



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

“Zonificación para instalaciones fotovoltaicas en tierras afectadas por la erosión en comunidades rurales de las provincias de Pichincha e Imbabura”

Mafla Yépez, Mauricio Andrés

Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero Geógrafo y del Medio Ambiente

Msc. Jácome Enríquez, Wilson Oswaldo

28 de agosto del 2020

URKUND

Document information

Analyzed document Tesis-Mauricio-Mafla.docx (D77341781)
Submitted 7/31/2020 6:10:00 AM
Submitted by
Submitter email cnmafla@utn.edu.ec
Similarity 5%
Analysis address cnmafla.utn@analysis.arkund.com

Sources included in the report

SA	TESIS JONATHAN CARVAJAL.docx Document: TESIS_JONATHAN_CARVAJAL.docx (D75697617)	10
SA	TESIS_VILLACRESES.pdf Document: TESIS_VILLACRESES.pdf (D54823912)	1
SA	_resumenAPG 2 - copia.doc Document: _resumenAPG 2 - copia.doc (D29352658)	1
SA	Tema Rene Ortiz pre.doc Document: Tema Rene Ortiz pre.doc (D19496466)	2
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/330384868_METODOLOGIA_PARA_LA_LOCALIZACION Fetched: 2/13/2020 7:26:35 PM	15
W	URL: https://docplayer.es/81005147-Planificacion-y-modelacion-de-sistemas-de-generacion... Fetched: 7/22/2020 7:39:34 AM	1

Firma:

Ing. Wilson Oswaldo Jácome Enríquez, Mg.

C. C. 0400627097

DIRECTOR



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**Zonificación para instalaciones fotovoltaicas en tierras afectadas por la erosión en comunidades rurales de las provincias de Pichincha e Imbabura**" fue realizado por el señor **Mafla Yépez, Mauricio Andrés** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 28 de agosto de 2020

Mg. Jácome Enriquez, Wilson Oswaldo

C. C.: 0400627097



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Mafla Yépez, Mauricio Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 171830866-9, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Zonificación para instalaciones fotovoltaicas en tierras afectadas por la erosión en comunidades rurales de las provincias de Pichincha e Imbabura”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 28 de agosto de 2020

.....
Mafla Yépez, Mauricio Andrés

C.C.: 1718308669



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo **Mafla Yépez, Mauricio Andrés**, con cédula de ciudadanía n° 171830866-9, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Zonificación para instalaciones fotovoltaicas en tierras afectadas por la erosión en comunidades rurales de las provincias de Pichincha e Imbabura”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 28 de agosto de 2020

Mafla Yépez, Mauricio Andrés

C.C.: 1718308669

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que me han ayudado en la resolución del mismo.

Mauricio

Agradecimiento

Agradezco a todas las personas que de alguna manera han aportado en algo positivo a lo largo de los estudios.

A los docentes Ing. Wilson Jácome, Ing. Ricardo Pachacama, Ing. Suko Mafla, Ing. Izar Sinde por su apoyo y consejos en la realización del proyecto.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, a todos los docentes de la CIGMA y a los compañeros de carrera por su apoyo.

Índice

Herramienta de Verificación	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento	7
Índice.....	8
Resumen	17
Abstract.....	18
Capítulo I.....	19
Generalidades.....	19
Antecedentes.....	19
Proyectos Relacionados	22
Planteamiento del Problema	24
Justificación e Importancia del Problema a Resolver	25
Descripción del Área de Estudio	26
Objetivos.....	27
Capítulo II.....	29
Marco Teórico.....	29
Introducción	29

Erosión	29
Energías renovables	31
Energía solar	34
Restricciones ambientales y urbanísticas	40
Imágenes satelitales	45
Índices de vegetación	47
Análisis multicriterio	48
Desarrollo eléctrico en el Ecuador	52
Capítulo III.....	56
Metodología	56
Determinación de zonas con pérdida de vegetación y sus cambios en los años “2016” y “2018”	56
<i>Recopilación de la Información</i>	56
<i>Preprocesamiento de las imágenes satelitales</i>	57
<i>Cambios de cobertura vegetal</i>	60
Zonificación de infraestructura fotovoltaica en las provincias de Pichincha e Imbabura	65
<i>Recopilación de la Información</i>	65
<i>Elaboración de análisis multicriterio</i>	65
<i>Cálculo de los pesos o prioridades para los criterios de aptitud para implementación fotovoltaica aislada, impacto en el medio físico y capacidad de acogida</i>	67

<i>Estandarización de los criterios.....</i>	74
<i>Zonas afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica en Pichincha e Imbabura</i>	84
<i>Comunidades rurales socioeconómicamente vulnerables en zonas óptimas de implementación fotovoltaica afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica.....</i>	85
<i>Identificación de la zona idónea para la implementación fotovoltaica en comunidades socioeconómicamente vulnerables afectadas por tierras erosionadas y con problemas de cobertura energética</i>	87
<i>Ubicación de la zona idónea de implementación fotovoltaica en comunidades socioeconómicamente vulnerables.....</i>	88
Metodología para encontrar el potencial fotovoltaico en las provincias de Pichincha e Imbabura	88
<i>Recopilación de la información geográfica.....</i>	89
<i>Etapas de conversión, pérdidas y relación de rendimiento a nivel de sistema fotovoltaico.....</i>	90
Capitulo IV	94
Resultados y Discusión	94
Resultados.....	94
<i>Determinación de zonas con pérdida de vegetación, y sus cambios en los años 2016 y 2018.....</i>	94
<i>Zonificación de infraestructura fotovoltaica en las provincias de Pichincha e Imbabura.</i>	99

<i>Análisis multicriterio</i>	105
<i>Zonas afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica en Pichincha e Imbabura</i>	108
<i>Comunidades rurales socioeconómicamente vulnerables en zonas óptimas de implementación fotovoltaica afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica</i>	111
<i>Identificación de la zona idónea para la implementación fotovoltaica en comunidades socioeconómicamente vulnerables afectadas por tierras erosionadas y con problemas de cobertura energética</i>	147
<i>Metodología para encontrar el potencial fotovoltaico en las provincias de Pichincha e Imbabura</i>	150
Discusión	153
<i>Cambios de cobertura vegetal</i>	153
<i>Zonas óptimas de implementación fotovoltaica y potencial fotovoltaico</i>	153
Capítulo V	156
Conclusiones y Recomendaciones	156
Conclusiones	156
Recomendaciones	157
Bibliografía	158
Anexos	164

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Escala de comparación de Saaty</i>	50
Tabla 2 <i>Índice de aleatoriedad para los distintos criterios</i>	52
Tabla 3 <i>Clasificación de cobertura vegetal</i>	60
Tabla 4 <i>Reclasificación de las coberturas vegetales</i>	62
Tabla 5 <i>Valores de la suma de los píxeles de la reclasificación</i>	63
Tabla 6 <i>Valor de los píxeles en los diferentes cambios de las coberturas</i>	64
Tabla 7 <i>Información recopilada de diferentes fuentes de información</i>	65
Tabla 8 <i>Criterios de aptitud e impacto para implementación fotovoltaica</i>	68
Tabla 9 <i>Matriz de comparaciones para los criterios de aptitud</i>	68
Tabla 10 <i>Matriz de comparaciones para los criterios de impacto</i>	69
Tabla 11 <i>Prioridades de aptitud</i>	69
Tabla 12 <i>Prioridades de impacto</i>	70
Tabla 13 <i>Matriz B para el modelo de aptitud</i>	70
Tabla 14 <i>Matriz B para el modelo de impacto</i>	71
Tabla 15 <i>Estandarización de los criterios de aptitud e impacto</i>	75
Tabla 16 <i>Índice de la variable pendiente</i>	76
Tabla 17 <i>Índice de la variable grado de insolación</i>	77
Tabla 18 <i>Índice para la accesibilidad</i>	79
Tabla 19 <i>Índice para el uso del suelo</i>	80
Tabla 20 <i>Índice para la variable hidrología</i>	82
Tabla 21 <i>Índice de las zonas afectadas por la erosión</i>	83
Tabla 22 <i>Recopilación de la información para el potencial fotovoltaico</i>	90
Tabla 23 <i>Etapas de conversión de energía y pérdidas relacionadas</i>	92
Tabla 24 <i>Áreas analizadas</i>	97
Tabla 25 <i>Resultado de los cambios de cobertura vegetal</i>	98

Tabla 26 <i>Generación y distribución de energía eléctrica</i>	110
Tabla 27 <i>Lista de las comunidades rurales</i>	112
Tabla 28 <i>Resultado de la encuesta</i>	139
Tabla 29 <i>Rangos para el nivel socioeconómico</i>	144
Tabla 30 <i>Rangos de los estratos socioeconómicos de las 132 encuestas</i>	145
Tabla 31 <i>Zona seleccionada de implementación fotovoltaica</i>	148
Tabla 32 <i>Coordenadas de la zona de implementación</i>	149
Tabla 33 <i>Potencial fotovoltaico promedio en la zona de estudio</i>	152

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Localización geográfica del área de estudio</i>	26
Figura 2 <i>Tipos de radiación proveniente del sol</i>	37
Figura 3 <i>Características del satélite Sentinel 2A</i>	56
Figura 4 <i>Características de las bandas del satélite Sentinel 2A</i>	57
Figura 5 <i>Nivel de procesamiento de las imágenes Sentinel 2A</i>	58
Figura 6 <i>Mosaico de las imágenes SENTINEL 2A del 2016</i>	59
Figura 7 <i>Mosaico de las imágenes SENTINEL 2A del 2018</i>	59
Figura 8 <i>Índices de vegetación ajustado al suelo SAVI del 2016 y 2018</i>	61
Figura 9 <i>Esquema metodológico del análisis multicriterio</i>	66
Figura 10 <i>Restricciones ambientales y urbanísticas</i>	74
Figura 11 <i>Modelo digital de elevación de Pichincha e Imbabura</i>	76
Figura 12 <i>Grado de Insolación</i>	78
Figura 13 <i>Distancia euclidiana a vías</i>	79
Figura 14 <i>Coberturas de uso de suelo</i>	81
Figura 15 <i>Distancia euclidiana a ríos</i>	82
Figura 16 <i>Zonas afectadas por la erosión</i>	83
Figura 17 <i>Metodología erosión y problemas de cobertura eléctrica</i>	84
Figura 18 <i>Metodología de la ubicación de las comunidades rurales óptimas</i>	86
Figura 19 <i>Esquema metodológico de la zona de implementación fotovoltaica</i>	88
Figura 20 <i>Metodología para calcular el potencial fotovoltaico</i>	89
Figura 21 <i>La irradiación inclinada global</i>	91
Figura 22 <i>Modelo de coeficientes de pérdidas relacionadas</i>	93
Figura 23 <i>Índice SAVI 2016</i>	94
Figura 24 <i>Índice SAVI año 2018</i>	95
Figura 25 <i>Cambios de cobertura vegetal</i>	96

Figura 26 <i>Estandarización de la pendiente</i>	99
Figura 27 <i>Estandarización del grado de insolación</i>	100
Figura 28 <i>Estandarización de la variable accesibilidad</i>	101
Figura 29 <i>Estandarización de la variable uso de suelo</i>	102
Figura 30 <i>Estandarización de la variable hidrología</i>	103
Figura 31 <i>Estandarización de la variable erosión</i>	104
Figura 32 <i>Modelo de aptitud</i>	105
Figura 33 <i>Modelo de impacto en el medio físico</i>	106
Figura 34 <i>Modelo de capacidad de acogida</i>	107
Figura 35 <i>Zonas afectadas por la erosión</i>	108
Figura 36 <i>Generación y distribución eléctrica</i>	109
Figura 37 <i>Comunidades rurales en zonas óptimas de implementación</i>	111
Figura 38 <i>Sección 1, Pregunta 1</i>	114
Figura 39 <i>Sección 1, pregunta 2</i>	115
Figura 40 <i>Sección 1, pregunta 3</i>	116
Figura 41 <i>Sección 1, pregunta 4</i>	117
Figura 42 <i>Sección 1, pregunta 4</i>	118
Figura 43 <i>Sección 2, pregunta 1</i>	119
Figura 44 <i>Sección 2, pregunta 2</i>	120
Figura 45 <i>Sección 2, pregunta 3</i>	121
Figura 46 <i>Sección 2, pregunta 4</i>	122
Figura 47 <i>Sección 3, pregunta 1</i>	123
Figura 48 <i>Sección 3, pregunta 2</i>	124
Figura 49 <i>Sección 3, pregunta 3</i>	125
Figura 50 <i>Sección 3, pregunta 4</i>	126
Figura 51 <i>Sección 3, pregunta 5</i>	127

Figura 52 <i>Sección 3, pregunta 6</i>	128
Figura 53 <i>Sección 3, pregunta 7</i>	129
Figura 54 <i>Sección 4, pregunta 1</i>	130
Figura 55 <i>Sección 4, pregunta 2</i>	131
Figura 56 <i>Sección 4, pregunta 3</i>	132
Figura 57 <i>Sección 4, pregunta 4</i>	133
Figura 58 <i>Sección 4, pregunta 5</i>	134
Figura 59 <i>Sección 5, pregunta 1</i>	135
Figura 60 <i>Sección 6, pregunta 1</i>	136
Figura 61 <i>Sección 6, pregunta 2</i>	137
Figura 62 <i>Sección 6, pregunta 3</i>	138
Figura 63 <i>Sección 7, pregunta 1</i>	146
Figura 64 <i>Mapa de ubicación de la zona de implementación</i>	147
Figura 65 <i>Potencial fotovoltaico</i>	150
Figura 66 <i>Potencial fotovoltaico en la zona de estudio</i>	151

Resumen

La generación de energía eléctrica en el Ecuador está basada en la utilización de fuentes de origen fósil y de energías alternativas renovables. Sin embargo, la electrificación en zonas rurales aún presenta problemas. Las actividades antrópicas sean estas productivas o extractivas, las condiciones climáticas y la ausencia de vegetación han ejercido presión sobre la calidad de los suelos en la sierra ecuatoriana, en este contexto existen zonas con alto nivel de erosión lo cual no permite un aprovechamiento del suelo para actividades agropecuarias, y debido a que en el Ecuador los índices de insolación (radiación solar) están entre los más altos del mundo, permiten instalar plantas de energía fotovoltaicas de alto rendimiento, que permitirá un desarrollo local de estas zonas rurales. Como resultado se identificó en las provincias de Pichincha e Imbabura los cambios de cobertura vegetal, las zonas óptimas para implementación fotovoltaica aislada y las comunidades rurales socioeconómicamente vulnerables con problemas de cobertura eléctrica afectadas por tierras erosionadas. Se identificó una zona idónea para instalaciones fotovoltaicas aisladas en la comunidad de Cachicunga, donde el potencial fotovoltaico anual promedio en la zona es de $1670 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$ con una relación de rendimiento del 81,4% y un factor de capacidad del 19%.

Palabras clave:

- **ENERGÍA ELÉCTRICA**
- **ENERGÍA FOTOVOLTAICA**
- **POTENCIAL FOTOVOLTAICO**

Abstract

Electric power generation in Ecuador is based on the use of sources of fossil origin and alternative renewable energy. However, electrification in rural areas still presents problems. Anthropogenic activities, whether productive or extractive, the climatic conditions and the absence of vegetation have put pressure on the quality of the soils in the Ecuadorian highlands, in this context there are areas with a high level of erosion which does not allow the use of the soil to agricultural activities, and because in Ecuador the rates of insolation (solar radiation) are among the highest in the world, allow the installation of high-performance photovoltaic power plants, which will allow local development of these rural areas. As a result, changes in vegetation cover, optimal areas for isolated photovoltaic implementation, and socio-economically vulnerable rural communities with electrical coverage problems affected by eroded land were identified in the Pichincha and Imbabura provinces. An ideal area was identified for isolated photovoltaic installations in the Cachicunga community, where the average annual photovoltaic potential in the area is $1670 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$ with a performance ratio of 81.4% and a capacity factor of 19%.

