado (4)	Base bibliográfica
Físicos					
Irradiancia Solar (kWh m ⁻²)	< 3.5	3.5 – 4	4 – 5	> 5	Rios & Duarte (2021)
Temperatura ambiental (°C)	< 15, > 30	15 – 17	17 – 21	21 – 25	
Precipitación anual (°C)	> 600	400 – 600	200 – 400	< 200	Ruiz et al. (2020)
Velocidad del viento (mm/año)	< 4	4 – 4.5	4.5 – 5, > 8	5 – 8	
Presión de vapor de agua (%)	> 1	0.9 – 1	0.8 – 0.9, < 0.6	0.6 – 0.8	Prieto-Amparán et al. (2021)
Textura del suelo ¹	--	Sa, LS, SL	L, SiL, Si, SaCL, CL,	SiCL, SaC, SiC, C	
Pendiente del terreno	> 20	15 – 20	9 – 15	< 9	Türk et al. (2021)
Aspecto del terreno (%)	S	SE, SW	E, W, NE, NW	N	
Socioeconómicos					
Proximidad a áreas urbanas	< 1.5, > 20	10 – 20	2 – 10	1.5 – 2	
Proximidad a la red vial	< 0.1, > 7.5	5 – 7.5	3.5 – 5	0.1 – 3.5	Prieto-Amparán et al. (2021)
Proximidad a la red eléctrica	< 0.1, > 7	5 – 7	2 – 5	0.1 – 2	
Proximidad a fuentes de agua	< 0.5, > 10	5 – 10	1 – 5	0.5–1	Ruiz et al. (2020); Yousefi et al. (2018)
Proximidad a áreas de conservación	< 0.1	0.1 – 2	2 – 5	> 5	
Cobertura vegetal y uso del suelo (CVUS) ²	(1)	(2)	(3)	(4)	Prieto-Amparán et al. (2021); Rios & Duarte (2021)

¹ Sa (Sand); LS (Loamy Sand); SL (Sandy Loam); L (Loam); SiL (Silt Loam); Si (Silt); SaCL (Sandy Clay Loam); CL (Clay Loam); SiCL (Silty Clay Loam); SaC (Sandy Clay); SiCC (Silty Clay) and C (Clay)

² (1): cuerpos de agua, bosque; (2): agricultura, arbustos; (3): matorrales, pastizales y (4): suelo desnudo

Todos los mapas temáticos de cada criterio fueron analizados con QGIS 3.6.3 'Noosa'. Los datos descargados de los portales web de los entes gubernamentales se estandarizaron en tres criterios: sistema de coordenadas (UTM 18 Sur), límites cartográficos ajustados al departamento de Amazonas e igual resolución espacial de las capas ráster de trabajo (tamaño de píxel igual a 1 km como Sánchez-Lozano et al. (2013)).

2.4.2. Ponderación de importancia de mapas de criterios y subcriterios

El modelo que se desarrolló para la toma de decisiones en relación a la idoneidad de áreas para parque solares, comprende una serie de criterios que se clasifican y desarrollan en una serie de sub criterios (**Figura 2**). Los criterios se agruparon en sub criterios según sus características compartidas (**Figura 3**). Se asignó un peso relativo para cada factor utilizando un procedimiento de comparación por pares (**Tabla 2**) que emplea el método del Proceso Analítico Jerárquico (PAJ) (Wind & Saaty, 1980).

Tabla 2. Matriz de comparación por pares para generar el peso relativo de criterios.

Crterios	A	B	C	D	E	Peso (%)
A	1					a
B		1				b
C			1			c
D				1		d
E					1	e
Relación de consistencia (CR < 0,1)						1,00

Fuente: Wind & Saaty (1980).

La comparación por pares necesita que se otorgue jerarquías de importancia (**Tabla 3**) al comparar los sub criterios en la matriz de la **Tabla 2**. La encuesta para expertos (<https://pollahp.indes-ces.edu.pe/solar/>) fue diseñada y enviada mediante correo electrónico, a investigadores de universidades, instituciones públicas y empresas.

Tabla 3. Matriz de comparación por pares para generar el peso relativo de criterios.

Nivel de importancia	Condición de importancia comparativa	Explicación
1	Igual importancia	Dos variables contribuyen igual en el objetivo
3	Importancia débil de una sobre la otra	La experiencia y el juicio favorecen firmemente una variable sobre la otra
5	Importancia marcada o esencial	La experiencia y el juicio favorecen firmemente una variable sobre la otra
7	Importancia demostrada	Una variable es fuertemente favorecida y su importancia se ha demostrado en la práctica.
9	Importancia absoluta	La evidencia favorece una variable sobre la otra, es la jerarquía más alta de afirmación.
2, 4, 6, 8	Importancia intermedia entre las dos jerarquías adyacentes	Cuando se hace necesario un acuerdo o arreglo.
Recíprocos	Opuestos	Opuestos

Fuente: Wind & Saaty (1980).

Un ejemplo de matriz original completada a partir de las encuestas de expertos se indica en la **Tabla 4**. La diagonal siempre será 1 y se completa sólo la diagonal superior, porque la diagonal inferior son los valores recíprocos. Luego, el grado de consistencia lógica entre la comparación por pares de los expertos se determinó calculando un índice de consistencia (CI) de cada matriz con la **Ecuación 1**.

Tabla 4. Ejemplo de matriz original completada por los expertos.

Subcriterio	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Radiación Solar	F1	1	1/3	3	2	1/2	2	3
Temperatura	F2	3	1	5	3	2	3	3
Precipitación	F3	0.333	0.2	1	1/3	1/5	4	1/3
V. viento	F4	0.5	0.333	3	1	1/3	1/2	1/2
Presión de vapor de agua	F5	2	0.5	5	3	1	1/4	2
Textura	F6	0.333	0.333	3	2	0.5	1	2
Pendiente	F7	0.5	0.333	2	0.5	0.333	1/2	1
Aspecto	F8	1/2	1/3	2	1/2	1/3	4	4
Suma		8.167	3.367	24	12.33	5.2	15.25	15.83

$$CI = \frac{N_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde, n es el número de columnas de la matriz y Nmax es el mayor valor propio que se obtendrá asociado con un vector propio conocido. El Nmax se obtiene de la siguiente manera: $N_{\max} = [\text{Matriz original de juicios}] \times [\text{Pesos de la matriz}]$. Los pesos se obtienen luego de normalizar la matriz por columnas, para lo cual se divide cada puntuación entre la sumatoria de la columna (**Tabla 5**). Para obtener los pesos en la matriz normalizada, se saca el promedio por filas. La suma de los pesos de importancia, por grupo jerárquico, será 1 o 100%. Luego se multiplica la matriz de juicios por los pesos obtenidos y se calcula el Nmax (**Tabla 6**).

Tabla 5. Ejemplo de matriz de normalización.

Subcriterio		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Vector de priorización (VP)	Vector de priorización (%)
Radiación Solar	F1	0.12	0.10	0.13	0.16	0.10	0.13	0.19	0.17	0.14	14
Temperatura	F2	0.37	0.30	0.21	0.24	0.38	0.20	0.19	0.25	0.27	27
Precipitación	F3	0.04	0.06	0.04	0.03	0.04	0.26	0.02	0.04	0.07	7
V. viento	F4	0.06	0.10	0.13	0.08	0.06	0.03	0.03	0.17	0.08	8
Presión de vapor de agua	F5	0.24	0.15	0.21	0.24	0.19	0.02	0.13	0.25	0.18	18
Textura	F6	0.04	0.10	0.13	0.16	0.10	0.07	0.13	0.02	0.09	9
Pendiente	F7	0.06	0.10	0.08	0.04	0.06	0.03	0.06	0.02	0.06	6
Aspecto	F8	0.06	0.10	0.08	0.04	0.06	0.26	0.25	0.08	0.12	12
Suma										1	100

Tabla 6. Ejemplo de matriz de consistencia lógica.

Subcriterio		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	Suma	Suma/VP
Radiación Solar	F1	0.14	0.09	0.20	0.17	0.09	0.18	0.17	0.24	1.27	9.34
Temperatura	F2	0.41	0.27	0.33	0.25	0.36	0.28	0.17	0.35	2.42	9.06
Precipitación	F3	0.05	0.05	0.07	0.03	0.04	0.37	0.02	0.06	0.68	10.15
V. viento	F4	0.07	0.09	0.20	0.08	0.06	0.05	0.03	0.24	0.81	9.81
Presión de vapor de agua	F5	0.27	0.13	0.33	0.25	0.18	0.02	0.12	0.35	1.66	9.29
Textura	F6	0.05	0.09	0.20	0.17	0.09	0.09	0.12	0.03	0.83	8.99
Pendiente	F7	0.07	0.09	0.13	0.04	0.06	0.05	0.06	0.03	0.53	9.03
Aspecto	F8	0.07	0.09	0.13	0.04	0.06	0.37	0.23	0.12	1.11	9.38
Suma											75.05
Promedio = Nmax											9.38

Finalmente, la consistencia permitida (10%) se podrá medir al calcular la Relación de Consistencia (CR):

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Donde, RI es el índice aleatorio que depende del número de elementos que se comparan y ya se encuentran determinados (**Tabla 7**). Si la CR es inferior a 0,1 (10%) el grado de consistencia es satisfactorio; sin embargo, si el CR es superior

0,1 existen inconsistencias y es posible que el método PAJ no arroje resultados significativos, lo que implica que el procedimiento de matriz de comparación por pares debe revisarse.

Tabla 7. Valores del RI basados en el “n” de la matriz según Saaty (1987).

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

2.5. Zonificación áreas idóneas para la instalación de plantas fotovoltaicas en Amazonas con Sistemas de Información Geográfica (SIG)

La capa temática individual se producirá en función de la puntuación de idoneidad y se guardará con un sistema de coordenadas común. Luego, los pesos relativos que se generarán a través de la comparación por pares (**Tabla 5**) utilizando el método PAJ combinado con la puntuación de idoneidad se utilizarán para generar mapas de idoneidad de sub factores utilizando la técnica matemática de combinación lineal ponderada. Este paso se conoce principalmente como evaluación de criterios múltiples (MCE), que implica la integración de múltiples factores o criterios que afectan la idoneidad de áreas para parques solares. Nuevamente, los mapas finales de idoneidad de áreas para parques solares se mapearán utilizando una Combinación Lineal Ponderada (OWA). Cada sub factor se multiplicará por sus pesos correspondientes derivados de la matriz de comparación por pares (**Tabla 5**) y luego se sumará utilizando algoritmos de álgebra de mapas:

$$A_i = \sum_j^i w_j X_{ij}$$

Donde: X_{ij} es el puntaje que se obtendrá de los mapas ráster.

w_j es el peso normalizado, de modo que $\sum W_j = 1$

III. RESULTADOS

3.1. Pesos de importancia de criterios para el análisis de idoneidad del territorio

Los expertos que completaron las comparaciones trabajan principalmente en universidades como catedráticos en tecnología fotovoltaica y física, pero también se tuvieron dos expertos del sector privado (**Tabla 8** y **Anexo 1**). Se construyeron 21 matrices de comparación por pares (MCP), cuatro a dos de subcriterio y uno a nivel de criterio por cada experto que completó las encuestas virtuales (**Anexo 2**). Los expertos tuvieron un rango de experiencia de 3 a 40 años, y se autocalificaron con nivel de experiencia en la temática de la encuesta entre 2-8/10 con promedio 6,1.

Tabla 8. Expertos que completaron las matrices.

Iniciales	Experto	Lugar de trabajo	Origen geográfico	Experiencia (años)	Nivel de experiencia (1-10)
M.A.S.B.	Física	Pontificia Universidad Católica del Perú	Lima	5	2
J.A.P.T.	Catedrático universitario en tecnología fotovoltaica	Pontificia Universidad Católica del Perú	Lima	7	7
M.A.Z.J.	Física	Pontificia Universidad Católica del Perú	Lima	20	5
H.A.L.C.	Ingeniero mecánico	Huaura Power Group S.A.	Lima	3	8
C.A.P.B.	Especialista en energía solar	Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann	Tacna	40	7
A.C.N.	Gestor público empresarial	Novum Solar S.A.C	Lima	3	6
G.N.G.	Catedrático universitario en tecnología electrónica	Universidad de Jaén (España)	Andalucía, España	28	8

Los pesos individuales de cada experto se muestran en la **Tabla 9**, los cuales presentaron $CR > 0.1$. En la **Tabla 10** se muestran los pesos de importancia obtenidas para los 14 subcriterios, con base en las estimaciones combinadas de los siete expertos en energías fotovoltaicas. Los subcriterios de mayor importancia para el criterio físico fueron la radiación solar (41,6%), seguido de aspecto (15,3%). Asimismo, las menos importantes fueron precipitación (1,8%) y la velocidad del viento (2,0%). Respecto al criterio socioeconómico, los subcriterios de mayor importancia fueron proximidad a la red eléctrica (29,4%) y proximidad a las áreas de conservación (26,4%).

Tabla 9. Pesos de importancia de los criterios y subcriterios por experto.

Subcriterio/Criterio	Pesos de importancia (Wi) según experto (Ex)						
	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4	Ex5	Ex6	Ex7
Radiación Solar	0,41	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
Temperatura	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,11
Precipitación	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
V. viento	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Presión de vapor de agua	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Textura	0,11	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10
Pendiente	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13
Aspecto	0,15	0,15	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15
CR	0,08	0,09	0,07	0,09	0,09	0,08	0,10
Proximidad a áreas urbanas	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,08	0,07
Proximidad a la red vial	0,18	0,20	0,18	0,18	0,18	0,20	0,18
Proximidad a la red eléctrica	0,30	0,30	0,29	0,30	0,32	0,28	0,30
Proximidad a agua superficial	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Proximidad a áreas de conservación	0,27	0,26	0,28	0,27	0,26	0,27	0,27
LULC	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14
CR	0,03	0,09	0,03	0,03	0,04	0,06	0,04
Físico	0,67	1,33	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
Socioeconómico	0,33	0,67	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33

Tabla 10. Pesos de importancia promedios y estandarizados de los criterios y subcriterios.