Keywords:

- **ELECTRIC POWER**
- **PHOTOVOLTAIC POWER**
- **PHOTOVOLTAIC POTENTIAL**

Capítulo I

Generalidades

El presente proyecto está desarrollado en las provincias de Pichincha e Imbabura, el objetivo del mismo es la elaboración de una zonificación potencial de instalaciones fotovoltaicas en tierras afectadas por la erosión en comunidades rurales, mediante el uso de información geoespacial, para desarrollar un análisis multicriterio y determinar las zonas óptimas. En el presente capítulo se exponen temas generales como base para el desarrollo del tema.

Antecedentes

Las maneras de obtener energía que actualmente se están desarrollando tienen el concepto de buscar fuentes renovables, ya que se busca disminuir el calentamiento global. Existen muchas nuevas formas, aunque algunas todavía en desarrollo y no es tan fácil implementarlas por su costo, pero a largo plazo las energías renovables estarán presentes ya que son el futuro del planeta (Finder, 2011).

A nivel global la capacidad de generar energía solar tuvo un crecimiento de hasta 308 GW en 2018, en países pertenecientes a la Unión Europea como Alemania e Italia, la capacidad de generación creció, llegando a poseer una capacidad acumulada instalada de 32.6 GW y 16.2 GW respectivamente (Najafi et al., 2015), es así que la Unión Europea presentó objetivos que apuntan a poseer un 27% de energías renovables para el año 2030 (Widén et al., 2015). Razón ésta que ha llevado a incrementar el aprovechamiento del potencial fotovoltaico, temática que ha sido estudiada tanto en zonas rurales como urbanas, considerando las características propias de cada una de ellas, motivo por el cual en países como la India, donde aproximadamente el 45% de la población rural no tiene acceso a redes eléctricas (Michael et al., 2015), a pesar que la radiación que recibe este país por situarse en una zona tropical está entre los 2300 y 3200 horas/año equivalente

a 5000 billones de kW/año (Michael et al., 2015); en un estudio realizado en el área urbana de Seúl se demostró que ésta posee un potencial equivalente al 30% del consumo de energía eléctrica en un año únicamente utilizando sistemas fotovoltaicos en los techos de las construcciones (Byrne et al., 2015). De igual manera estudios realizados en Irán muestran datos interesantes de radiación solar con un promedio de 2200kW/h/m² donde se estima un aumento en el consumo de energía eléctrica del 6% cada año en los próximos decenios (Najafi et al., 2015). La identificación de áreas o regiones con alta radiación se ha hecho posible gracias a las mediciones ya sea en la superficie terrestre, por medio de imágenes satelitales o en los distintos modelos meteorológicos (Widén et al., 2015).

El desarrollo sostenible como marco dentro de la agenda 2030, establece en el Objetivo 1, poner fin a la pobreza en todo el mundo, y con el aprovechamiento de zonas improductivas así se cumple también con el Objetivo 9, construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación, con esto el desarrollo de infraestructura fotovoltaica contribuye a lo mencionado anteriormente promoviendo el desarrollo de la región. El Objetivo 7 menciona que se debe garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, energía que cumple un rol importante dentro de la seguridad alimentaria, donde los sistemas alimentarios consumen cerca del 30% de la energía a nivel mundial. Por tal motivo, debe darse el cambio gradual en la utilización de combustibles fósiles por energías limpias. Adicionalmente el Objetivo 15 Vida de Ecosistemas Terrestres, hace referencia al uso y manejo sostenible de ecosistemas terrestres tomando en cuenta que un tercio de los suelos con aptitud agrícola están degradados con distintos niveles de erosión (FAO, 2015), y este recurso al no ser renovable requiere atención y obliga a tomar medidas correctivas para evitar la degradación o medidas que puedan hacer uso de estas

tierras agrícolamente improductivas originadas en las diferentes actividades naturales y antrópicas como cambios de cobertura vegetal y uso de suelo que aumentan el proceso erosivo (Romero. A, 2012). América Latina en las últimas décadas ha sufrido un deterioro considerable en las condiciones y características de los suelos, debido a la expansión de las actividades agrícolas, lo que ha conllevado a afrontar problemas de tipo socioeconómico en las zonas rurales (Bernal Gomez, 2006).

En el año 2008 se elaboró el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Con base a este trabajo se pudieron obtener datos importantes relacionados a la insolación directa, difusa y global, sin embargo los esfuerzos para la implementación de proyectos de generación eléctrica a gran escala basados en la energía solar han presentado varios inconvenientes entre ellos las políticas gubernamentales de electrificación (CONELEC, 2008). Es así que se desarrollaron varios proyectos enfocados a suplir esta necesidad en comunidades rurales alejadas de distintas regiones del Ecuador, entre ellos proyectos fotovoltaicos residenciales en las provincias de Esmeraldas, Napo y Guayas. En el ámbito internacional también se desarrollaron algunos proyectos, el Programa Euro Solar, con una duración de 76 meses que inició en enero del 2007 (EUROSOLAR, 2015). En un estudio realizado en la ciudad de Quito, se pudo evidenciar que la energía solar es superior en los valles y zonas situadas en las cercanías de la Mitad del Mundo, dando como resultado que a lo largo de todo el año la energía solar se encontraría en un rango de $4831 - 5833 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$ día (Constante Segura & Palacios Chacón, 2014). En el caso de los resultados obtenidos en el estudio realizado en la Isla de Cerrito de los Morreños en el Golfo de Guayaquil, se identificó que los paneles fotovoltaicos aislados residenciales presentaban problemas como la falta de mantenimiento, orientación errónea así como una inadecuada ubicación geográfica en la isla (Juan et al., 2016). Teniendo como ejemplo programas y proyectos implementados

en Ecuador y a potencialidades territoriales como energéticas, se debe tomar en cuenta como eje de desarrollo la productividad de las tierras, siendo la degradación de las mismas y la erosión de éstas un problema que afecta a las comunidades rurales de las provincias del Ecuador, es así que la utilización de tierras improductivas hace necesaria la implementación de proyectos que permitan la identificación, zonificación, monitoreo y el aprovechamiento de estas tierras. Así por ejemplo en el estudio realizado por (D'Oleire-Oltmanns et al., 2012) se utilizaron tecnologías que mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) se logró realizar un monitoreo de la erosión del suelo empleando entre otras herramientas los índices de vegetación. Es importante tomar en cuenta que la implementación de proyectos con energías renovables puede ser convenientes para el desarrollo local de las comunidades, la energía eléctrica generada a partir de la energía solar, ayudará al desarrollo en estas zonas rurales.

Proyectos Relacionados

- **Tema:** Metodología para la localización óptima de instalaciones de energía solar fotovoltaica en la isla de Tenerife, España

Autor: Javier Gutiérrez Velayos

Institución: Universidad Católica de Ávila

Año: 2018

El documento que se presenta a continuación versa sobre el diseño de una metodología basada en un enfoque multicriterio para evaluar la correcta ubicación de instalaciones de producción de energía solar fotovoltaica conectadas a la red eléctrica en dichos territorios (J. Gutiérrez, 2018).

- **Tema:** Desempeño de un sistema fotovoltaico autónomo frente condiciones medioambientales de una región en particular

Autor: Edgar Darío Obando Paredes

Institución: Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación, Universidad del Cauca, Popayán, Colombia

Año: 2016

El proyecto se enfoca en un método de modelado, simulación e implementación de un sistema fotovoltaico autónomo. El modelo está basado en un circuito equivalente del panel fotovoltaico; teniendo en cuenta la interacción de éste con los elementos que componen el sistema y con los parámetros medioambientales (radiación solar, velocidad del viento y temperatura ambiente) que influyen su funcionamiento (Obando Paredes & Vargas Cañas, 2016).

- **Tema:** Diseño y evaluación de un panel solar fotovoltaico y térmico para poblaciones dispersas en regiones de gran amplitud térmica

Autor: Cabezas-Maslanczuk Marcelo Daniel

Institución: Facultad de Ingeniería del Ejército (Escuela Superior Técnica)

Año: 2018

Se presenta la evaluación de un panel solar diseñado para proveer energía eléctrica y agua caliente en regiones de buena insolación y gran amplitud térmica (clima continental, zonas de altura)(Cabezas-Maslanczuk et al., 2018)

- **Tema:** Análisis y diseño de una planta de generación de energía eléctrica con paneles solares fotovoltaicos conectados a la red de distribución eléctrica de la subestación Santa Ana ubicada en Guayaquil

Autor: José Olvera; Luis Montalvo

Institución: Escuela superior politécnica del litoral

Año: 2015

Este proyecto está orientado directamente a citar la teoría necesaria para comprender el funcionamiento de un sistema de generación eléctrica conectada a la red de distribución implementando paneles solares fotovoltaicos (Olvera, Jose; Montalvo, 2015).

- **Tema:** Estudio de viabilidad de un sistema energético sostenible en la Isla Cerro de los Morreños (Ecuador)

Autores: Juan Peralta Jaramillo

Institución: Universidad de Santiago de Compostela

Año: 2011

Este proyecto busca una zona de estudio ubicada en el golfo de Guayaquil en donde se estima que posee un recurso solar que puede ser utilizarse con fines de energización para mejorar la calidad de vida de los residentes de la localidad (Peralta, 2011).

Planteamiento del Problema

El acceso a la red de energía eléctrica en las comunidades rurales es limitado por eso es importante plantear alternativas para aprovechar las áreas improductivas que se dan por la erosión del suelo que reduce la productividad de la tierra y amenaza la viabilidad ambiental y económica de los sistemas de producción agropecuaria, con mayor incidencia en los países en desarrollo. Debido a su alto grado de dependencia de productos de origen agropecuario, se alteran las propiedades ligadas a esta actividad económica primaria, como la capacidad de transferir y almacenar agua entre horizontes, la disponibilidad de nutrientes, la agregación y estabilidad del suelo, la disponibilidad de materia orgánica entre otras (Pimentel, 2006).

Podemos apreciar que la degradación del suelo se realiza en la sierra ecuatoriana debido a múltiples factores adversos como el minifundio, el nivel de pendiente, la dependencia total o parcial de insumos externos, cambio de sistemas de producción de cultivos asociados y policultivos por monocultivos, reducción de la diversidad de especies cultivadas, deficientes prácticas de conservación de suelos, falta de políticas e incentivos para la conservación del ambiente (Bernal, 2010).

Justificación e Importancia del Problema a Resolver

El Ecuador es un país con una gran diversidad de características topográficas, de gran variedad climática y condiciones únicas que le otorgan un eminente potencial de energías renovables y limpias, las cuales no pueden quedar al margen del Inventario de los Recursos Energéticos para Producción Eléctrica, pues las condiciones de cobertura y satisfacción de la demanda que se presentan en la actualidad demuestran un estrecho vínculo especialmente con la electrificación y energización rural (CONELEC, 2008).

Las provincias de Imbabura y Pichincha cuentan con potencialidades que deberían considerarse para la inserción paulatina de otro tipo de energía limpia como la solar, eólica y geotérmica; estableciendo la generación de energía eléctrica de fuentes renovables como las principales alternativas sostenibles en el largo plazo. Además, se deberá gestionar la mejora y ampliación del alumbrado público, así como también se deberá priorizar la extensión o ampliación de las redes eléctricas para las zonas rurales.

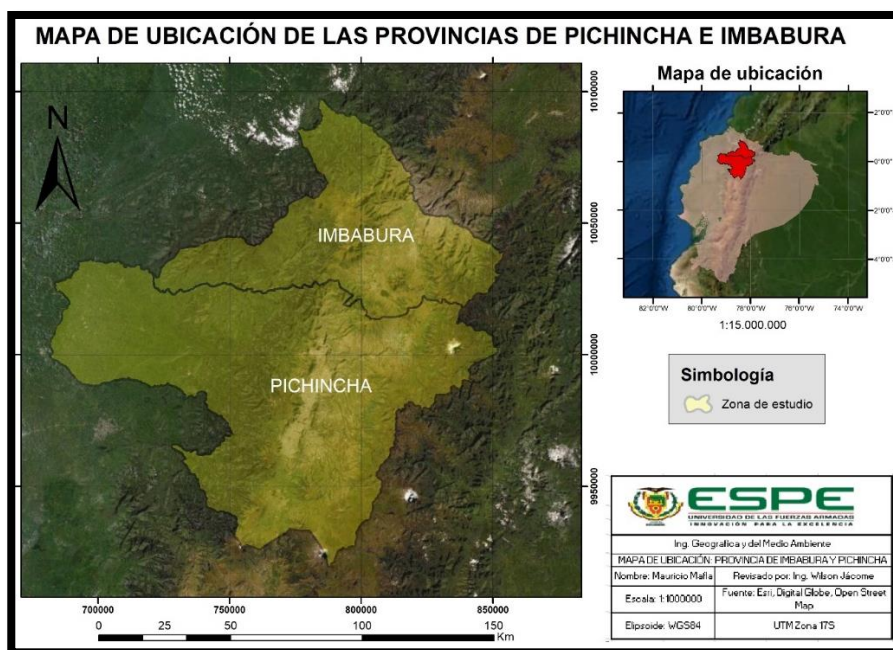
Con el aprovechamiento de las áreas improductivas a causa de la erosión, que en el Ecuador progresa significativamente, observándose a lo largo del Callejón Interandino extensas áreas improductivas a causa de este fenómeno (Gregoire & Trujillo, 1986). No solo se ayudará a solucionar la problemática de cobertura energética, sino al desarrollo de las comunidades rurales, ya que las prioridades de la planificación sostenible del Ecuador han establecido una estrategia de desarrollo que defiende los derechos de la población a vivir en un ambiente sano, el respeto a los derechos de la naturaleza y el acceso a fuentes modernas, renovables y eficientes de energía, principios consagrados en la Constitución de la República, que busca el Buen Vivir (Constitución del Ecuador, 2008).

Descripción del Área de Estudio

La zona de estudio se localiza al norte del callejón Interandino en la región sierra, concretamente en las Provincias de Imbabura y Pichincha. La provincia de Imbabura cuenta con una superficie aproximada de 4611,7 Km² y su altitud oscila entre los 200 metros sobre el nivel del mar en la parte baja del río Guayllabamba, sector de las Golondrinas; y los 4.939 m s.n.m. en las cimas de los volcanes Cotacachi e Imbabura (GAD Imbabura, 2015). Y la provincia de Pichincha adquiere su nombre gracias al estratovolcán activo homónimo, ubicado al centro norte de su capital administrativa Quito, que es también la ciudad más poblada de su región, y es la capital del Ecuador. Pichincha, con relación al Ecuador, es undécima en extensión territorial, con 9834.6 km², y la segunda a nivel de población (GAD Pichincha, 2015).

Figura 1

Localización geográfica del área de estudio



Nota: La figura muestra la zona de estudio que son todas las provincias de Pichincha e Imbabura.

Objetivos

a) General:

Elaborar una zonificación potencial de instalaciones fotovoltaicas en tierras afectadas por la erosión en comunidades rurales de las provincias de Pichincha e Imbabura, mediante el uso de sistemas de información geográfica para ayudar a solucionar la problemática de cobertura energética con el aprovechamiento de zonas improductivas.

b) Específicos:

- Determinar las zonas con cambios en la cobertura vegetal mediante el uso del índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) a través del uso de imágenes satelitales de la zona de estudio cada 2 años desde 2016 hasta el 2018.
- Determinar las zonas de implementación de infraestructura de paneles fotovoltaicos de las provincias de Imbabura y Pichincha, mediante un análisis multicriterio y el uso de información geoespacial para su potencial implementación.
- Analizar las posibles zonas rurales socioeconómicamente vulnerables en donde no exista la cobertura adecuada de energía eléctrica y se encuentren en zonas erosionadas mediante el uso de información geoespacial para determinar un lugar potencial de implementación de la infraestructura fotovoltaica.
- Elaborar una metodología para evaluar el potencial fotovoltaico con el uso de información geoespacial para determinar el rendimiento total del sistema fotovoltaico.

c) Metas

- Mapa resultante del cambio de cobertura vegetal en Pichincha e Imbabura con el uso de imágenes satelitales SENTINEL2 y el índice de vegetación ajustado al suelo SAVI.
- Mapa de aptitud para implementación fotovoltaica aislada.
- Mapa de impacto en el medio físico para implementación fotovoltaica.
- Mapa de capacidad de acogida para implementación fotovoltaica aislada con restricciones ambientales y urbanísticas.
- Mapa de potencial fotovoltaico en Pichincha e Imbabura.