Criterio	Peso	Ranking	Subcriterio	Peso	Ranking
Físico	0,67	1	Radiación Solar	0,42	1
			Temperatura	0,11	4
			Precipitación	0,02	7
			V. viento	0,02	7
			Presión de vapor de agua	0,05	6
			Textura	0,09	5
			Pendiente	0,14	3
			Aspecto	0,15	2
Socioeconómico	0,33	2	Proximidad a áreas urbanas	0,08	5
			Proximidad a la red vial	0,19	3
			Proximidad a la red eléctrica	0,29	1
			Proximidad a agua superficial	0,04	6
			Proximidad a áreas de conservación	0,26	2
			CVUS	0,14	4

3.2. Modelos de sub criterios generados según umbrales de idoneidad del territorio

La **Figura 4** muestra los modelos reclasificados, según umbrales de idoneidad (Tabla 1), de los subcriterios físicos y socioeconómicos. Los sub criterios que poseen área Muy adecuada respecto a su grupo jerárquico de físicos son pendiente del terreno (36,7%), temperatura (33,5%) y aspecto del terreno (11,3%) (**Tabla 11**). Mientras que, Proximidad a áreas urbanas (65,1%) y Proximidad a áreas de conservación (36,6%) poseen mayor área Muy adecuada respecto a su grupo jerárquico de subcriterios Socioeconómicos.

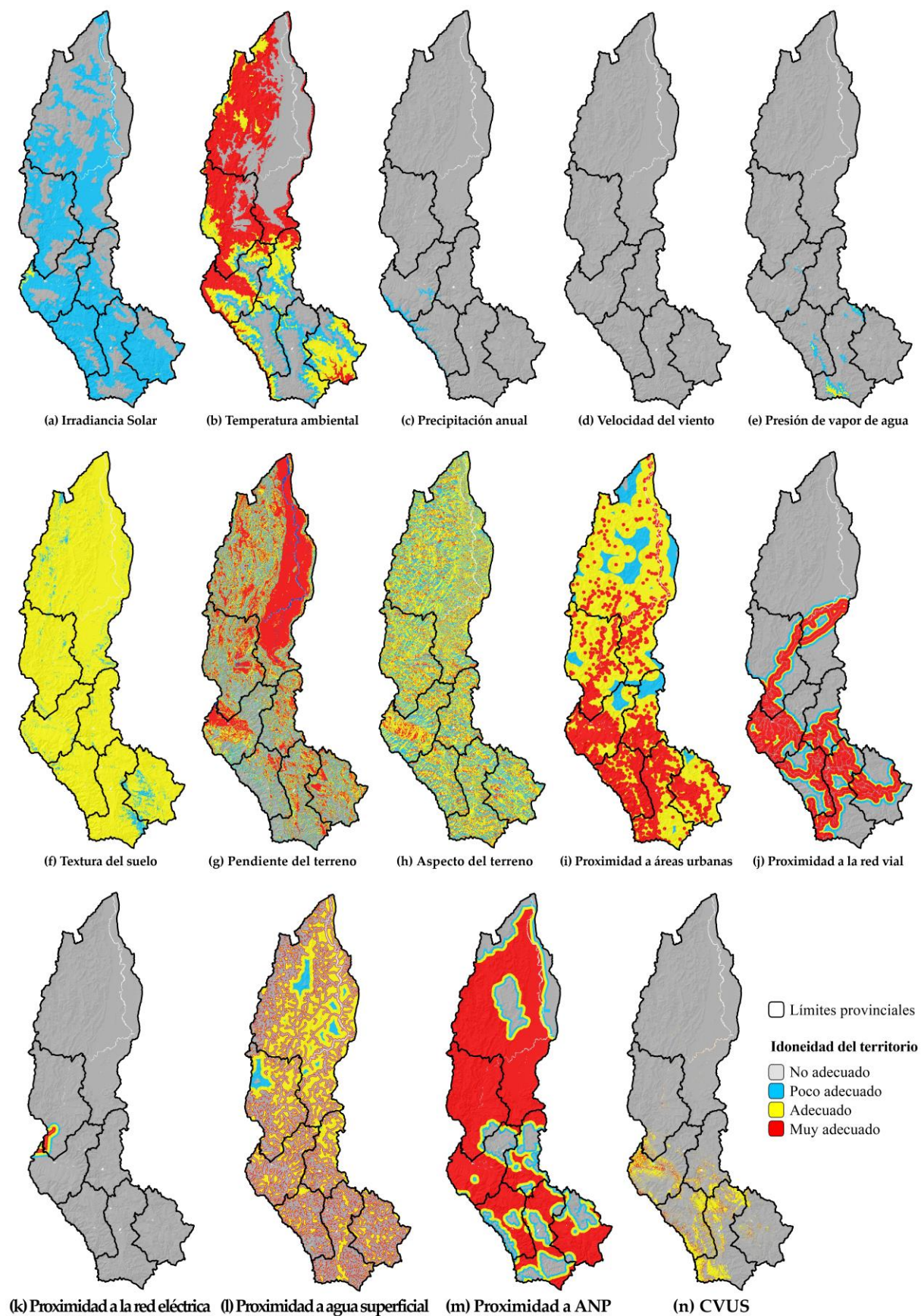


Figura 4. Modelos de idoneidad de subcriterios para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.

Tabla 11. Superficie de idoneidad de subcriterios para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.

Subcriterio	No adecuado (1)		Poco adecuado (2)		Adecuado (3)		Muy adecuado (4)	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Físicos								
Radiación Solar	18436,81	43,8	23487,72	55,9	125,85	0,3	0,00	0,0
Temperatura	15497,76	36,9	3980,62	9,5	8479,78	20,2	14092,22	33,5
Precipitación	41532,86	98,8	515,51	1,2	2,01	0,0	0,00	0,0
Velocidad del viento	42050,37	100,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Presión de vapor de agua	41269,37	98,1	616,10	1,5	161,72	0,4	3,18	0,0
Textura	0,00	0,0	1953,18	4,6	40094,31	95,3	2,88	0,0
Pendiente	8551,61	20,3	6838,36	16,3	11237,23	26,7	15423,17	36,7
Aspecto	4905,35	11,7	10349,94	24,6	22030,68	52,4	4764,41	11,3
Socioeconómicos								
Proximidad a áreas urbanas	374,07	0,9	3944,39	9,4	22358,22	53,2	15373,70	36,6
Proximidad a la red vial	27104,14	64,5	2936,35	7,0	2307,13	5,5	9702,76	23,1
Proximidad a la red eléctrica	41519,94	98,7	153,01	0,4	225,66	0,5	151,77	0,4
Proximidad a agua superficial	18637,44	44,3	923,71	2,2	13400,34	31,9	9088,88	21,6
Proximidad a áreas de conservación	6285,05	14,9	3487,41	8,3	4888,86	11,6	27389,05	65,1
CVUS	37419,86	89,0	84,82	0,2	3632,75	8,6	912,94	2,2

3.3. Sub modelos (criterios) de idoneidad

En la **Figura 5** se observan los dos submodelos obtenidos mediante el uso de la herramienta OWA en ArcGIS y la integración de los pesos determinados por el panel de expertos en energías fotovoltaicas. Sólo el mapa Socioeconómico indica que existen áreas Muy Adecuadas para aprovechar energía fotovoltaica en Amazonas (**Tabla12**). Mientras que el área Adecuada que presentan el submodelo físico y socioeconómico representan el 10,6% y 18,4% de Amazonas, respectivamente.

Tabla 12. Superficie de idoneidad de submodelos para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.

Submodelo	No adecuado (1)		Poco adecuado (2)		Adecuado (3)		Muy adecuado (4)	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Físico	1241,32	3,0	36357,13	86,5	4451,93	10,6	0,00	0,0
Socioeconómico	7072,64	16,8	27105,05	64,5	7718,87	18,4	153,82	0,4

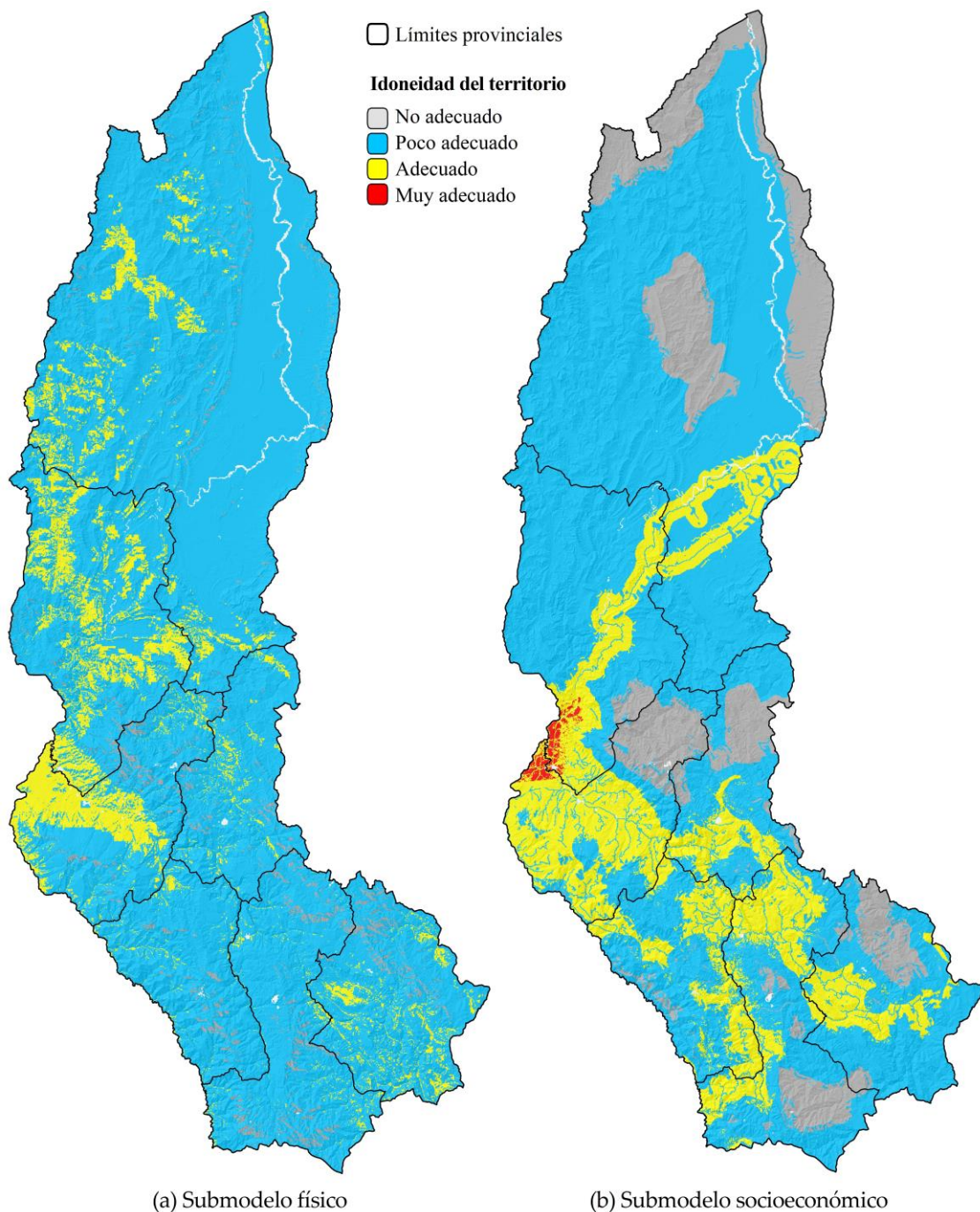


Figura 5. Mapas de submodelos de idoneidad para sitios potenciales para establecer una planta de energía solar en Amazonas.

3.4. Modelo de áreas idóneas para plantas fotovoltaicas

En modelo final de áreas idóneas para plantas fotovoltaicas en Amazonas se muestra en la **Figura 6**. Las ANP se incorporaron como zonas No adecuadas. No se encontraron áreas Muy adecuadas. El 10,1%, 73,4% y 16,5% del territorio de Amazonas presenta características Adecuadas, Poco adecuadas y No adecuadas, respectivamente, para la instalación de plantas fotovoltaicas (**Tabla 13**).