Capítulo II

Marco Teórico

Introducción

Las provincias de Imbabura y Pichincha cuentan con potencialidades que deberían considerarse para la inserción paulatina de otro tipo de energía limpia como la solar, eólica y geotérmica; estableciendo la generación de energía eléctrica de fuentes renovables como las principales alternativas sostenibles en el largo plazo. Además, se deberá gestionar la mejora y ampliación del alumbrado público, así como también se deberá priorizar la extensión o ampliación de las redes eléctricas para las zonas rurales.

Con el aprovechamiento de las áreas improductivas a causa de la erosión, que en el Ecuador progresa significativamente, observándose a lo largo del Callejón Interandino extensas áreas improductivas a causa de este fenómeno como menciona (Gregoire & Trujillo, 1986). No solo se ayudará a solucionar la problemática de cobertura energética, sino al desarrollo de las comunidades rurales, ya que las prioridades de la planificación sostenible del Ecuador han establecido una estrategia de desarrollo que defiende los derechos de la población a vivir en un ambiente sano, el respeto a los derechos de la naturaleza y el acceso a fuentes modernas, renovables y eficientes de energía, principios consagrados en la Constitución de la República, que busca el Buen Vivir.

Erosión

La degradación del suelo terrestre a través de la acción de componentes naturales como el viento o el agua, y por la acción del hombre se conoce como erosión. En el mundo durante la década de los 90 aproximadamente el 25% de las tierras en uso para la agricultura estaban seriamente degradadas, colocando en serio peligro la sobrevivencia de muchas familias, principalmente en países en vías de desarrollo. La reducción en la productividad es uno de los efectos principales de la degradación del suelo, afectando a

todos quienes dependen de ella. La erosión es una de las consecuencias más graves de degradación del suelo (Bernal, 2010).

Erosión en el Ecuador

Los procesos erosivos afectaron y siguen afectando al Ecuador, así que se puede considerar que uno de los aspectos importantes de degradación de los recursos naturales es la erosión, especialmente del suelo. La región del país donde la presión del hombre sobre la tierra es la más fuerte es en la Sierra. La actividad agrícola es preponderantemente caracterizada por prácticas agrícolas asiduamente inadecuadas y cultivos que cubren mal el suelo y favorecen la pérdida de tierra. Por ese motivo existe una erosión activa, en algunas regiones muy activa, de carácter potencial, pero que se desarrolla con una relativa rapidez en nuestros días y afecta a toda la parte occidental de la Costa y, en menor grado, a los grandes ejes de colonización de la Región Amazónica.

En el país, así como en todo el mundo, los componentes de la erosión pueden ser determinados, sea como creadores o condicionantes. Factores climáticos como: precipitaciones y viento, son los responsables de la erosión; mientras que factores que condicionan la erosión son: las pendientes de los relieves, las formaciones superficiales y el hombre por cambiar las rasgos de la vegetación natural (Pimentel, 2006). No obstante, en el estado actual de nuestra comprensión por la erosión en el Ecuador cada uno de estos factores no tiene la misma jerarquía: se puede intentar distinguirlos dando un papel más sobresaliente a los factores climáticos y al hombre (Cisneros, 2009). Gracias a múltiples factores adversos como el minifundio, la degradación del suelo resulta significativa en la sierra ecuatoriana, el nivel de pendiente, la dependencia general o parcial de insumos externos, cambio de sistemas de producción de cultivos asociados, disminución de la variedad de especies cultivadas, deficientes prácticas de conservación de suelos, falta de políticas y estímulos económicos para la conservación del ambiente.

Desde el punto de vista de la erosión de los suelos por situaciones de intervención antrópica, todas las provincias del país están, en distinta intensidad, afectadas por problemas de degradación potencial de los suelos. No obstante, en la Sierra y en partes de la Costa se observan procesos erosivos más notorios que en las demás provincias, aquellas están sometidas a presiones por la confluencia de la expansión de la frontera agrícola, ganadería, deforestación, actividad petrolera y minera con sus efectos directos e indirectos sobre los recursos naturales, entre ellos, el suelo. Resaltando que las referidas actividades son potenciales dinamizadores de la degradación del suelo.

Energías renovables

Todas aquellas formas de energía que se adquieren o se generan a partir del uso de recursos naturales y renovables se conocen como energías renovables que es un concepto bastante reciente. Lo que significa que una energía renovable no es limitada sino, por el contrario, puede regenerarse de forma ilimitada, induciendo así entonces menor daño al planeta. Las energías renovables son utilizadas hoy en día en diferentes formas y han surgido como una interesante y verdaderamente útil opción a las energías agotables como el gas o, en mayor grado, el petróleo. Por otra parte, el uso de energías no renovables, al mismo tiempo de gastar los recursos disponibles, suelen contaminar más o generar una mayor alteración al medio ambiente. Actualmente el uso de energías renovables tiene una amplia aplicación por el problema de la disminución de las fuentes no renovables, las tecnologías basadas en energía limpia cada vez se volverán más importantes (Cadena, 2009).

Energías renovables en el Ecuador

El petróleo ha limitado el desarrollo de las energías renovables en Ecuador. Actualmente, en la medida que la extracción petrolera ha empezado a disminuir debido al agotamiento de las reservas, la diversificación energética es imprescindible. La expansión de las fuentes renovables de energía por medio de estrategias ha sido

planteada en los últimos años, con enormes inversiones. No obstante, si no se complementa con una estrategia integrada de conservación de la biodiversidad esta política es insuficiente, la reducción de la deforestación, manejo sustentable de las cuencas, y diversificación de las fuentes renovables, con especial atención a la energía solar, eólica y geotérmica (Larrea, 2012).

El costo, la contaminación y la rápida disminución de los combustibles fósiles están obligando a la humanidad a buscar nuevas alternativas amigables con el ambiente y que sean renovables. La luz y el calor del Sol, así como el calor de la Tierra parecen ser algunos de los más importantes (para no mencionar a la energía nuclear que tiene varios inconvenientes). En última instancia es el Sol el responsable de la energía fotovoltaica y el calor directo, además la energía hidráulica producida por el ciclo de evaporación y lluvia y la energía eólica de los vientos que se mueven por efecto de las diferencias de temperatura atmosférica. Las olas del mar son producidas por efecto de los vientos aun cuando las mareas son más bien producidas por la atracción de la Luna. En el fondo la misma energía biológica (plantas y animales) se origina en la fotosíntesis causada por la luz solar. El Ecuador se ha abastecido tradicionalmente de energía hidroeléctrica (renovable) combinada con un porcentaje de energía térmica (no renovable) proveniente de combustibles fósiles. Desde principios del siglo pasado las poblaciones de la sierra contaban con pequeñas centrales hidráulicas construidas por los municipios, en cambio, a falta del recurso de caudal de agua y altura, los municipios de la costa desarrollaron pequeñas centrales térmicas que, en algunos casos, funcionaban solamente algunas horas por día (Chica & Espinoza, 2014).

Los índices de insolación (radiación solar) están entre los más altos del mundo, que permiten instalar plantas fotovoltaicas (paneles solares) de alto rendimiento y también calentar agua en forma eficiente y económica. La luz solar, haciendo posible la fotosíntesis, incentiva en gran medida el crecimiento de las plantas verdes. De allí que

sea una zona ideal para la agricultura y, por ejemplo, el cultivo de flores. En el Ecuador, debido a las diferencias de temperatura entre la costa y la sierra o entre la Amazonía y la sierra se pueden encontrar zonas en las cuales se puede encontrar viento con características energéticas (Jerez, 2012). Las alturas del valle del Catamayo en Loja, las cuencas del Jubones, del Pastaza y del Mira son ejemplos interesantes. En la costa del Pacífico hay brisa y poco viento excepto en algún sitio como al norte del cabo San Lorenzo (Manabí) que ofrece interesantes perspectivas para un proyecto de magnitud. Posiblemente debido al cambio de temperatura de la atmósfera por efecto de la corriente de Humboldt. Se habla, también, de sitios como García Moreno, Carchi y El Arenal del Chimborazo (BID, 2016).

En el Ecuador se destaca la producción de energía a través de las hidroeléctricas, el recurso está bien aprovechado destacando proyectos como: Coca Codo Sinclair, Toachi Pilatón, Manduriacu, Quijos, Delsitanisagua a más de aquellos, el sector privado desarrolla proyectos como San José del Tambo, Río Verde Chico, San Bartolo, El Topo, etc. Mucha de la tecnología es tan antigua como el hombre: la rueda hidráulica, los molinos de viento, el fuego controlado, los barcos de vela, pero desde hace pocos años se ha creado un remozado lenguaje tecnológico bajo el concepto de energía renovable. Los paneles de silicio, las turbinas eólicas, la electrónica de potencia, la gasificación de biomasa. El Ecuador está introduciéndose en este nuevo mundo de manera paulatina (Pachano, 2008).

Dentro de esta gran corriente de cambios que experimenta el siglo XXI, merece destacar la importancia de desarrollar las energías renovables, como una solución efectiva para disminuir las emanaciones de CO₂, gas que se acumula en la tropósfera generando el efecto invernadero y que incide directamente en el cambio climático. En este marco, el Estado Ecuatoriano en la Nueva Constitución de 2008, contempla la explotación de los recursos naturales, con influencia ambiental y participación social. De

la misma manera el Estado podrá delegar a la iniciativa privada el ejercicio de estas actividades (arts. 313 y 316 de la constitución). Se establece conjuntamente el artículo 15 “La Promoción del Estado al Desarrollo de Tecnologías Limpias”. El artículo 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece que el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo y las universidades (Constitución del Ecuador, 2008).

Energía solar

Es una fuente inagotable de energía renovable que aprovecha de la radiación electromagnética originaria del Sol. Actualmente, la energía solar se puede aprovechar por medio de células fotovoltaicas, colectores térmicos y helióstatos, transformándose en energía térmica o eléctrica (Urdiales & Espinoza, 2015).

La tierra se encuentra relativamente cerca del sol donde su luz y energía tardan alrededor de 8 minutos en viajar esta distancia, además el sol emite radiación en casi todo el espectro electromagnético. La radiación solar nociva es filtrada en su mayor parte por la magnetosfera y la atmósfera, pasan las longitudes de onda que corresponden a la luz visible y al infrarrojo. Es por este motivo que percibimos mayormente en la tierra luz y calor. Es por este motivo que la energía solar ha sido y seguirá siendo el sostén para la vida y también la promotora de los más variados efectos sobre la superficie del planeta: entre otros, los vientos, la formación de nubes y lluvia, o los cambios climáticos que existen alrededor del globo (Urdiales & Espinoza, 2015).

Energía solar en el Ecuador

El Ecuador en el 2008 desarrolló el atlas solar con fines de generación eléctrica. Los datos presentados en la representan la energía solar global promedio de los valores diarios de insolación total (directa y difusa), expresados en $\frac{W}{m^2}$ dia. Las zonas con mayor

potencial para generación fotovoltaica son las provincias de Loja, Imbabura, Pichincha y Carchi (CONELEC, 2008).

El valor medio aproximado de la radiación solar global en el Ecuador es de 4.575 $\frac{W}{m^2}$ *dia*. El potencial solar estimado con fines de generación eléctrica en el país es de 312 GW equivalente a 456 TWh por año o 283 MBEP (millones de barriles equivalentes de petróleo) por año. Este valor equivale aproximadamente a quince (15) veces el potencial hidroeléctrico técnico y económicamente aprovechable del país, a pesar de disponer el Ecuador de un alto potencial energético, el desarrollo de la energía solar fotovoltaica es aún incipiente, de manera particular en micro generación distribuida; para septiembre de 2017, el ARCONEL informa que la capacidad efectiva en este tipo de energía fue de 25,6 MW lo que representó el 0,34 % de la capacidad total del país, habiendo producido 35,3 $\frac{GWh}{año}$ equivalente al 0,15 % de la producción total de energía. Además, en el Ecuador no se dispone de información relacionada con paneles fotovoltaicos que puedan considerarse como micro generación distribuida. La información estadística antes indicada se refiere a centrales fotovoltaicas de capacidad entre 0,37 MW y 1 MW, siendo la gran mayoría de centrales cercanas a este último valor (J. Muñoz et al., 2018).

Radiación solar

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos mediante el sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta). La luz visible son las radiaciones comprendidas entre 0,4 μm y 0,7 μm (micras), mismas que pueden ser detectadas por el ojo humano. También existen radiaciones situadas en la parte infrarroja del espectro de la cual una parte es ultravioleta. La energía emitida por el sol también se le conoce como “Espectro Solar” donde es captada por la tierra a través de tres formas de radiación solar que son: directa, difusa y reflejada (Finder, 2011).

Para poder medir la radiación solar existen términos con los que se los puede hacer y estos son:

Irradiancia

Es la cantidad de energía que se capta en un área, la radiación solar que cae en una superficie terrestre y su unidad de medida es $\frac{W}{m^2}$.

Irradiación

Es la cantidad de radiación solar por unidad de superficie a lo largo de un tiempo y su unidad de medida es $\frac{W * h}{m^2}$.

Insolación

Es la cantidad de energía considerando un tiempo promedio de permanencia sobre una superficie terrestre y su unidad de medida es $\frac{W * h}{m^2}$.

Tipos de radiación solar

Existen tres tipos de radiación solar en función de cómo inciden sobre la superficie de la tierra y son:

Radiación directa

La radiación directa se constituye de rayos paralelos que vienen del sol directamente, esta radiación se produce en días despejados y se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan. Es la que recibimos cuando los rayos solares no se difuminan o se desvían a su paso por la atmósfera terrestre. (Urdiales & Espinoza, 2015).

Radiación difusa

Radiación proveniente de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera. Es la radiación solar difundida por la atmósfera (por lo que no llega directamente del sol). La insolación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma. Esta energía podría suponer

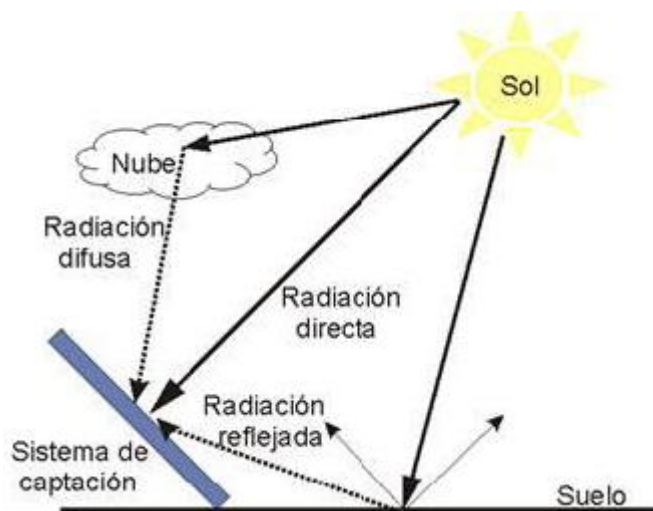
aproximadamente un 15% de la insolación en los días soleados, pero en los días nublados, en los cuales la insolación directa es muy baja, la insolación difusa supone un porcentaje mucho mayor. Las superficies horizontales reciben más insolación difusa, porque están en contacto con toda la semiesfera celeste, mientras que las superficies verticales no porque están en contacto con la mitad de la semiesfera celeste (Romero, 2015).

Radiación reflejada

Es la radiación que pasa primero por las nubes o cuerpos de reflexión para llegar a los paneles, como por ejemplo la infraestructura o el suelo en donde depende la forma y textura de los alrededores (Romero, 2015).

Figura 2

Tipos de radiación proveniente del sol



Nota: La figura muestra los distintos tipos de radiación proveniente del sol.

Energía solar fotovoltaica

La energía fotovoltaica es el aprovechamiento y transformación de la radiación solar en electricidad, por medio de la utilización de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares; esta electricidad puede ser utilizada de manera directa o se la puede

almacenar para una posterior utilización e incluso puede introducirse en la red eléctrica (Finder, 2011).

En general, la asociación fácil entre producción fotovoltaica y energía limpia e ilimitada puede tener un efecto positivo en el cambio progresivo hacia actitudes y hábitos de consumo que permitan reducir el gasto innecesario de energía y que valoren más los esfuerzos colectivos por disminuir la presión sobre el entorno natural (Velasco, 2008).

El sector fotovoltaico de Latinoamérica y el Caribe ha tenido un crecimiento acelerado durante el 2014. Las centrales fotovoltaicas de gran escala empiezan a hacerse campo en diferentes países, así como los proyectos de menor escala conectados a red. Asimismo, el uso de la energía solar fotovoltaico continúa como una opción frecuentemente utilizada para la provisión de acceso a electricidad en las zonas más remotas de la región. El Ecuador fue uno de los pioneros en promover resoluciones de estímulos socioeconómicos para las energías renovables en la región, a pesar de los esfuerzos el sector fotovoltaico aún no es tan aprovechado en el país (OLADE, 2015).

La energía solar fotovoltaica es un medio alternativo que permite proveer energía eléctrica a zonas de difícil acceso, las instalaciones a pequeña escala no implican inversiones y requieren poca manutención (Finder, 2011).

Paneles fotovoltaicos

Un panel solar está constituido por varias células iguales conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y corriente suministrada por el panel se incrementa hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los paneles solares se construyen asociando primero células en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego asociando en paralelo varias asociaciones serie de células para alcanzar el nivel de corriente deseado. Además, el panel cuenta con otros elementos a parte de las células solares, que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos; asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la

sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica (Capa, 2013).

Sistemas aislados de energía solar fotovoltaica

Una instalación fotovoltaica aislada es aquella que abastece toda la demanda eléctrica mediante su producción propia. En general, dichas instalaciones son una alternativa en aquellos lugares donde la acometida de red no resulta viable. Estas instalaciones requieren de baterías u otros equipos de apoyo para garantizar el abastecimiento (Basterra & Legarza, 2017).

Los sistemas aislados están constituidos principalmente paneles fotovoltaicos que captan los rayos solares para luego ser convertido en energía eléctrica la cual es almacenada en baterías, gracias a esta tecnología podemos disponer de electricidad en lugares que se encuentren alejados y de difícil acceso para llegar hacia la red de distribución eléctrica, vale mencionar que el montaje de un alimentador desde la red de distribución de energía eléctrica comercial representaría un alto costo debido que las comunidades se encuentran equidistantes unas de otras (Capa, 2013).

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red

Este método consiste en generar electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos y luego inyectarla directamente a la red de distribución de energía eléctrica. Este tipo de centrales fotovoltaicas pueden ir desde pequeñas instalaciones de 1 a 5 KW (Kilowatts) hasta centrales de 100 KW (Kilowatts) sobre cubiertas de naves industriales o en suelo, e incluso se pueden construirse plantas de varios Megawatts. Las instalaciones pueden ser fijas o móviles con seguimiento, de manera que los paneles fotovoltaicos están instalados sobre unas estructuras que se mueven siguiendo el recorrido del sol para maximizar la generación de electricidad (Capa, 2013).

Restricciones ambientales y urbanísticas

Dirección nacional de biodiversidad

Reservas de biosfera

Se trata de espacios excepcionales del planeta por sus valores naturales y culturales, donde se promueve una relación armónica entre el ser humano y la naturaleza. Son áreas reconocidas por el Programa del Hombre y la Biosfera de la UNESCO, a solicitud de los gobiernos de cada país, una vez cumplidas condiciones para su admisión en la Red Mundial de Reservas de Biosfera. Ecuador, como muchas otras naciones, ha sostenido su desarrollo en modelos económicos que han contribuido a la crisis ambiental mundial, por tanto la gestión pública y la de los diferentes sectores de la sociedad ecuatoriana deben ofrecer respuestas que reviertan la degradación de sus ecosistemas y, a la vez, contribuyan con la comunidad internacional en el desarrollo de referentes territoriales donde se demuestre que es posible proteger los ecosistemas, las culturas locales, desarrollen buenas prácticas de producción con responsabilidad ambiental y social, con economías de calidad y se respeten los derechos de la naturaleza y se promueva el buen vivir (MAAE, 2010).

Desde 2008, el interés del MAAE y de varios actores ha crecido para impulsar la gestión de las Reservas de Biosfera: se conformó la Red Nacional de Reservas de Biosfera (RNRB) y entre todos se construyó su Plan de Acción, en el que se priorizaron actividades vinculadas a la consolidación de la legislación nacional, al desarrollo de la institucionalidad y a la sistematización de información relevante para contribuir con la Red Mundial de Reservas de Biosfera (MAAE, 2010).

Zonas intangibles

Las zonas intangibles, según la ley ecuatoriana, son “espacios protegidos de gran importancia cultural y biológica en los cuales no puede realizarse ningún tipo de actividad extractiva debido al alto valor que tienen para la Amazonía, el Ecuador, el mundo y las presentes y futuras generaciones” (De Marchi et al., 2011).

Las zonas intangibles en Ecuador aparecen aproximadamente en 1999, mediante dos Decretos Presidenciales. Se trata del Decreto Ejecutivo No. 551 y el No. 552 (Registro Oficial Suplemento 121, 2 de febrero, 1999): el primer decreto declara Zona Intangible el área de Cuyabeno - Imuya, dentro la misma Reserva de Producción Faunística de Cuyabeno; el segundo promulga la intangibilidad de un área que cubre parte del Parque Nacional Yasuní y de la Reserva Indígena Waorani, con la prioridad de tutelar los derechos territoriales de los Pueblos Indígenas en Aislamiento (De Marchi et al., 2011).

Áreas protegidas

El Ecuador está entre los primeros lugares de Latinoamérica en el ámbito de conservación o manejo ambiental. Las áreas protegidas son espacios geográficos claramente definidos, reconocidos y gestionados, mediante medios legales u otros tipos de medios eficaces para conseguir la conservación a largo plazo de la naturaleza y de sus servicios ecosistémicos y sus valores culturales asociados (MAAE, 2016).

Son superficies que tienen como objetivo proteger y el mantener de la diversidad, recursos naturales y culturales asociados, manejadas a través de medios jurídicos u otros medios eficaces (UICN, 1998). Aproximadamente el 20% de las áreas protegidas constituyen territorio nacional en estado de conservación, ubicados en la máxima escala de protección por medio de la legislación ambiental nacional, por Constitución de la República son parte de uno de los subsistemas del gran Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) conocido como Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE), distribuidas en todo el territorio continental e insular, albergan una importante riqueza

biológica, servicios ecosistémicos de los cuales se benefician tanto las poblaciones urbanas como rurales, una riqueza paisajística que permite el turismo y la recreación en parte de ellas, y por su importancia ecológica trascienden fronteras que son reconocidas a nivel internacional (MAAE, 2016).

El MAAE, que establece políticas ambientales, procesos para la administración de las áreas protegidas del PANE, también trabaja en la generación de otras herramientas como lineamientos que estarán a disposición de los Gobiernos Autónomos Descentralizados, Comunidades y Propietarios privados, que también tienen la posibilidad de declarar sus predios como áreas protegidas, de esta manera se estará cumpliendo el mandato constitucional que reconoce además del Subsistema del PANE, los Subsistemas de las áreas protegidas de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADS), Comunitarios y Privados (MAAE, 2016).

El Ecuador alberga 1.642 especies de aves, 4.300 especies de orquídeas, 540 de anfibios y 403 de mamíferos, 79% de las formaciones vegetales existentes en el territorio ecuatoriano se encuentran en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas. Las áreas protegidas constituyen la solución natural más efectiva a nivel global, para contrarrestar los procesos de deforestación y cambios de uso del suelo que producen las emisiones de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático. Las áreas protegidas amazónicas del Ecuador son un claro ejemplo ya que almacenan 708 millones de toneladas de carbono, contribuyen a la mitigación del cambio climático y, de esta manera, apoyan la resiliencia del bosque continuo más grande del mundo (MAAE, 2016).

Humedales del Ecuador

Los humedales son ecosistemas cuya característica es la presencia de agua durante periodos prolongados como para altera los suelos, su flora y fauna de tal forma que el suelo no actúa como en los hábitat acuáticos o terrestres (Policy et al., 1997).

Dirección nacional forestal

Bosques y vegetación protectora

Son formaciones vegetales que no son aptas para la agricultura o la ganadería, sus funciones son las de conservar el agua, el suelo, la flora y la fauna silvestres (Puente, 1998).

En el Ecuador existen 202 BVP, de los cuales 169 se encuentran georreferenciados, los mismos que abarcan una superficie de 2´425.002,9 hectáreas, que representa el 9,72% del territorio nacional. Los Bosques y Vegetación Protectora se encuentran distribuidos como: Estatal con un 41%, propiedad mixta (estatal y privado) con un 10%, propiedad privada representa el 48% y la propiedad comunitaria con un 1%. Según el mapa de cobertura y uso de la tierra del año 2016 a escala 1:100.000, de los 169 BVP, 95 BVP tienen más del 75% de vegetación natural.

Programa socio bosque

Es un programa es voluntario, ningún propietario de bosques es obligado a participar. Luego de una respectiva socialización y consulta en el caso de los pueblos y nacionalidades, los propietarios firman un convenio de conservación con el MAE. Luego de lo cual el MAE transfiere un incentivo económico por cada hectárea, de forma directa a sus propietarios. El monto del incentivo alcanza hasta un monto de 60 dólares por hectárea al año, de acuerdo al número de hectáreas que un propietario desea ingresar al Programa. La entrega de este incentivo está condicionada a la protección y conservación de sus bosques, lo que significa que las personas reciben el incentivo una vez cumplen con las condiciones de seguimiento que se determinan en convenio que se firma con el Ministerio del Ambiente. Todas las personas naturales, comunas legalmente constituidas, y pueblos o nacionalidades indígenas, pueden participar en Socio Bosque (MAAE, 2016).

Territorio y división política de las provincias de Pichincha e Imbabura

Pichincha, con relación al Ecuador, es undécima en extensión territorial, con 9466.84 km², y la segunda a nivel de población, se divide en ocho cantones: Distrito Metropolitano de Quito DMQ, Cayambe, Mejía, Pedro Moncayo, San Miguel de Los Bancos, Pedro Vicente Maldonado, Puerto Quito y Rumiñahui. Tiene 53 parroquias rurales de las cuales 33 pertenecen al Distrito Metropolitano de Quito. Más del 70 % de la extensión territorial de la provincia la ocupan tres cantones, el DMQ con 4 217 km² que representa el 45%, Mejía con el 15% y 1 410 km² y Cayambe el 13% con 1 199 km². El 30% restante corresponde a los otros 5 cantones que en su orden tienen el siguiente porcentaje: San Miguel de Los Bancos 9%, Puerto Quito y Pedro Vicente Maldonado cada uno con el 7%, Pedro Moncayo con el 4% y finalmente Rumiñahui el más pequeño con el 1% de la extensión (GAD Pichincha, 2015).

En Pichincha las áreas naturales representan el 50% de su extensión, el 47% dedicado exclusivamente a estas actividades y un 5,95% para conservación y producción y 3,78 para protección o producción. Las actividades pecuarias ocupan el segundo lugar con un 21%. El terreno agrícola alcanza un 8,28%, agropecuario mixto 5,9% y tierras improductivas un 0,47%. Con relación a los cantones, San Miguel de los Bancos, Mejía y Quito tienen mayores porcentajes de áreas de conservación, en Puerto Quito el 40% de su extensión está dedicada a la agricultura, todos los cantones a excepción de Cayambe alcanzan un porcentaje mayor al 15% de producción pecuaria (GAD Pichincha, 2015).

La Provincia de Imbabura está conformada por 6 cantones, 36 parroquias rurales y 6 urbanas. A nivel cantonal Cotacachi tiene la mayor superficie ocupa el 36,6% del territorio provincial, seguido de Ibarra con el 24,71%, y Urcuquí que representa el 16,92%. Mientras que los cantones de menor tamaño son Otavalo con el 11,50%, Pimampiro con el 9,53% y Antonio Ante con el 1,74% de la superficie provincial, A nivel parroquial las mayores extensiones de territorio corresponden a García Moreno del cantón Cotacachi

que representa el 15,75% del territorio provincial, seguido de La Merced de Buenos Aires del Cantón Urcuquí con el 9.60%, y La Carolina del Cantón Ibarra con el 6,19%. Mientras que las 3 parroquias de menor superficie corresponden a Pataquí del Cantón Otavalo que representa el 0,21%, seguido de Imbaya y San Roque del Cantón Antonio Ante con el 0.24 y 0.35% respectivamente (GAD Imbabura, 2015).

Imágenes satelitales

El producto que se obtiene como resultado de la captación de radiación electromagnética que puede ser emitida o a su vez reflejada por un cuerpo celeste, por medio de un satélite artificial, se conoce como imagen satelital, que después para su análisis y procesamiento se transmite a estaciones terrestres. Hay diferentes tipos de satélites, todo depende de su sensor, las cuales se utilizan en un sin número de áreas, desde usos militares hasta monitoreos climáticos, etc.

Preprocesamiento de imágenes satelitales

Consiste en realizar determinadas correcciones a las imágenes, para eliminar cualquier incoherencia detectada en la imagen, en la radiometría de los píxeles que la componen o en la localización.

Correcciones geométricas

La corrección geométrica es la modificación de la geometría de la imagen respecto de la geometría de la superficie terrestre. La georreferenciación es su adaptación a un sistema geodésico de referencia y una proyección geográfica determinada (Gonzaga, 2015).

Correcciones radiométricas

La dispersión y absorción son efectos que producen en la atmósfera, en donde se genera un ruido con efectos significativos en la teledetección y su remoción es necesaria (Gonzaga, 2015).

Estas correcciones buscan aumentar la precisión de las medidas de reflectancia, eliminando el ruido en los niveles digitales de la imagen compensando las diferencias en los valores de radiancia y la conversión de los niveles digitales a valores de radiancia y reflectancia, utilizando geometrías de iluminación u observación y modelos de atmósfera. Las correcciones atmosféricas es convertir los valores obtenidos por el sensor remoto en valores de reflectancia en superficie (Díaz Montejó et al., 2010).

Cálculo de reflectividades

Para determinar la reflectancia de una superficie se relaciona las magnitudes de energía incidente y reflejada, por medio de datos medidos por el sensor, ya que la radiancia espectral medida por éste es consecuencia de la reflexión de la radiación solar por el suelo. Esa medición se codifica en un valor numérico o niveles digitales (Díaz Montejó et al., 2010).

Conversión a parámetros físicos:

- Primeramente, se convierten los niveles digitales a radiancia y a partir de ésta obtener otros parámetros.
- Para obtener la radiancia es necesario conocer los coeficientes de calibración del sensor que la relacionan con los niveles digitales (Gonzaga, 2015).

Correcciones atmosféricas

Para conocer los valores de la reflectancia en la superficie se tiene que necesitar añadir una corrección sobre el efecto de la atmósfera sobre la señal que recibe el sensor, a través de procedimientos complejos que requieren datos sobre las condiciones de la atmósfera en el momento de tomar la imagen (Gonzaga, 2015). El efecto de la atmósfera no es constante, existen zonas más afectadas que otras, en función de la diversa presencia de vapor de agua o aerosoles (Díaz Montejó et al., 2010).

Correcciones topográficas

La topografía irregular y la iluminación oblicua generan efectos de iluminación y sombreado, provocando una variación en la respuesta radiométrica de la superficie inclinada frente a la de una horizontal. Otro efecto importante es el ocasionado por el sombreado sobre un lugar del terreno para la posición del sol en el momento en que se toma de la imagen (Gonzaga, 2015).