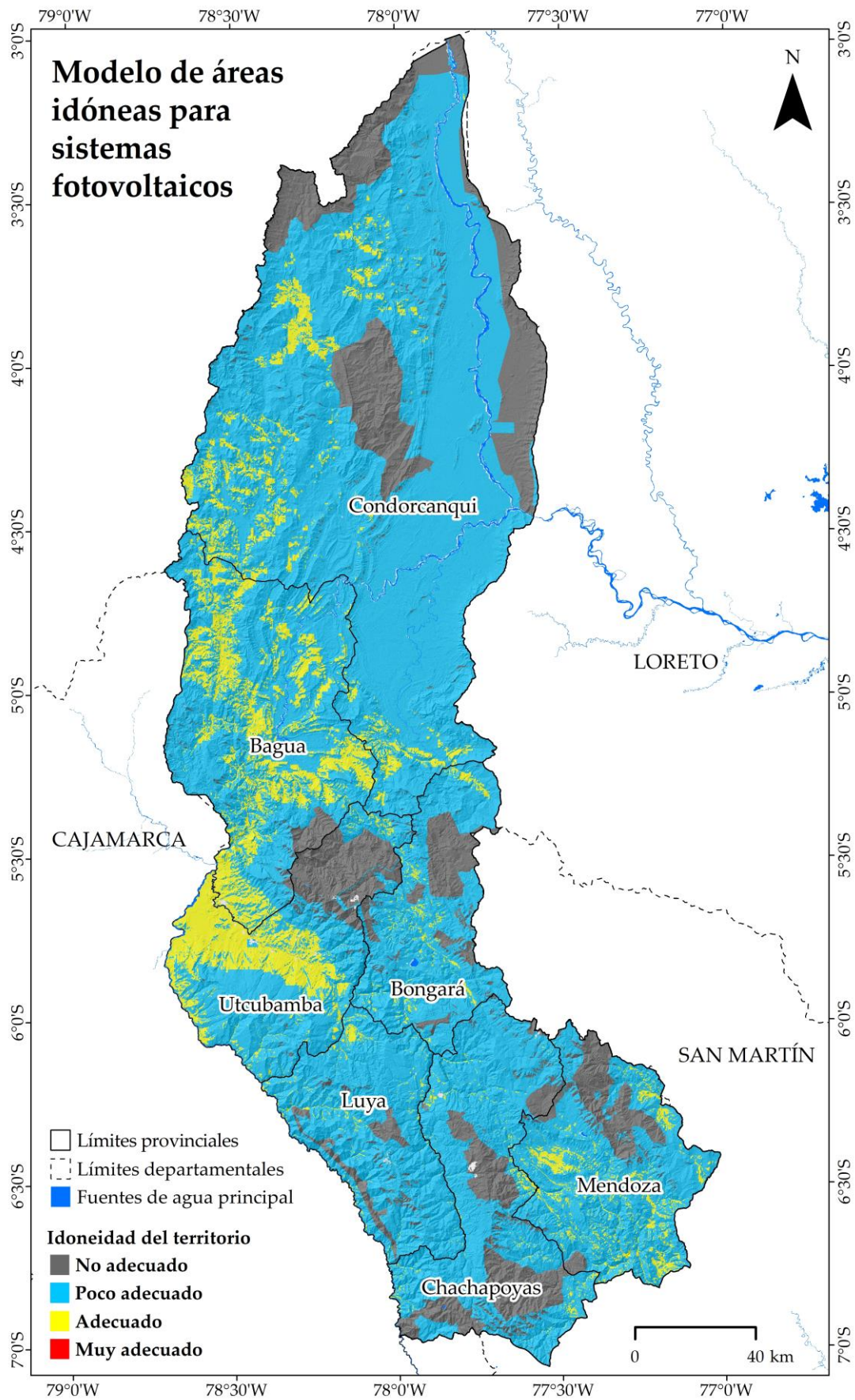


Figura 6. Modelo final de áreas idóneas para plantas fotovoltaicas en Amazona.

A nivel provincial, Bagua (1523,02 km²) y Utcubamba (1059,10 km²) son las que presentan las mayores superficies con características Adecuadas para plantas fotovoltaicas en Amazonas (**Figura 6 y Tabla 13**).

Tabla 13. Superficie de idoneidad del modelo de áreas idóneas para plantas fotovoltaicas en Amazonas.

Amazonas/Provincia	No adecuado (1)		Poco adecuado (2)		Adecuado (3)		Muy adecuado (4)	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Amazonas	6925,02	16,5	30879,92	73,4	4243,20	10,1	0,00	0,0
Bagua	197,83	3,4	4131,67	70,6	1523,02	26,0	0,00	0,0
Bongará	591,22	19,6	2306,59	76,3	124,38	4,1	0,00	0,0
Chachapoyas	1203,27	26,7	3215,53	71,3	92,81	2,1	0,00	0,0
Condorcanqui	3194,28	17,9	13713,89	76,7	963,17	5,4	0,00	0,0
Luya	278,85	9,0	2719,45	87,7	101,25	3,3	0,00	0,0
Rodríguez de Mendoza	657,69	17,7	2685,79	72,1	379,48	10,2	0,00	0,0
Utcubamba	801,89	20,2	2107,00	53,1	1059,10	26,7	0,00	0,0

A nivel de distrito, Imaza (1132,61 km²) en Bagua, El Cenepa (676,27 km²) en Condorcanqui y Bagua Grande (355,21 km²) en Utcubamba presentan las mayores áreas Adecuadas. En las provincias de R. Mendoza, Luya, Chachapoyas y Bongará, Omia (155,71 km²), Santa Catalina (25,69 km²), Chuquibamba (21,82 km²) y Jazán (16,49 km²), respectivamente, son los distritos de mayor área Adecuada.

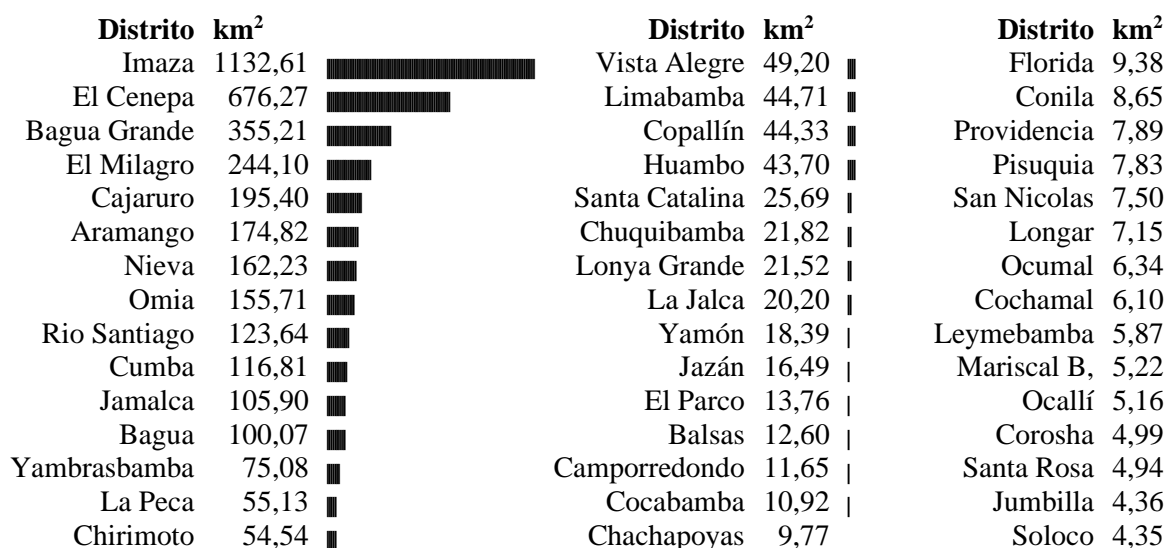


Figura 7. Distritos con superficie de idoneidad >4 km² de área Adecuada para plantas fotovoltaicas en Amazonas.

IV. DISCUSIÓN

A diferencia de estudios previos de idoneidad del territorio para plantas fotovoltaicas conectados a red (Asakereh et al., 2017; Espinoza et al., 2019; Prieto-Amparán et al., 2021), este estudio utilizó diferente número de subcriterios, que estuvieron agrupados en físicos y socioeconómicos. Esto, porque en este tipo de estudios, la cantidad de subcriterios está en función de los datos espaciales disponibles, ya que el principal problema al analizar idoneidad del territorio radica en la falta de datos espaciales de criterios (Francisco et al., 2019). Por ejemplo, el estudio de Ruiz et al. (2020) utilizó variables climáticas propias de las zonas de estudio debido a la disponibilidad y buena densidad de estaciones meteorológicas.

En Perú, y específicamente en la región de Amazonas, la disponibilidad de datos espaciales es escasa, más aún cuando se trata de estudios específicos de criterios biológicos, ambientales y sociales a escalas locales detalladas (Calle et al., 2020). Por tanto, en este estudio se optó por datos climáticos modelados a nivel mundial de WorldClim 2.1 (Fick & Hijmans, 2017) y SoilGrids (Hengl et al., 2017).

En el criterio físico, la radiación solar (41.6%) y aspecto del terreno (15.3%) presentaron mayor importancia según el panel de expertos. Esta tendencia se relaciona con los estudios realizados por Rios & Duarte (2021) y Ruiz et al. (2020). En este estudio se consideró el aspecto del terreno (dirección del terreno), como uno de los criterios de mayor importancia, tal como lo describe Gardashov et al. (2020) en su estudio para determinar la dirección óptima para la instalación de paneles solares. Por otro lado, la precipitación (1%) resultó tener la menor importancia de todos los subcriterios físicos, sin embargo, este subcriterio tiene una importancia debido al tema de mantenimiento (limpieza) de los paneles (Cepeda & Sierra, 2007).