Índices de vegetación

Los índices de vegetación, o índices verdes, son transformaciones que implican efectuar una combinación matemática entre los niveles digitales almacenados en dos o más bandas espectrales de la misma imagen (UEGPS, 2018). Considerando que pueden existir otras coberturas con alta reflectancia en el infrarrojo, u otras con alta absorción en el rojo, el empleo de solo una banda puede conducir a errores (Gonzaga, 2015). Sin embargo, solo la vegetación viva produce invariablemente ambas respuestas, de modo que, si se calcula el cociente de la reflectancia infrarroja por la roja, o su diferencia, como la primera siempre aumenta conforme la segunda disminuye, el cociente será mayor cuanto más vegetación haya, por el efecto aditivo que una mayor abundancia de vegetación produce (P. Muñoz, 2013).

La observación remota de las cubiertas vegetales puede apoyarse en el gran contraste cromático que presenta la vegetación vigorosa entre las distintas bandas del espectro, y singularmente entre la visible (alta absorción, baja reflectividad) y el NIR (baja absorción, alta reflectividad) (UEGPS, 2018).

SAVI (Índice de vegetación ajustado al suelo)

El Índice de vegetación ajustado al suelo pretende disminuir las variaciones presentes en los valores del NDVI en aplicaciones en lugares áridos, ya que el mismo valor del índice de vegetación de diferencia normalizada puede referirse a cubiertas vigorosas, pero poco densas o a cubiertas densas, pero con poca vitalidad, con los

valores que tiene el suelo desnudo. Incorpora una constante de suelo, la cual se usa de acuerdo con vegetación de baja, intermedia o alta densidad. Considera la influencia de la luz y del suelo oscuro en el índice (Gonzaga, 2015).

El Índice de vegetación ajustado al suelo se calcula mediante la siguiente expresión:

$$SAVI = \frac{IR - R}{IR + R + L}(1 + L)$$

Donde:

IR = reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al infrarrojo cercano

R = reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo

L = es un parámetro que varía según la densidad de la vegetación, para densidades intermedias, como en el caso de las imágenes de satélite, se toma 0.5

El factor L (línea de suelo) es un parámetro que varía según la densidad de la vegetación y que está relacionado con la reflectividad del suelo. Para densidades intermedias, como en el caso de las imágenes de satélite, se toma L = 0.5. Este índice se utiliza con el fin de conseguir corregir algunos efectos externos al valor del NDVI en lugares donde el aporte de la reflectividad del suelo es elevado (P. Muñoz, 2013).

Análisis multicriterio

En la toma de decisiones el análisis multicriterio es un instrumento de apoyo muy importante ya que logra integrar múltiples criterios conforme a la opinión de expertos en un solo marco de análisis para dar una visión más completa. En los procesos de toma de decisiones intervienen varios criterios, es preciso utilizar herramientas para buscar una solución que satisfaga en mejor grado la combinación de alternativas posibles.

Proceso de análisis jerárquico

El AHP (Proceso de Análisis Jerárquico) que fue desarrollado a finales de los 60 por Thomas Saaty. Es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando

se tienen en consideración varios criterios y está basado en el principio que la experiencia y el conocimiento de los actores son tan importantes como los datos utilizados en el proceso. El AHP permite constituir un complejo problema en subproblemas jerárquicos a través de una escala de comparación como muestra la tabla 1.

Tabla 1*Escala de comparación de Saaty*

ESCALA	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igualmente, importante	Los dos criterios contribuyen igual al objetivo
3	Moderadamente importante	La experiencia y el juicio favorecen un poco a un criterio frente al otro
5	Fuertemente importante	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a un criterio frente al otro
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Un criterio es favorecido muy fuertemente sobre el otro. En la práctica se puede demostrar su dominio
9	Importancia extremadamente fuerte	La evidencia favorece en la más alta medida a un factor frente al otro
2,4,6,8		Intermedio de los valores anteriores

Nota: La tabla muestra las diferentes escalas de la tabla de comparación de Saaty.

Fuente: (R. W. Saaty, 1987).

Una vez se han definido los criterios, se realiza el análisis por pares, es decir, se comparan cada una de las alternativas frente a cada uno de los criterios y se colocan los valores de la escala de Saaty y sus inversos (T. L. Saaty & Shang, 2011). Después de haber realizado las comparaciones de todos los factores, estas matrices son normalizadas, es decir, se divide cada término de la matriz sobre la suma de sus columnas, y en este caso se obtendría una matriz normalizada a la cual se saca el promedio para obtener las prioridades o pesos (Osorio Gómez & Orejuela Cabrera, 2008).

Razón de consistencia

La razón de consistencia sirve para validar que los juicios no tengan errores entre ellos, es decir, que no se haya producido contradicciones en los mismos. El valor de la razón de consistencia depende del tamaño de la matriz de comparaciones, en donde para matrices de 3 criterios es del 5%, matrices de 4 criterios es del 9% y para mayor cantidad de criterios el 10%. Cuando el valor porcentual de la razón de consistencias sea mayor que el máximo valor permisible, las opiniones y los juicios deben ser reevaluados.

$$\text{Razón de concistencia (RC)} = \frac{\text{Índice de consistencia (IC)}}{\text{Índice de aleatoriedad (IA)}}$$

Para calcular el índice de consistencia se determina primero la matriz B que es el producto de la matriz de comparaciones por la matriz de prioridades, luego se calcula (γ) que es la suma del vector B y n es el número de criterios.

$$\text{Índice de concistencia (IC)} = \frac{(\gamma) - n}{n - 1}$$

El índice de aleatoriedad depende de la cantidad de criterios como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2*Índice de aleatoriedad para los distintos criterios*

Número de criterios	Índice aleatorio IA
3	0,5
4	0,9
5	1,1
6	1,2
7	1,3
8	1,4

Nota: La tabla muestra los valores del índice de aleatoriedad para la cantidad de criterios.

Desarrollo eléctrico en el Ecuador

El desarrollo del sector eléctrico es estratégico; por lo tanto, debe garantizar el abastecimiento energético, principalmente mediante el incremento de la participación de la generación hidroeléctrica que permitirá reducir progresivamente la generación termoeléctrica; así también, debe fortalecer la red de transmisión y subtransmisión, adaptándolas a las actuales y futuras condiciones de oferta y demanda de electricidad. Esto se complementa con la inserción paulatina del país en el manejo de otras fuentes de energía renovable como: energía solar, eólica, geotérmica, de biomasa, mareomotriz; estableciéndose como las principales alternativas sostenibles en el largo plazo para la generación de energía eléctrica. Dentro de este contexto, la proyección de la demanda se convierte en el eje fundamental a partir del cual se desarrolla la planificación, debido a que considera una serie de hipótesis debidamente sustentadas que contemplan la

evolución histórica de la demanda eléctrica a nivel nacional, los impactos producidos por la incorporación de cargas especiales al sistema, variables políticas, económicas sociales, ambientales y tecnológicas que se reflejan en el comportamiento de la demanda eléctrica (CONELEC, 2013).

Antecedentes de la cobertura energética en el Ecuador

La expansión de la generación, transmisión y distribución dependen principalmente de la proyección del consumo de energía eléctrica; sin embargo, en nuestro país el sector eléctrico no contó con una planificación sino hasta la creación del Instituto Ecuatoriano de Electricidad, INECEL, el cual publicó el primer plan de electrificación en 1966. En 1979 se empieza el uso de modelos matemáticos computacionales que permitían resolver los problemas de planificación. Con los resultados de estos modelos se elaboró el Plan Maestro de Electrificación de 1983.

El resultado del análisis en ese entonces determinó que la función a ser utilizada era de tipo exponencial, desfasada en el tiempo y autorregresiva, y que las variables predictoras que explicaban de mejor manera la evolución eran el Producto Interno Bruto, PIB y el consumo de energía estadístico. El Plan de 1989 cambia la proyección sectorial, por un análisis de la demanda a nivel de subestaciones de entrega. En el Plan Maestro de Electrificación para el período 1993 – 2002, se plantearon dos escenarios de crecimiento de la demanda: menor y mayor; definidos según las expectativas de desarrollo económico del país cuantificadas a través del PIB. La metodología utilizada por INECEL, para la obtención de la demanda se considera que el crecimiento de la demanda nacional tiene una componente debido al crecimiento del consumo de los diferentes sectores o tipos de clientes.

A partir de la publicación de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico en el Registro Oficial en el 1996 se establece que el Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC, sería el encargado de la elaboración del Plan de Electrificación. Es así como en 1998 se aprobó

y publicó el primer Plan de Electrificación elaborado en base a dicha ley. Para la proyección de demanda fue utilizado un modelo econométrico con variables explicativas macroeconómicas y sectoriales, incorporándose además la proyección de demanda de las empresas distribuidoras en su respectiva área de concesión para cada subestación de su sistema. En el Plan de Electrificación para el período 2000 – 2009 se consideró la sensibilidad al precio de la energía como una variable que afectaba a la demanda; sin embargo, debido a la evolución de los precios de la electricidad, la demanda tuvo un comportamiento diferente al del PIB produciendo una distorsión en la correlación entre la evolución de la demanda con la economía del país (CONELEC, 2013).

Análisis socioeconómico

El nivel socio económico no es una característica física y que fácilmente se pueda informar, sino que se basa en la integración de distintos rasgos de las personas o sus hogares, cuya definición varía según países y momentos históricos. Como lo muestran las muchas conceptualizaciones de niveles socioeconómicos, entre ellas como la posición de un individuo o de un hogar dentro de una estratificación socioeconómica. O como una medida de la posición relativa económica y social de una persona/hogar. Así también, se la presenta como la medida del lugar social de una persona dentro de un grupo social, basado en varios factores, incluyendo el ingreso y la educación (Vera-romero & Vera-romero, 2013).

El nivel socioeconómico junto al sexo y a la edad son los tres indicadores que componen cualquier estudio demográfico. Sin embargo, no siempre se está de acuerdo sobre las posibilidades de su determinación lógica. Componer índices de nivel socioeconómico con diferentes indicadores, y valores distintos por medio de ponderaciones incluso en variables mayor coincidencia entre investigadores y usuarios, la cual proyectó imágenes divergentes de una misma estructura, limitando la

comparabilidad entre diferentes estudios y dificultando la posibilidad de analizar series históricas a lo largo del tiempo (Vera-romero & Vera-romero, 2013).

Capítulo III

Metodología


Determinación de zonas con pérdida de vegetación y sus cambios en los años “2016” y “2018”

Recopilación de la Información

La metodología se basa en encontrar posibles zonas en donde la cobertura vegetal haya cambiado en los años 2016 y 2018 mediante el uso de imágenes satelitales SENTINEL 2A, que se adquirieron a través de la USGS, la cual ofrece servicios de descarga de diferentes tipos de imágenes satelitales (GEODIM, 2017). Las imágenes obtenidas para el desarrollo de la investigación fueron 4 imágenes SENTINEL 2A del 29 de octubre del 2016 y 4 imágenes SENTINEL 2A del 24 de octubre del 2018, las características del satélite se describen a continuación en la figura 3:

Figura 3

Características del satélite Sentinel 2A

SENTINEL 2A	
	El satélite europeo SENTINEL 2A forma parte de la familia de misiones de la ESA dentro de su programa espacial Copernicus. Se lanzó al espacio en 2015 y su gemelo SENTINEL 2B se espera para 2016 en la misma órbita, pero con un desfase de 180°, proporcionando una alta frecuencia de revisita.
Lanzamiento	SENTINEL 2A: 23/06/2015.
Altura órbita	786 Km
Revisita	10 días individualmente - 5 días conjuntamente
Resolución	10 – 60 m
Características generales	<p>Sentinel 2 lleva una cámara multispectral de alta resolución, basada en las misiones francesas SPOT y en los satélites estadounidenses Landsat, con 13 bandas espectrales que aportan una nueva perspectiva de la superficie terrestre y de la vegetación.</p> <p>Utiliza un sistema de barrido a lo largo de la trayectoria (<i>push-broom</i>) para generar una imagen de 290 kilómetros de ancho y poder ofrecer muy altas prestaciones geométricas y espectrales en sus datos.</p> <p>La cámara cuenta con dos grandes planos focales, uno en las bandas del visible (VIS) y del infrarrojo próximo (NIR) y el otro, en el infrarrojo medio (SWIR). Cada uno de ellos está equipado con 12 detectores con un total de 450.000 píxeles.</p>

Nota: La figura muestra las características del satélite SENTINEL 2A. Fuente: (GEODIM, 2017).

Las características de las bandas de las imágenes del satélite SENTINEL 2A se describen a continuación en la figura 4:

Figura 4

Características de las bandas del satélite Sentinel 2A

Banda	Resolución	Longitud de onda central	Descripción
B1	60 m	443 nm	Ultra azul (Costa y Aerosol)
B2	10 m	490 nm	Azul
B3	10 m	560 nm	Verde
B4	10 m	665 nm	rojo
B5	20 m	705 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B6	20 m	740 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B7	20 m	783 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8	10 m	842 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B8a	20 m	865 nm	Visible e Infrarrojo Cercano (VNIR)
B9	60 m	940 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B10	60 m	1375 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B11	20 m	1610 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)
B12	20 m	2190 nm	Onda Corta Infrarroja (SWIR)

Nota: La figura muestra las distintas características de las bandas del satélite. Fuente: (GEODIM, 2017).

Preprocesamiento de las imágenes satelitales

Las imágenes SENTINEL 2A que se usaron, tienen un nivel de procesamiento nivel-1C como se muestra en la figura 5, las imágenes están orto rectificadas, en base a un proceso establecido en el uso de un modelo digital del terreno, proporcionan orto imágenes en el CRS de datum WGS84 en la proyección UTM, en el huso correspondiente a la ubicación geográfica, con niveles digitales correspondientes a valores de reflectancia aparente en el techo la atmósfera (TOA). Motivo por el cual lo cual se realizó una corrección radiométrica y atmosférica.

Figura 5

Nivel de procesamiento de las imágenes Sentinel 2A

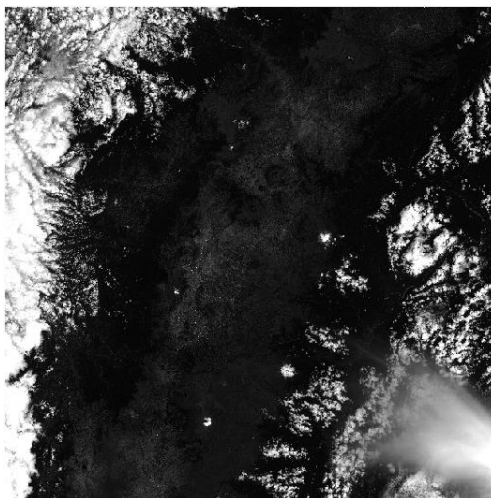
Metadata for S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20161029T1545...	
Archiving Center	SGS_
Datatake Type	INS-NOBS
Datatake Identifier	GS2A_20161029T153622_007072_N02.04
Data Type	UINT16
Product Type	S2MS1C
Product Format	JPEG2000
Processing Level	LEVEL-1C
Datastrip ID	S2A_OPER_MSI_L1C_DS_SGS__20161029T204057_S2016
Datum	WGS84
Map Projection	UTM
UTM Zone	17N
EPSG Code	32617
Resolution	10, 20, 60
Units	METER

Nota: La figura muestra las distintas características de las bandas del satélite. Fuente: (GEODIM, 2017).

Para realizar las correcciones radiométricas y atmosféricas se utilizó el software QGIS (Método DOS1/CHAVEZ) SCP, para posteriormente realizar un mosaico para cada una de las imágenes satelitales.

Figura 6

Mosaico de las imágenes SENTINEL 2A del 2016



Nota: La figura muestra el mosaico para el año 2016. Fuente: (USGS,2016).

Figura 7

Mosaico de las imágenes SENTINEL 2A del 2018



Nota: La figura muestra el mosaico para el año 2018. Fuente: (USGS,2018).

Cambios de cobertura vegetal

Se realizó una comparación de imágenes de satélite para la detección de cambios de cobertura, para lo cual se debe reclasificar las imágenes que previamente se les realizó en índice de vegetación normalizado ajustado al suelo de los años 2016 y 2018 (Ambrosio et al., 2009). Para la interpretación del SAVI de cada período, se usó la tabla de interpretación, basada en la tabla de índices de vegetación de (Merg et al., 2011).

Tabla 3

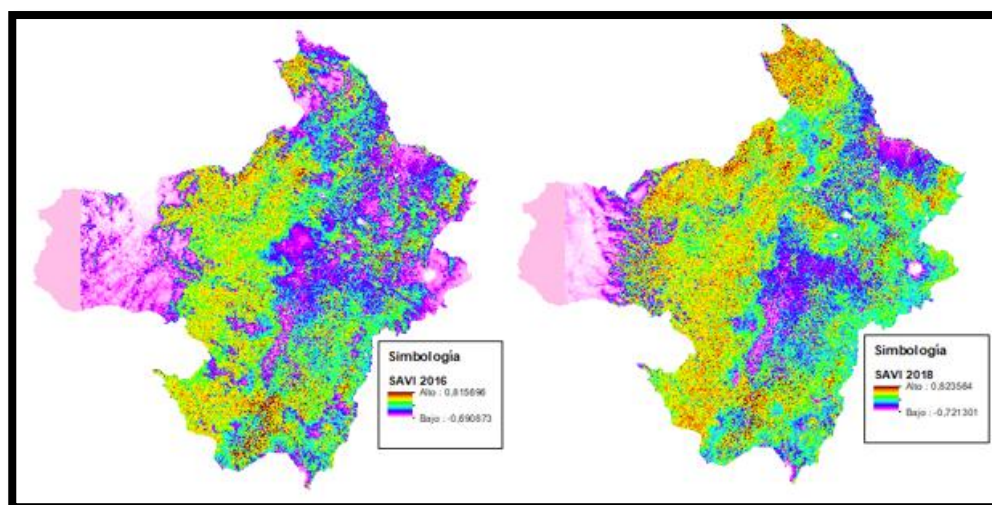
Clasificación de cobertura vegetal

Clasificación	Valor de pixel (SAVI)
Suelo desnudo, nubes, agua, roca o nieve	<0.1
Vegetación ligera	0.1-0.2
Vegetación media	0.21-0.3
Vegetación abundante	>0.31

Nota: La tabla muestra la clasificación de cobertura vegetal para los diferentes valores del pixel. *Fuente:*(Merg et al., 2011).

Figura 8

Índices de vegetación ajustado al suelo SAVI del 2016 y 2018



Nota: La figura muestra los índices SAVI para el año 2016 y 2018.

Para determinar las zonas, en donde la cobertura del suelo por la reclasificación del SAVI haya sufrido modificaciones se realizó una suma de los valores de los píxeles asignados mediante una reclasificación a cada una de las coberturas vegetales en diferentes años como se muestra en la tabla 3 (Chaparro, 2017).

Tabla 4*Reclasificación de las coberturas vegetales*

Año	Cobertura	Reclasificación del valor de píxel (SAVI)
	Vegetación ligera	1
2016	Vegetación media	2
	Vegetación abundante	3
	Vegetación ligera	10
2018	Vegetación media	20
	Vegetación abundante	30

Nota: La tabla muestra la reclasificación del índice SAVI para las coberturas de los años 2016 y 2018. Fuente:(Merg et al., 2011).

Luego de realizar la suma de los valores reclasificados para cada cobertura vegetal en diferente año se tienen valores del píxel como indica la tabla 5 en donde podemos ver los cambios en las diferentes coberturas vegetales (Ambrosio et al., 2009).

Tabla 5*Valores de la suma de los píxeles de la reclasificación*

		2018		
		Vegetación escasa y ligera	Vegetación media	Vegetación abundante
	valores	10	20	30
2016	Vegetación escasa y ligera	11	21	31
	Vegetación media	12	22	32
	Vegetación abundante	13	23	33
		1	2	3

Nota: La tabla muestra los valores de la suma de los píxeles de la reclasificación del valor del píxel.

La descripción de cada valor del píxel se muestra en la tabla 6.

Tabla 6*Valor de los píxeles en los diferentes cambios de las coberturas*

Cambios	Valor
No hay cambio (vegetación ligera)	11
De vegetación ligera a vegetación media	21
De vegetación ligera a vegetación abundante	31
No hay cambio (vegetación media)	22
De vegetación media a vegetación ligera	12
De vegetación media a vegetación abundante	32
No hay cambio (vegetación abundante)	33
De vegetación abundante a vegetación ligera	13
De vegetación abundante a vegetación media	23

Nota: La tabla muestra el valor de los píxeles en los diferentes cambios de las coberturas vegetales.

Zonificación de infraestructura fotovoltaica en las provincias de Pichincha e Imbabura.

Recopilación de la Información

La información geográfica de las provincias de Pichincha e Imbabura se recopiló en formato digital. La descripción de la información se describe a continuación en la tabla 7.

Tabla 7

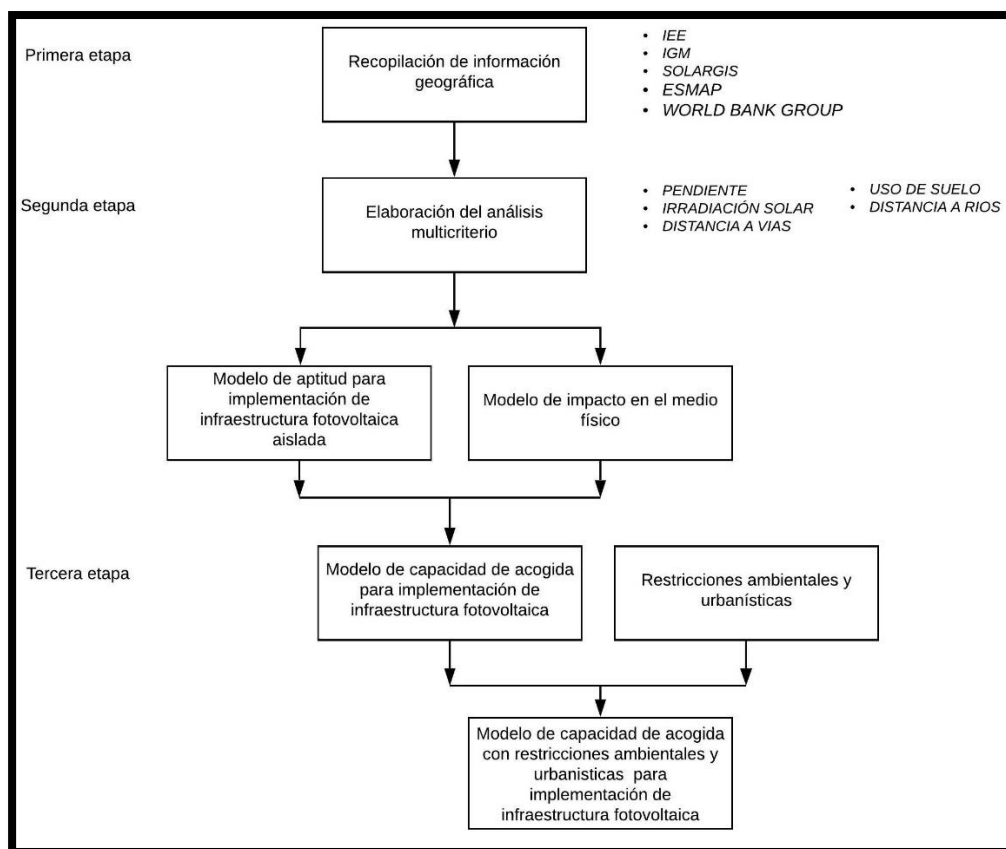
Información recopilada de diferentes fuentes de información

Información recopilada	Escala	Fuente de la información	Año
DEM	1:25000	IEE	2015
Irradiación global horizontal	1:50000	SOLARGIS	2019
Vías	1:50000	IGM	2014
Uso de suelo	1:25000	MAAE	2016
Ríos	1:50000	IGM	2014
Comunidades, poblaciones rurales	1:50000	IEE	2015
Área erosionada	1:50000	MAGAP	2014
Áreas de concesión eléctrica	1:50000	CONELEC	2012
Centrales eléctricas	1:50000	CONELEC	2012
Líneas de transmisión eléctrica	1:50000	CONELEC	2012
Líneas de subtransmisión eléctrica	1:50000	CONELEC	2012
Proyectos de generación eléctrica	1:50000	CONELEC	2012

Nota: La tabla muestra la información recopilada.

Elaboración de análisis multicriterio

La metodología utilizada para la elaboración del análisis multicriterio, principalmente se dividió en 3 etapas como se muestra en la figura 9.

Figura 9*Esquema metodológico del análisis multicriterio*

Nota: La figura muestra la metodología para el análisis multicriterio.

La investigación tiene por objeto seleccionar la ubicación óptima de instalaciones de energía solar fotovoltaica aislada mediante técnicas de evaluación multicriterio, aplicándolo de manera concreta para su implementación en las provincias de Pichincha e Imbabura. Para ello, se trabajó con un modelo basado en el análisis y comparación de una serie de variables significativas, que en una primera fase se convirtieron en criterios de aptitud para su integración en el modelo de aptitud mediante la asignación de pesos. En una segunda fase, se seleccionaron las variables de impacto que limitaban zonas en la localización de instalaciones solares fotovoltaicas, que una vez transformadas en

critérios y tras la asignación de sus correspondientes pesos previamente establecidos permitirían obtener el modelo de impacto. Estos modelos de aptitud e impacto se integraron en una tercera fase, lo que estableció el modelo de capacidad de acogida. (J. Gutiérrez, 2018).

Cálculo de los pesos o prioridades para los criterios de aptitud para implementación fotovoltaica aislada, impacto en el medio físico y capacidad de acogida

Para determinar los pesos o prioridades de los distintos criterios para implementación fotovoltaica en tierras afectadas por la erosión, se utilizó el método analítico jerárquico (AHP) y un método Ad-hoc, se pidió la opinión a un experto, magister en energías alternativas, que trabaja en proyectos relacionados con implementación de infraestructura fotovoltaica en el país, que considerando los criterios de aptitud e impacto y tomando como base guías metodológicas de implementación fotovoltaica, determinó la escala de comparación para cada uno de los criterio respecto al otro. No hay un acuerdo unánime para la determinación del número de expertos necesarios. La selección del número de expertos depende de aspectos como la facilidad para acceder a ellos o la posibilidad de conocer expertos suficientes sobre la temática objeto de la investigación (Robles & Rojas, 2015). Se trabajó con 6 criterios, 3 de aptitud para implementación de infraestructura fotovoltaica aislada y 3 criterios de impacto en el medio físico como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8*Criterios de aptitud e impacto para implementación fotovoltaica*

Aptitud para implementación fotovoltaica aislada	Impacto en el medio físico
Grado de insolación	Zonas erosionadas
Pendientes	Uso del suelo
Accesibilidad	Hidrología

Nota: La tabla muestra los distintos criterios para la implementación fotovoltaica.

Se determinó el valor de las escalas de comparación para cada uno de los criterios de aptitud y de impacto con la tabla de comparación de Saaty (R. W. Saaty, 1987), a través de la matriz pareada de comparaciones.

Tabla 9*Matriz de comparaciones para los criterios de aptitud*

	Grado de insolación	Pendientes	Accesibilidad
Grado de insolación	1,00	3,00	4,00
Pendientes	0,33	1,00	2,00
Accesibilidad	0,25	0,50	1,00

Nota: La tabla muestra la matriz de comparación de los criterios de aptitud.

Tabla 10*Matriz de comparaciones para los criterios de impacto*

	Uso de suelo	Hidrología	Zonas afectadas por la erosión
Uso de suelo	1,00	2,00	0,50
Hidrología	0,50	1,00	0,33
Zonas afectadas por la erosión	2,00	3,00	1,00

Nota: La tabla muestra la matriz de comparación de los criterios de impacto.

Se calcularon las prioridades o pesos, elevando a potencias la matriz pareada, para luego determinar las prioridades con la matriz normalizada realizando el cálculo hasta que la matriz de prioridades no cambie de valor al segundo decimal (Osorio Gómez & Orejuela Cabrera, 2008).

Tabla 11*Prioridades de aptitud*

	1,00	3,00	4,00	
A1	0,33	1,00	2,00	
	0,25	0,50	1,00	Prioridad
Matriz normalizada	0,631578947	0,666667	0,571429	0,62
de a1	0,210526316	0,222222	0,285714	0,24
	0,157894737	0,111111	0,142857	0,14

Nota: La tabla muestra las prioridades o pesos del modelo de aptitud.

Tabla 12*Prioridades de impacto*

	1,00	2,00	0,50	
A2	0,50	1,00	0,33	
	2,00	3,00	1,00	Prioridad
Matriz normalizada	0,285714286	0,3333333	0,272727	0,30
de a2	0,142857143	0,166667	0,181818	0,16
	0,571428571	0,5	0,545455	0,54

Nota: La tabla muestra las prioridades o pesos del modelo de impacto.

Para validar el cálculo de las prioridades se determinó la relación de consistencia (T. L. Saaty & Shang, 2011). Con el cálculo del índice de consistencia (IC):

Se determinan primero las matrices B y los valores de (γ) como se muestra en las tablas 13 y 14 respectivamente.

Tabla 13*Matriz B para el modelo de aptitud*

B1=(A1*Prioridad)
1,890838207
0,721804511
0,41283765

Nota: La tabla muestra la matriz B para el modelo de aptitud.

(γ_1) es la suma del vector B1.

$$(\gamma_1) = 3,02$$

Tabla 14

Matriz B para el modelo de impacto

B2=(A2*Prioridad)
0,894300144
0,492063492
1,624819625

Nota: La tabla muestra la matriz B para el modelo de impacto.

(γ_1) es la suma del vector B2.

$$(\gamma_2) = 3,01$$

Por último, se utilizaron las fórmulas del índice y razón de consistencia y el valor del índice aleatorio.

Cálculo de la razón de consistencia de la matriz de aptitud para la implementación de infraestructura fotovoltaica aislada:

$$IC1 = \frac{(3,02)-n}{n-1} = 0,01$$

$$\text{Razón de concistencia (RC1)} = \frac{IC1}{IA1} = \frac{0,01}{0,52} = 0,018$$

Cálculo de la razón de consistencia de la matriz de impacto en el medio físico:

$$IC2 = \frac{(3,01)-n}{n-1} = 0,0046$$

$$\text{Razón de concistencia (RC2)} = \frac{IC2}{IA2} = \frac{0,0046}{0,52} = 0,009$$

La relación de consistencia máxima para un análisis con 3 criterios es del 5% de lo contrario se tendrá que repetir el proceso (T. L. Saaty & Shih, 2009).

Resultado de la razón de consistencia de la matriz de aptitud para la implementación de infraestructura fotovoltaica aislada:

$$1,83\% < 5\%$$

Resultado de la razón de consistencia de la matriz de impacto en el medio físico:

$$0,92\% < 5\%$$

Una vez validadas las prioridades o pesos con la razón de consistencia se asigna a cada uno de los criterios su respectivo peso para determinar el modelo de aptitud (J. Gutiérrez, 2018).

$$\text{Aptitud} = [(\text{Insolación} \cdot 0,62) + (\text{Pendiente} \cdot 0,24) + (\text{Accesibilidad} \cdot 0,14)]$$

$$\text{Impacto} = [(\text{Erosión} \cdot 0,54) + (\text{Uso de suelo} \cdot 0,30) + (\text{Hidrología} \cdot 0,16)]$$

La última fase de la evaluación multicriterio consistió en integrar las matrices de aptitud e impacto para obtener el modelo de capacidad de acogida, que facilitará la selección de localizaciones óptimas para la implantación de infraestructura fotovoltaica. Estas localizaciones óptimas se corresponden con aquellas en las que la aptitud sea la máxima posible al tiempo que los valores de impacto se minimicen.