Los subcriterios socioeconómicos de mayor importancia son la proximidad a la red eléctrica (29.7%) y proximidad a áreas de conservación (26.5%). Esto probablemente se deba a la importancia de la interconexión eléctrica nacional, el cual se caracteriza por contribuir a la mejora de los servicios básicos para la población (Tamayo et al., 2016). Además, también resalta la importancia de proximidad a las vías de acceso (18.2%); esto se considera debido a la importancia de accesibilidad para los trabajos de instalación y mantenimiento de plantas fotovoltaicas.

Cabe aclarar que, en los procesos de MCE (como el PAJ implementado en este estudio), las opiniones de los expertos tienen una gran influencia en los resultados porque los pesos podrían estar sesgados (Sarkar et al., 2016). A saber, en este estudio se tuvieron principalmente expertos de universidades y empresas, pero no del sector público en energía del país ni de la región. Por un lado, se pueden generar nuevos modelos en base a mayor número de expertos (de sectores diversificados), para lo cual, la encuesta online en marco de esta tesis seguirá disponible.

Por otro lado, la preocupación de sesgos en los pesos se aborda aplicando técnicas de aprendizaje automático para estimar el peso de cada criterio. En ese sentido, los Modelos de Distribución de Especies (SDM), como el enfoque de Máxima Entropía (MaxEnt) (Phillips et al., 2006), además de modelar la distribución potencial adecuada para una especie y/o actividad concreta, proporciona información sobre la contribución relativa de los criterios ingresados al modelo. Entonces, esta contribución relativa puede ser usada como peso de importancia en la EMC (Rodríguez-Merino et al., 2020). Por ejemplo, se integró PJA y MaxEnt para determinar áreas idóneas para la acuicultura (Falconer et al., 2016).

En la región Amazonas, las provincias de Bagua y Utcubamba son las que presentan las mayores superficies con características Adecuadas para plantas fotovoltaicas. Específicamente, hay áreas adecuadas para energía solar en zonas de escasa cobertura vegetal en Utcubamba. Esto se relaciona con el departamento de mayor potencial solar en Perú como lo es Arequipa (Rios & Duarte, 2021). A nivel de distritos, las zonas bajas presentan mayores áreas Adecuadas. Sin embargo, a diferencias de las tierras bajas, las tierras altas (como Chachapoyas) tienen mayor potencialidad local, debido a la menor temperatura ambiental que presentan. En este contexto, la temperatura ambiental menor permite enfriar a los paneles solares que son expuestos a mayores cantidades de radiación solar difusa (Sarwono & Kusumanto, 2021). Esto es importante, porque cada aumento de 1 °C en la temperatura de la superficie del módulo fotovoltaico provoca una reducción de la eficiencia del 0,5% (Siecker et al., 2017).

Otro factor que influyó para que las zonas altas tengan menores áreas Adecuadas pudo ser la pendiente del terreno, tercero en importancia para los expertos. La unidad de análisis espacial en este estudio fueron píxeles de 1x1 km, entonces, en las zonas sur montañosa de la región, las pendientes promedio superaron el rango adecuado sugerido por Türk et al. (2021). Por el contrario, en la zona norte hay extensas áreas planas. Por

tanto, futuros estudios pueden utilizar datos espaciales mayor resolución espacial y analizar áreas menos extensas y para sistemas fotovoltaicos de menor capacidad, para las zonas rurales de la región.

La metodología empleada en esta investigación destaca el potencial de la técnica de PJA integrado a los SIG y Teledetección, a fin de analizar la idoneidad del territorio para identificar sitios para establecer plantas de energía solar en la región Amazonas. Es decir, existe el potencial de ser aplicada para otras zonas, con los ajustes necesarios a su realidad local. Estos ajustes pueden incluir otras variables físicas y socioeconómicas e integración de otras técnicas de análisis espacial como aprendizaje automático (*machine learning*) (Zohdi, 2021), lógica difusa (*fuzzy logic*) (Atif & Khalid, 2020) y otros.

Creutzig et al. (2017) indica que el uso futuro de la energía fotovoltaica dependerá de financiación adecuada y gestión de la integración del sistema. Por tanto, se recomienda hacer uso de esta herramienta de gestión, a fin de evaluar la potencialidad de la región Amazonas para instalar plantas de energía solar. Asimismo, realizar otros estudios relacionados a la viabilidad técnica-económica en la instalación de energías renovables. También se podría complementar estos estudios, con el diseño de plataformas web (geoportales) que difundan los resultados del potencial fotovoltaico. Un ejemplo lo es la plataforma de Ávila et al. (2016), que muestra el potencial fotovoltaico en tejados urbanos.

V. CONCLUSIONES

- Se identificaron 14 subcriterios que determinan la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas. Estos se agruparon en subcriterios físicos (Radiación solar; Temperatura ambiental, Precipitación, Velocidad del viento, Presión de vapor de agua, Textura del suelo, Pendiente y Aspecto de terreno) y subcriterios socioeconómicos (Cobertura vegetal y uso actual del suelo, Proximidad a áreas urbanas, red vial, red eléctrica, agua superficial y áreas de conservación). El subcriterio físico más importante fue la Radiación Solar, mientras que el subcriterio socioeconómico más importante fue la Proximidad a red eléctrica.
- Se desarrolló un modelo geográfico para analizar la idoneidad de áreas para la instalación de plantas fotovoltaicas en Amazonas, con resolución espacial de 1 km. Este modelo geográfico integró el Proceso de Jerarquía Analítica (PAJ) y Sistemas de Información Geográfica (SIG) basados en datos espaciales disponibles, que permiten su replicabilidad.
- Se determinaron la idoneidad del territorio para la instalación de plantas fotovoltaicas en Amazonas. No se encontraron áreas Muy adecuadas, pero el 10,1% (4253,07 km²), 73,4% (30879,92 km²) y 16,5% (6925,02 km²) del territorio de Amazonas presenta características Adecuadas, Poco adecuadas y No adecuadas, respectivamente, para la instalación de plantas fotovoltaicas.
- El estudio servirá de apoyo para la toma de decisiones en la elección de sitios adecuados para impulsar el desarrollo de energías renovables, en especial a la solar; además, esta investigación proporciona una herramienta de gestión del territorio para los responsables de promover políticas de desarrollo sostenible en la región Amazonas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, S., Taweekun, J., Techato, K., Waewsak, J., & Gyawali, S. (2019). GIS based site suitability assessment for wind and solar farms in Songkhla, Thailand. *Renewable energy*, 132, 1360-1372. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.035>.
- Asakereh, A., Soleymani, M., & Sheikhdavoodi, M. J. (2017). A GIS-based Fuzzy-AHP method for the evaluation of solar farms locations: Case study in Khuzestan province, Iran. *Solar Energy*, 155, 342-353. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.075>.
- Atif, A., & Khalid, M. (2020). Fuzzy logic controller for solar power smoothing based on controlled battery energy storage and varying low pass filter. *IET Renewable Power Generation*, 14(18), 3824-3833.
- Ávila, A. M. M., Bravo, J. D., & Guerra, J. A. (2016). Desarrollo de un modelo geográfico para la evaluación del potencial fotovoltaico en entornos urbanos. *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (18), 1.
- Burke, M. J., & Stephens, J. C. (2018). Political power and renewable energy futures: A critical review. *Energy Research and Social Science*, 35(November 2017), 78–93. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.10.018>
- Calle Yunis, C. R., Salas López, R., Cruz, S. M. O., Barboza Castillo, E., Silva López, J. O., Iliquín Trigoso, D., & Briceño, N. B. R. (2020). Land suitability for sustainable aquaculture of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in molinopampa (Peru) based on RS, GIS, and AHP. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(1), 28.
- Cepeda and A. Sierra. (2007). Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones. NAFA SCR Doc., vol. 07/80, p. 17.
- Creutzig, F., Agoston, P., Goldschmidt, J. C., Luderer, G., Nemet, G., & Pietzcker, R. C. (2017). The underestimated potential of solar energy to mitigate climate change. *Nature Energy*, 2(9). <https://doi.org/10.1038/nenergy.2017.140>
- Espinoza, R., Muñoz-Cerón, E., Aguilera, J., & De La Casa, J. (2019). Feasibility evaluation of residential photovoltaic self-consumption projects in Peru. *Renewable energy*, 136, 414-427.
- Falconer, L., Telfer, T. C., & Ross, L. G. (2016). Investigation of a novel approach for aquaculture site selection. *Journal of environmental management*, 181, 791-804.
- Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International journal of climatology*, 37(12), 4302-4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>.

- Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Mijani, N., Shorabeh, S. N., Firozjaei, H. K., & Toomanian, A. (2019). An integrated GIS-based Ordered Weighted Averaging analysis for solar energy evaluation in Iran: Current conditions and future planning. *Renewable Energy*, *136*, 1130-1146. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.090>.
- Francisco, H. R., Fabrício Corrêia, A., & Feiden, A. (2019). Classification of areas suitable for fish farming using geotechnology and multi-criteria analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *8*(9), 394.
- Gardashov, R., Eminov, M., Kara, G., Emecen Kara, E. G., Mammadov, T., & Huseynova, X. (2020). The optimum daily direction of solar panels in the highlands, derived by an analytical method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *120*(May 2019). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109668>
- Hengl, T., De Jesus, J. M., Heuvelink, G. B. M., Gonzalez, M. R., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangguan, W., Wright, M. N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M. A., Vargas, R., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Leenaars, J. G. B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., & Kempen, B. (2017). SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. *PLoS ONE*, *12*(2), 1–40. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169748>
- Hertzberg, M., Siddons, A., & Schreuder, H. (2017). Role of greenhouse gases in climate change. *Energy and Environment*, *28*(4), 530–539. <https://doi.org/10.1177/0958305X17706177>
- Heuberger, C. F., & Mac Dowell, N. (2018). Real-World Challenges with a Rapid Transition to 100% Renewable Power Systems. *Joule*, *2*(3), 367–370. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2018.02.002>
- INEI. (2018). Amazonas. Resultados definitivos de los Censos Nacionales 2017. INEI: Lima.
- Janke, J. R. (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, *35*(10), 2228-2234. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.03.014>.
- Johnsson, F., Kjärstad, J., & Rootzén, J. (2019). The threat to climate change mitigation posed by the abundance of fossil fuels. *Climate Policy*, *19*(2), 258–274. <https://doi.org/10.1080/14693062.2018.1483885>
- Liu, D., Liu, J., Wang, S., Xu, M., & Akbar, S. J. (2019). Contribution of international photovoltaic trade to global greenhouse gas emission reduction: the example of China. *Resources, Conservation and Recycling*, *143*(December 2018), 114–118. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.12.015>
- Mansouri Kouhestani, F., Byrne, J., Johnson, D., Spencer, L., Hazendonk, P., & Brown, B. (2019). Evaluating solar energy technical and economic potential on rooftops in an urban

- setting: the city of Lethbridge, Canada. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 10(1), 13–32. <https://doi.org/10.1007/s40095-018-0289-1>
- Martins, J. P., Trigo, I., & Freitas, S. C. e. (2020). Copernicus Global Land Operations "Vegetation and Energy" "CGLOPS-1." Copernicus Global Land Operations, 1–93. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3938963.PU>
- MINAM, Ministerio del Ambiente. (2019). GeoServidor MINAM. Recuperado el 15 de mayo de 2021 de http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx.
- MINEM, Ministerio de Energía y Minas. (2021). Infraestructura de datos espaciales del Ministerio de Energía y Minas. <http://visores.iiap.gob.pe/publicaciones/#map=9/-8376777.68/-1249689.74/0%0Ahttps://www.cartografia.ad/visor-de-mapas>.
- MTC, Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2019). Descarga de datos espaciales (Actualizado al miércoles, 15 mayo 2019). Recuperado el 15 de mayo de 2021 de <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/descarga.html>.
- Phillips, Steven, Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(2–3), 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
- Prieto-Amparán, J. A., Pinedo-Alvarez, A., Morales-Nieto, C. R., Valles-Aragón, M. C., Álvarez-Holguín, A., & Villarreal-Guerrero, F. (2021). A regional gis-assisted multi-criteria evaluation of site-suitability for the development of solar farms. *Land*, 10(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/land10020217>
- Rios, R., & Duarte, S. (2021). Selection of ideal sites for the development of large-scale solar photovoltaic projects through Analytical Hierarchical Process – Geographic information systems (AHP-GIS) in Peru. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 149(April). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111310>
- Rodríguez-Merino, A., García-Murillo, P., & Fernández-Zamudio, R. (2020). Combining multicriteria decision analysis and GIS to assess vulnerability within a protected area: An objective methodology for managing complex and fragile systems. *Ecological Indicators*, 108(July 2019), 105738. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105738>
- Ruiz, H. S., Sunarso, A., Ibrahim-Bathis, K., Murti, S. A., & Budiarto, I. (2020). GIS-AHP Multi Criteria Decision Analysis for the optimal location of solar energy plants at Indonesia. *Energy Reports*, 6(October), 3249–3263. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.198>
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern

- Spain. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24, 544-556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.019>
- Sarkar, S., Parihar, S. M., & Dutta, A. (2016). Fuzzy risk assessment modelling of East Kolkata Wetland Area: A remote sensing and GIS based approach. *Environmental Modelling and Software*, 75, 105–118. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.10.003>
- Sarwono, T. D., & Kusumanto, R. D. (2021). Geographical Location Effects on PV Panel Output-Comparison Between Highland and Lowland Installation in South Sumatra, Indonesia. *Technology Reports of Kansai University*, 63(02), 7229-7243.
- SERNANP, Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado. (2019). GeoServidor SERNANP. Recuperado el 15 de mayo de 2021 de <http://geo.sernanp.gob.pe/geoserver/principal.php>.
- Siecker, J., Kusakana, K., & Numbi, E. B. (2017). A review of solar photovoltaic systems cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 192-203.
- Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo y Carlo Vilches (Editores) (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. OSINERGMIN. Lima, Perú.
- Türk, S., Koç, A., & Şahin, G. (2021). Multi-criteria of PV solar site selection problem using GIS-intuitionistic fuzzy based approach in Erzurum province/Turkey. *Scientific Reports*, 11(1), 1-23.
- Wind, Y., & Saaty, T. L. (1980). Marketing applications of the analytic hierarchy process. *Management science*, 26(7), 641-658. <https://doi.org/10.1287/mnsc.26.7.641>.
- Yousefi, H., Hafeznia, H., & Yousefi-Sahzabi, A. (2018). Spatial site selection for solar power plants using a gis-based boolean-fuzzy logic model: A case study of Markazi Province, Iran. *Energies*, 11(7), 1648.
- Zoghi, M., Ehsani, A. H., Sadat, M., javad Amiri, M., & Karimi, S. (2017). Optimization solar site selection by fuzzy logic model and weighted linear combination method in arid and semi-arid region: A case study Isfahan-IRAN. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 986-996. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.014>.
- Zohdi, T. I. (2021). A digital-twin and machine-learning framework for the design of multiobjective agrophotovoltaic solar farms. *Computational Mechanics*, 1-14.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Enlace de información académico-científica de los expertos.