Mediante la asignación de unos pesos relativos a los modelos de aptitud y de impacto se podrá calcular la capacidad de acogida mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de acogida} = [\alpha * \text{aptitud}] + [\beta * \text{impacto}]$$

Siendo α el peso que se asignará a la aptitud y β el peso que se asignará al impacto para obtener la capacidad de acogida. Para completar el análisis multicriterio y evitar que los resultados finales del estudio se vean afectados por la subjetividad, con la ayuda de un experto se propuso efectuar el análisis de la capacidad de acogida contemplando el siguiente escenario propuesto por (J. Gutiérrez, 2018).

Otorgando igual peso al modelo de aptitud frente al de impacto, aplicando un peso de 0.50 al modelo de aptitud y 0.50 al de impacto:

$$\text{Capacidad de acogida} = [0,50 * \text{aptitud}] + [0,50 * \text{impacto}]$$

Con el modelo de capacidad de acogida, se implementó las siguientes restricciones ambientales:

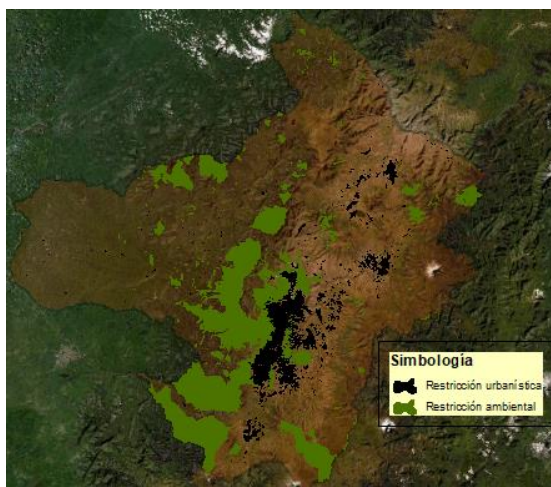
- Sistema nacional de áreas protegidas (SNAP).
- Zonas del plan socio bosque (individual y comunitario).
- Bosques protectores.

También se implementó las siguientes restricciones urbanísticas:

- Zona urbana.
- Infraestructura.

Figura 10

Restricciones ambientales y urbanísticas



Nota: La figura muestra las restricciones ambientales y urbanísticas en la zona de estudio.





Fuente: (MAAE,2016).

A las zonas con restricciones se les asignó el rango de implementación “inaceptable” con el uso de la herramienta para el mapa de capacidad de acogida con restricciones ambientales y urbanísticas, como se muestra en la metodología para la localización óptima de instalaciones de energía solar fotovoltaica en la isla Tenerife, España (J. Gutiérrez, 2018).

Estandarización de los criterios

Para estandarizar los criterios se tomó una escala del 1 al 4 en donde los criterios asignado con el valor 1, caracterizarán las zonas óptimas y los criterios asignado con la variable 4 serán inaceptables como se observa en la tabla 15.

Tabla 15*Estandarización de los criterios de aptitud e impacto*

Valor	Categoría	Simbología
1	Óptimo	
2	Moderado	
3	Reducido	
4	Inaceptable	

Nota: La tabla muestra la estandarización para todos los criterios.

Criterios de aptitud para implementación de infraestructura fotovoltaica aislada

Se determinaron los criterios que permitan seleccionar la mejor alternativa posible, es decir, la máxima aptitud para la localización óptima de infraestructura solar fotovoltaica aislada.

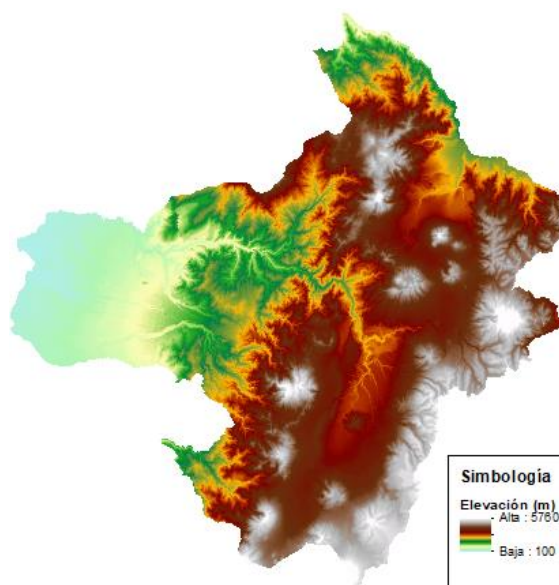
Pendiente

Los mínimos valores de pendiente implican niveles máximos de aptitud, puesto que se pueden relacionar los valores de menor pendiente con menor necesidad de efectuar movimientos de tierra para la adecuación del terreno, y por tanto menor coste para la ejecución de la instalación o para mejorar su accesibilidad.

Tabla 16*Índice de la variable pendiente*

Pendiente	Índice
Plana 0-2%	1
Muy suave 2 a 5%	
Suave 5-12%	2
Media 12-25%	
Media a fuerte 25-40%	3
Fuerte 40-70%	
Muy fuerte 70-100%	4
Escarpada 100-150%	
Muy escarpadas 150-200%	4
Abruptas >200%	
No aplicable	NA

Nota: La tabla muestra la estandarización para la variable pendiente.

Figura 11*Modelo digital de elevación de Pichincha e Imbabura*

Nota: La figura muestra el modelo digital de elevación de Pichincha e Imbabura.

Grado de insolación

Criterio de aptitud ligado a la intensidad y al número de horas de exposición a la Radiación solar, de manera que los niveles máximos de la variable de Irradiación Global Horizontal (IGH), proporcionan niveles máximos de aptitud respecto a este criterio de grado de insolación dados en $\frac{KW*h}{m^2}$ promedio anual en el Ecuador continental, se dividió en 4 intervalos iguales para estandarizar la variable.

Tabla 17

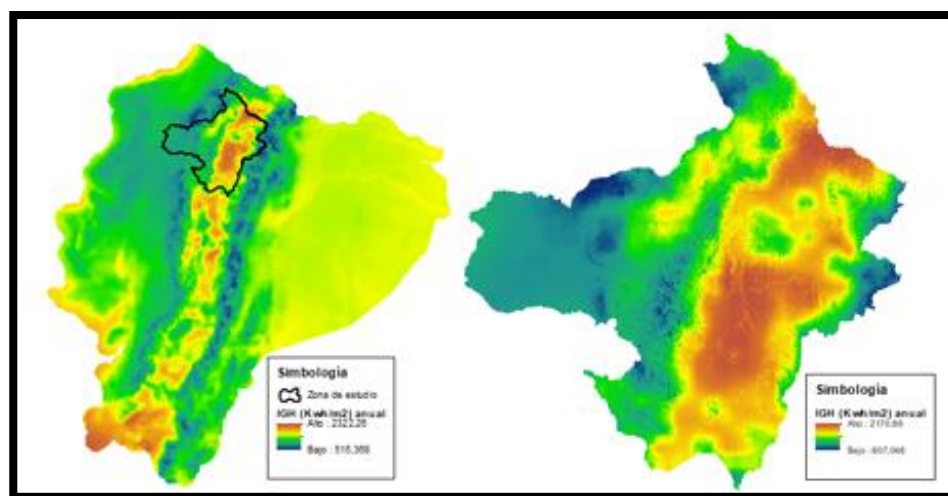
Índice de la variable grado de insolación

Etiqueta ($\frac{KW*h}{m^2}$)	Índice
Óptimo (2322.2 - 1870.5)	1
Moderado (1870.5 - 1418.8)	2
Reducido (1418.8 – 967.09)	3
Inaceptable (967.09 – 515.36)	4

Nota: La tabla muestra la estandarización para la variable grado de insolación.

Figura 12

Grado de Insolación



Nota: La figura muestra el grado de insolación del Ecuador continental y de Pichincha e Imbabura.

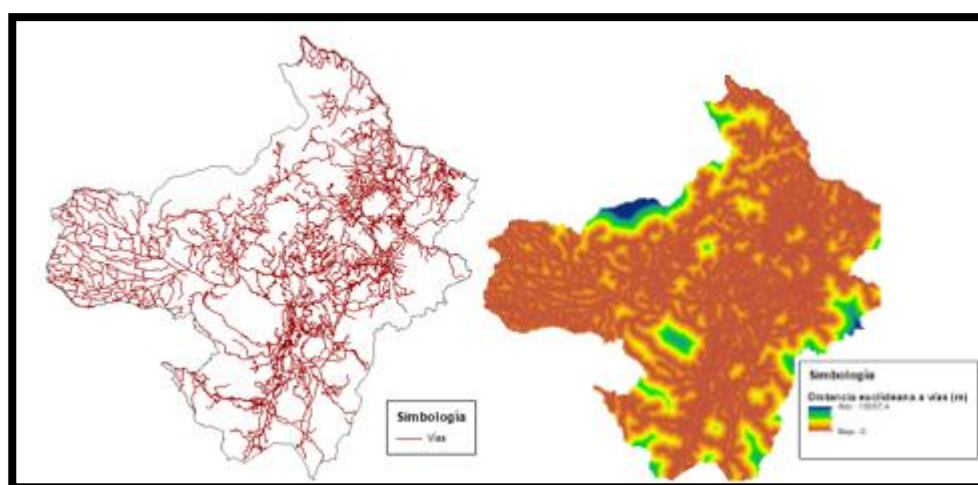
Accesibilidad

Una mayor accesibilidad implica mayor aptitud. Por ello este criterio de accesibilidad se define de manera que los valores mínimos de distancia a la red viaria constituirán niveles máximos de aptitud para la instalación de una planta de energía solar fotovoltaica basándose en términos del ahorro de tiempo y dinero. Se lograrán mayores beneficios con accesos adecuados o si la inversión que se tenga que realizar sea la menor posible (J. Gutiérrez, 2018).

Tabla 18*Índice para la accesibilidad*

Etiqueta (m)	Índice
Óptimo (0 - 250)	1
Moderado (250 - 500)	2
Reducido (500 – 1000)	3
Inaceptable (1000 – >1000)	4

Nota: La tabla muestra la distancia a las vías.

Figura 13*Distancia euclidiana a vías*

Nota: La figura muestra la distancia a las vías en Pichincha e Imbabura.

Criterios de impacto en el medio físico

Se determinaron los criterios relativos al medio físico que resultan determinantes para valorar el impacto causado por la implantación de instalaciones de energía solar en la zona de estudio.

Uso de suelo

Se establece que el impacto alcanzará valores máximos cuanto mejor conservados y menos transformados se encuentren los terrenos por lo que se asignará un índice de 4 a dichas áreas. En el caso de fincas agrícolas se entenderán como terrenos transformados incluso cuando se trate de cultivos abandonados, asignándose valores de impacto estandarizados según el tipo de cultivo existente.

Tabla 19

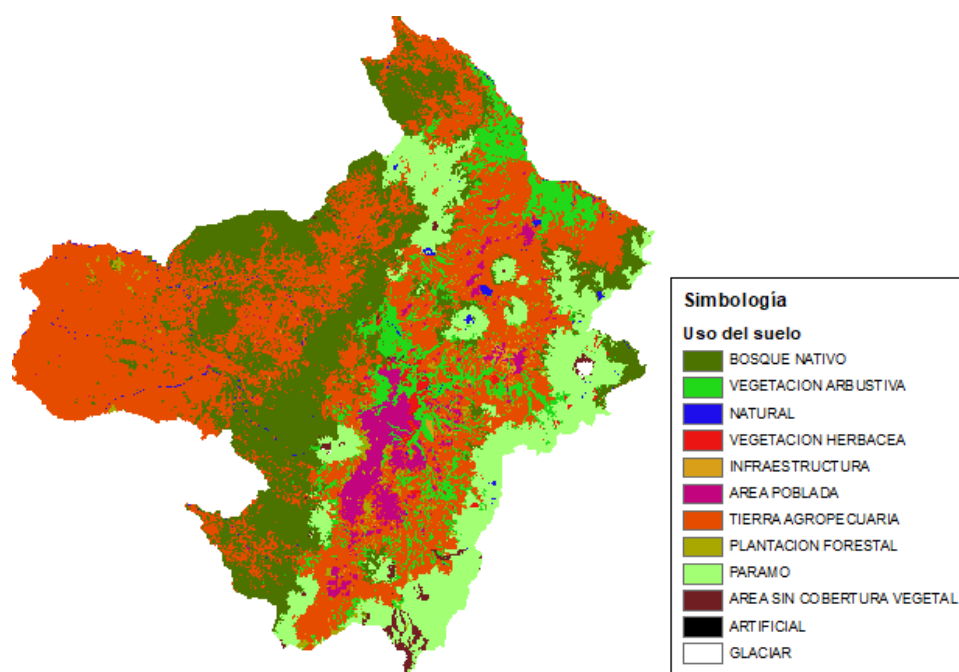
Índice para el uso del suelo

Uso y cobertura del suelo	Índice
Área sin cobertura vegetal	
Área poblada	1
Infraestructura	
Tierra agropecuaria	2
Plantación forestal	
Vegetación herbácea	3
Vegetación arbustiva	
Bosque nativo	
Páramo	4
Cuerpos de agua	
Glaciar	

Nota: La tabla muestra las diferentes coberturas de uso de suelo.

Figura 14

Coberturas de uso de suelo



Nota: La figura muestra las diferentes coberturas de uso de suelo en Pichincha e Imbabura.

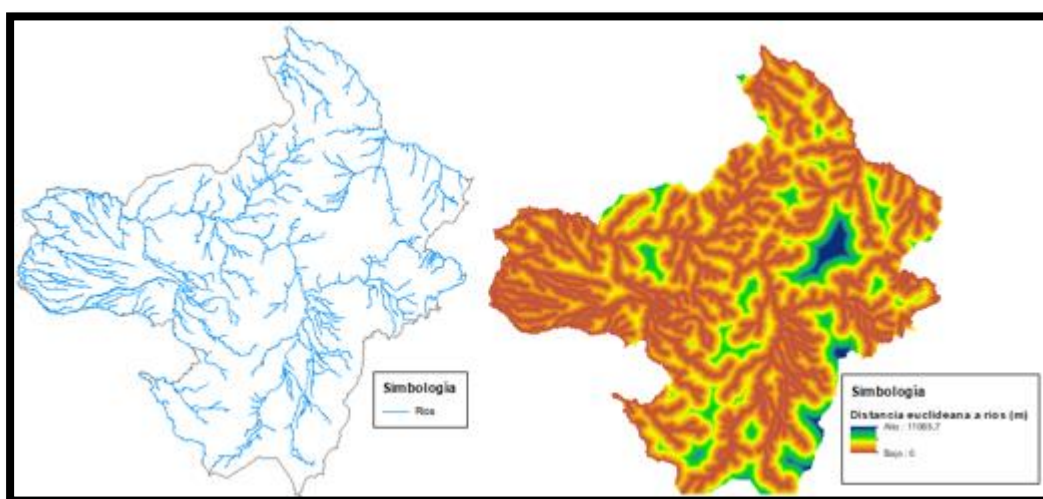
Hidrología

La variable analizada fue la distancia a los ríos desde cualquier punto de la zona de estudio, y se define el criterio de impacto máximo respecto a esta variable coincidiendo con los valores mínimos de distancia a los cauces, está prohibido construir a menos de 30 metros de ríos, quebradas o sitios de riesgo (MAAE, 2015).

Tabla 20*Índice para la variable hidrología*

Etiqueta (m)	Índice
Óptimo (250 - >250)	1
Moderado (100 – 250)	2
Reducido (30 – 100)	3
Inaceptable (0 – 30)	4

Nota: La tabla muestra las distancias a ríos.

Figura 15*Distancia euclidiana a ríos*

Nota: La figura muestra las distancias a los ríos.