Iniciales	Experto	Lugar de trabajo
M.A.S.B.	Miguel Angel Sevillano Bendezú	https://orcid.org/0000-0001-8717-7340
J.A.P.T.	Jan Amaru Palomino Tofflinger	https://orcid.org/0000-0002-2076-4046
M.A.Z.J.	Marco Antonio Zamalloa Jara	https://orcid.org/0000-0002-7216-4659
H.A.L.C.	Hugo Alberto López Clemente	-
C.A.P.B.	Carlos Armando Polo Bravo	https://orcid.org/0000-0001-9491-2323
A.C.N.	Antony Cordova Neira	https://dina.concytec.gob.pe/appDirectorioCTI/VerDatosInvestigador.do?id_investigador=78983
G.N.G.	Gustavo Nofuentes Garrido	https://orcid.org/0000-0002-5305-3830

Anexo 2. Matrices originales de expertos en energía fotovoltaica.

Experto 1:

Subcriterios físicos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
Radiación Solar	F1	1	1/3	3	2	1/2	2	3	2
Temperatura	F2		1	5	3	2	3	3	3
Precipitación	F3			1	1/3	1/5	4	1/3	1/2
V. viento	F4				1	1/3	1/2	1/2	2
Presión de vapor de agua	F5					1	1/4	2	3
Textura	F6						1	2	1/4
Pendiente	F7							1	1/4
Aspecto	F8								1

Subcriterios socioeconómicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Prox. áreas urbanas	S1	1	1/3	1/5	4	1/3	1/5
Prox. red vial	S2		1	2	4	1/5	1/3
Prox. red eléctrica	S3			1	4	1/3	1/3
Prox. agua superficial	S4				1	1/4	1/3
Prox. ANP	S5					1	4
LULC	S6						1

Criterios	F	S	
Físicos	F	1	2
Socioeconómicos	S		1

Experto 2:

Subcriterios físicos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
Radiación Solar	F1	1	9	7	9	7	9	9	9
Temperatura	F2		1	1/7	7	7	7	9	9
Precipitación	F3			1	7	4	6	7	7
V. viento	F4				1	1/7	7	7	7
Presión de vapor de agua	F5					1	7	7	7
Textura	F6						1	2	2
Pendiente	F7							1	2
Aspecto	F8								1

Subcriterios socioeconómicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Prox. áreas urbanas	S1	1	7	1/9	7	7	5
Prox. red vial	S2		1	5	3	1/5	3
Prox. red eléctrica	S3			1	9	9	9
Prox. agua superficial	S4				1	1/5	3
Prox. ANP	S5					1	5
LULC	S6						1

Criterios	F	S	
Físicos	F	1	2
Socioeconómicos	S		1

Experto 3:

Subcriterios físicos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Radiación Solar	F1	1	5	5	7	7	7	7
Temperatura	F2		1	6	6	6	7	5
Precipitación	F3			1	4	4	4	1/4
V. viento	F4				1	4	3	1/4
Presión de vapor de agua	F5					1	1/5	1/5
Textura	F6						1	1/4
Pendiente	F7							1
Aspecto	F8							

Subcriterios socioeconómicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Prox. áreas urbanas	S1	1	1/3	1/5	4	1/3	1/5
Prox. red vial	S2		1	2	4	1/5	1/3
Prox. red eléctrica	S3			1	4	1/3	1/3
Prox. agua superficial	S4				1	1/4	1/3
Prox. ANP	S5					1	4
LULC	S6						1

Criterios	F	S	
Físicos	F	1	2
Socioeconómicos	S		1

Experto 4:

Subcriterios físicos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Radiación Solar	F1	1	9	9	9	9	9	9
Temperatura	F2		1	7	7	7	7	7
Precipitación	F3			1	1/3	1/4	3	1/5
V. viento	F4				1	3	3	1/5
Presión de vapor de agua	F5					1	1/3	1/4
Textura	F6						1	1/5
Pendiente	F7							1
Aspecto	F8							

Subcriterios socioeconómicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Prox. áreas urbanas	S1	1	9	1/9	6	8	1/7
Prox. red vial	S2		1	1/8	1/3	4	4
Prox. red eléctrica	S3			1	6	6	7
Prox. agua superficial	S4				1	5	6
Prox. ANP	S5					1	5
LULC	S6						1

Criterios	F	S	
Físicos	F	1	2
Socioeconómicos	S		1

Experto 5:

Subcriterios físicos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	
Radiación Solar	F1	1	9	8	7	1/7	1/7	1/6	1/8
Temperatura	F2		1	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6
Precipitación	F3			1	1/6	1/6	1/6	1/6	1/6
V. viento	F4				1	1/5	1/5	1/5	1/5
Presión de vapor de agua	F5					1	1/5	1/5	1/5
Textura	F6						1	1/5	1/5
Pendiente	F7							1	1/5
Aspecto	F8								1

Subcriterios socioeconómicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Prox. áreas urbanas	S1	1	9	9	1/7	1/7	1/8
Prox. red vial	S2		1	1/7	1/7	1/7	1/7
Prox. red eléctrica	S3			1	1/7	1/7	1/7
Prox. agua superficial	S4				1	1/7	1/7
Prox. ANP	S5					1	1/7
LULC	S6						1

Criterios	F	S	
Físicos	F	1	2
Socioeconómicos	S		1

Experto 6:

Subcriterios físicos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Radiación Solar	F1	1	5	5	7	7	7	7
Temperatura	F2		1	6	6	6	7	5
Precipitación	F3			1	3	3	3	1/3
V. viento	F4				1	4	3	1/4
Presión de vapor de agua	F5					1	1/5	1/5
Textura	F6						1	1/4
Pendiente	F7							1
Aspecto	F8							

Subcriterios socioeconómicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Prox. áreas urbanas	S1	1	6	6	6	1/4	1/4
Prox. red vial	S2		1	1/4	8	8	8
Prox. red eléctrica	S3			1	8	8	8
Prox. agua superficial	S4				1	6	6
Prox. ANP	S5					1	1/5
LULC	S6						1

Criterios	F	S	
Físicos	F	1	2
Socioeconómicos	S		1

Experto 7:

Subcriterios físicos	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Radiación Solar	F1	1	7	9	9	8	9	8
Temperatura	F2		1	7	7	5	4	1/5
Precipitación	F3			1	1/2	1/4	1/6	1/5
V. viento	F4				1	1/4	1/6	1/8
Presión de vapor de agua	F5					1	1/3	1/4
Textura	F6						1	1/4
Pendiente	F7							1
Aspecto	F8							

Subcriterios socioeconómicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	
Prox. áreas urbanas	S1	1	1/3	1/5	4	1/3	1/3
Prox. red vial	S2		1	2	4	1/5	1/2
Prox. red eléctrica	S3			1	4	3	3
Prox. agua superficial	S4				1	1/4	1/3
Prox. ANP	S5					1	3
LULC	S6						1

Criterios	F	S
Físicos	F	1 2
Socioeconómicos	S	1