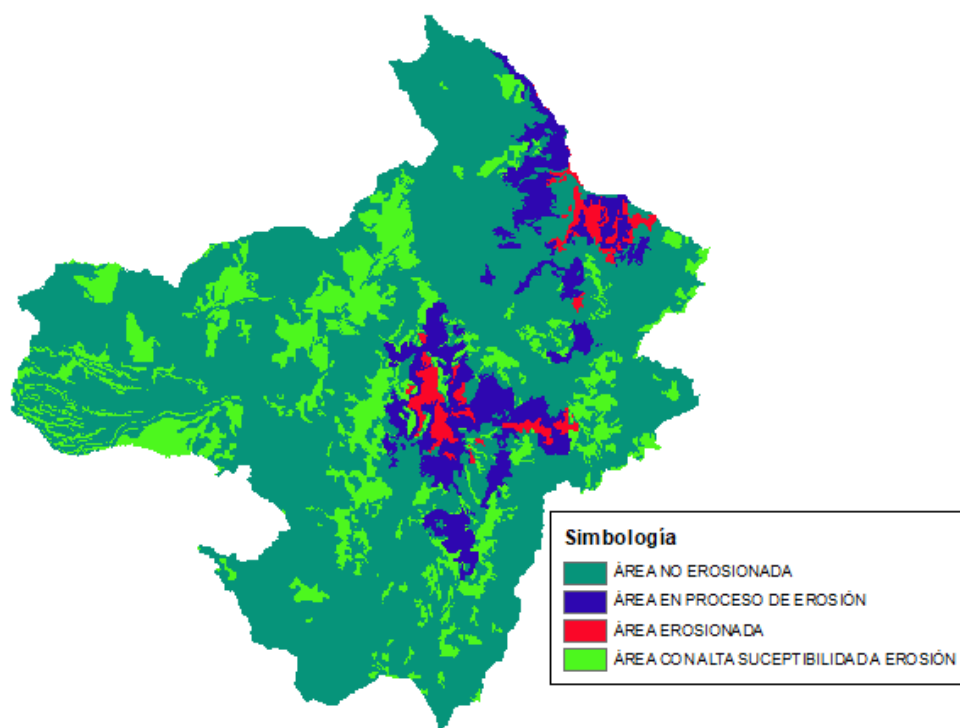
Zonas afectadas por la erosión

Se establece que el impacto en el medio físico será mínimo con el aprovechamiento de las áreas improductivas a causa de la erosión por lo que se asignará un índice de 1 a dichas áreas.

Tabla 21*Índice de las zonas afectadas por la erosión*

Etiqueta	Índice
Área erosionada	1
Área en proceso de erosión	2
Área susceptible a erosión	3
Área no erosionada	4

Nota: La tabla muestra las áreas erosionadas y su índice.

Figura 16*Zonas afectadas por la erosión*

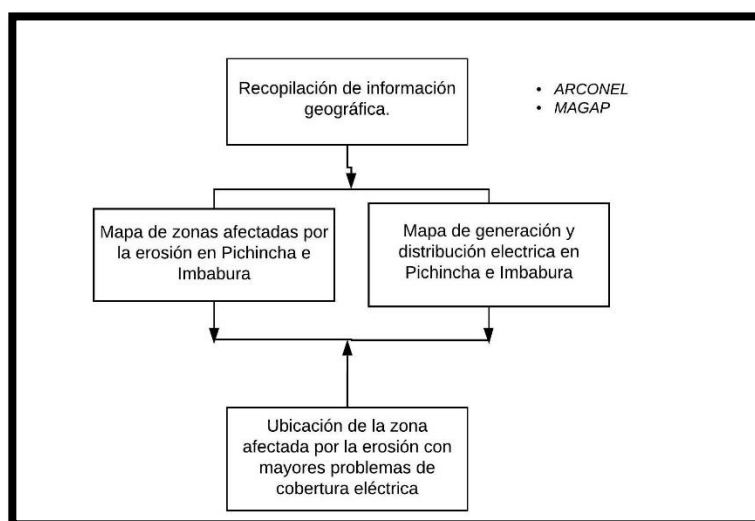
Nota: La figura muestra las zonas afectadas por la erosión en Pichincha e Imbabura.

Zonas afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica en Pichincha e Imbabura

La metodología utilizada para la elaboración del mapa de ubicación de la zona afectada por erosión que tenga mayor problemática de cobertura energética, principalmente se dividió en 2 etapas como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Metodología erosión y problemas de cobertura eléctrica



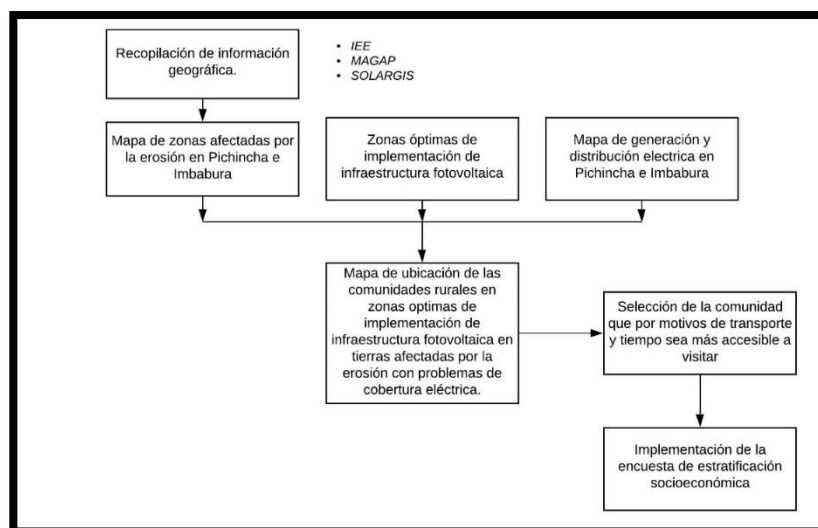
Nota: La figura muestra la metodología para encontrar la ubicación de la zona afectada por la erosión con mayor problemática de cobertura energética.

La región sierra es en donde la presión del hombre sobre la tierra es más fuerte. La actividad agrícola es eminentemente caracterizada por prácticas agrícolas habitualmente inadecuadas y cultivos que cubren mal el suelo y favorecen la pérdida de tierra. La degradación del suelo se realiza en cantones como Ibarra, Pimampiro, Quito, Pedro Moncayo y Cayambe.

De los cantones con tierras afectadas por la erosión, la empresa eléctrica quito (EEQ) provee el servicio público de generación, subtransmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica al cantón Quito, mientras que la empresa eléctrica regional norte (EMELNORTE) provee el servicio público de generación, subtransmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica a los cantones Ibarra, Pimampiro, Pedro Moncayo y Cayambe.

Comunidades rurales socioeconómicamente vulnerables en zonas óptimas de implementación fotovoltaica afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica

La metodología utilizada para la elaboración del mapa de ubicación de las comunidades rurales socioeconómicamente vulnerables en zonas óptimas de implementación fotovoltaica y afectadas por la erosión, se muestra en la figura 21.

Figura 18*Metodología de la ubicación de las comunidades rurales óptimas*

Nota: La figura muestra la metodología para encontrar la ubicación de las comunidades rurales en zonas afectadas por la erosión con mayor problemática de cobertura energética.

Diseño de la encuesta

Se tomó como base la encuesta de estratificación de nivel socioeconómico elaborada por el INEC en el año 2011, la encuesta se la presenta en anexos.

La encuesta contiene siete secciones: en la primera sección se pregunta acerca de los rasgos de la vivienda, la segunda sección consistió en preguntas sobre acceso a la tecnología, en la tercera sección se hizo preguntas sobre la posesión de bienes, la cuarta sección consistió acerca de los hábitos de consumo, la quinta sección consistió en preguntas sobre el nivel de educación y por último la sección de actividad económica del hogar. La última sección consistió en una pregunta acerca de la problemática del hogar con la cobertura eléctrica.

Tamaño de muestra

Para definir el número de jefes de familia que iban a ser encuestados se solicitó información a las autoridades de la comuna de Cangahua para luego emplear la ecuación de poblaciones finitas para determinar la muestra.

$$n = \frac{N * Z^2 * p * q}{d^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

En donde:

N = tamaño de la población, jefes de hogar

Z = nivel de confianza

p = probabilidad de éxito

q = probabilidad de fracaso

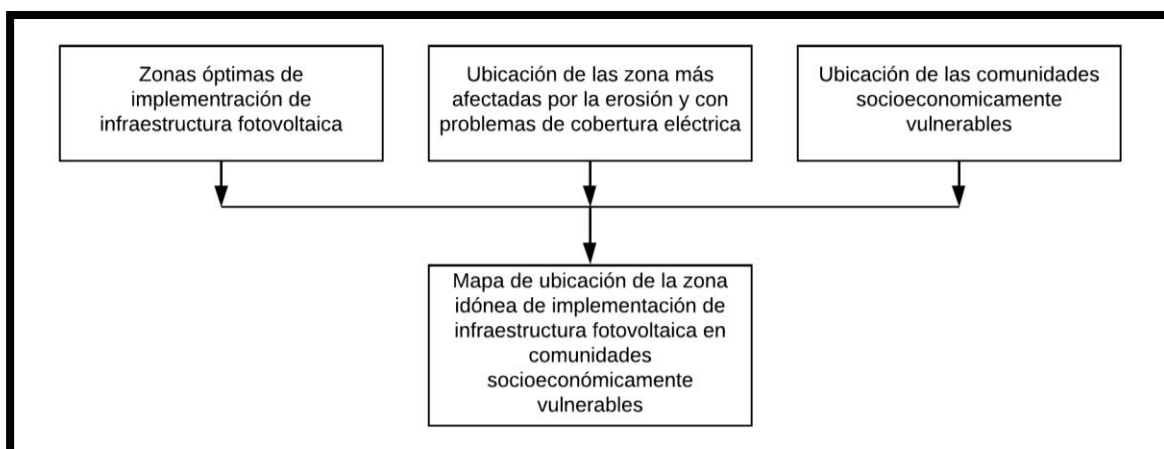
d = error

Identificación de la zona idónea para la implementación fotovoltaica en comunidades socioeconómicamente vulnerables afectadas por tierras erosionadas y con problemas de cobertura energética

La metodología utilizada para determinar la zonificación para infraestructura fotovoltaica en lugares afectados por tierras erosionadas con problemas de cobertura eléctrica como se muestra a continuación en la figura 19.

Figura 19

Esquema metodológico de la zona de implementación fotovoltaica



Nota: La figura muestra la metodología para encontrar la zona de implementación fotovoltaica.

Ubicación de la zona idónea de implementación fotovoltaica en comunidades socioeconómicamente vulnerables

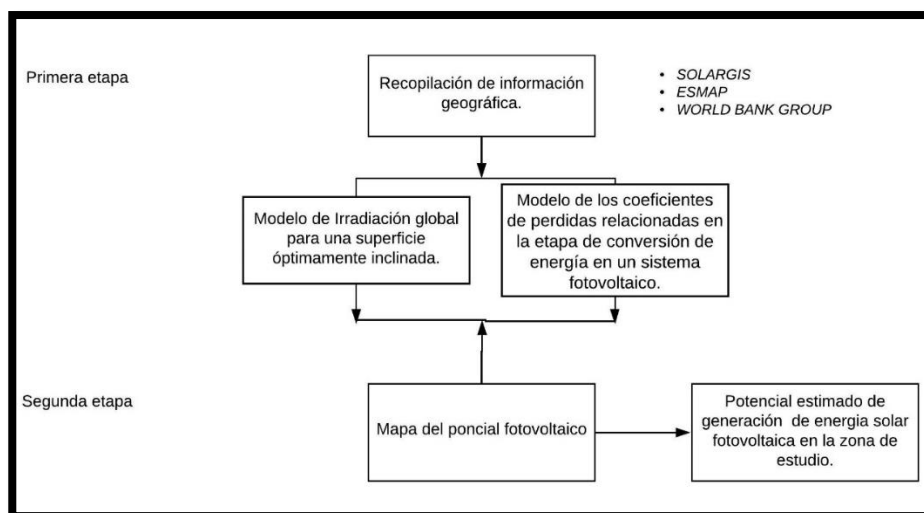
La zonificación se implementó a una distancia menor a los 2 km de la comunidad ya que se debió cumplir también con las distancias de distribución de energía eléctrica óptimas procedentes de paneles fotovoltaicos, las cuales necesitan una red que está formada por las líneas de transmisión eléctrica (normalmente subterráneas o aéreas con cables aislados), con longitudes del orden de 2 kilómetros como máximo para evitar pérdidas de energía significativas (F. Gutiérrez, 2018).

Metodología para encontrar el potencial fotovoltaico en las provincias de Pichincha e Imbabura.

La metodología principalmente se dividió en 2 etapas como se muestra en la figura 20.

Figura 20

Metodología para calcular el potencial fotovoltaico



Nota: La figura muestra la metodología para encontrar el potencial fotovoltaico.

Recopilación de la información geográfica

La información de datos de irradiación solar de las provincias de Pichincha e Imbabura se recopiló en formato digital. La descripción de la información se describe a continuación:

Tabla 22

Recopilación de la información para el potencial fotovoltaico

Información recopilada	Resolución espacial	Fuente de la información
Irradiación global inclinada	250m	SOLARGIS
Coeficientes de pérdidas relacionadas en la etapa de conversión de energía en un sistema fotovoltaico.	250m	SOLARGIS

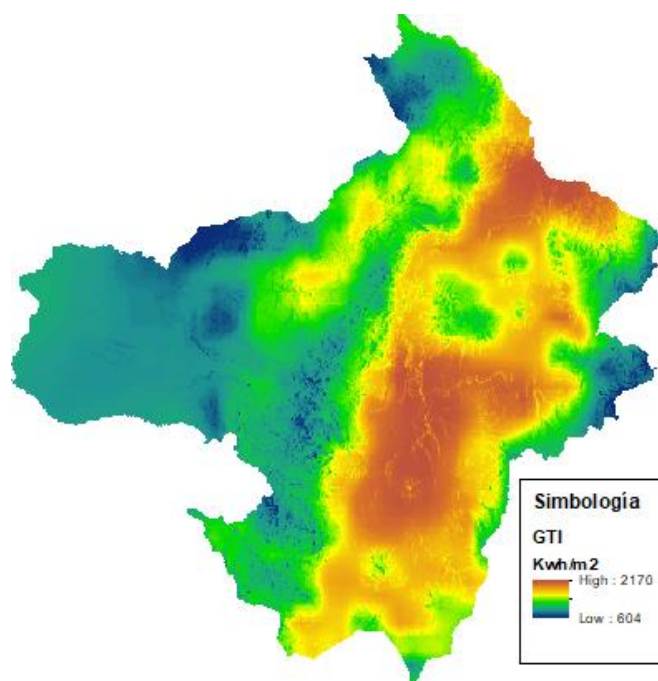
Nota: La tabla muestra la información recopilada para determinar el potencial fotovoltaico.

Etapas de conversión, pérdidas y relación de rendimiento a nivel de sistema fotovoltaico

La irradiación inclinada global (GTI), o radiación total recibida en una superficie con inclinación y acimut definidos, fijos o de seguimiento solar es la suma de la radiación difusa, directa y reflejada. Es una referencia para aplicaciones fotovoltaicas (PV), y en ocasiones puede verse afectado por la sombra.

Figura 21

La irradiación inclinada global



Nota: La figura muestra la irradiación inclinada global en Pichincha e Imbabura.

El potencial fotovoltaico representa el rendimiento total de un sistema fotovoltaico teniendo en cuenta la disponibilidad técnica a través del cálculo de las pérdidas en las etapas de conversión de energía y pérdidas relacionadas a partir de los datos de la irradiación global inclinada (SOLARGIS, 2016). La configuración del sistema fotovoltaico consiste en estructuras autónomas basadas en tierra con módulos fotovoltaicos de silicio cristalino montados en una posición fija, con inclinación óptima para maximizar el rendimiento anual de energía. La inclinación óptima varía de 0 a 10 hacia el Ecuador, se recomienda el uso inversores de alta eficiencia (Pelayo López et al., 2018).

Las pérdidas de energía, a nivel de resumen anual, proporciona una visión del rendimiento de la central eléctrica, sin considerar la degradación de la eficiencia de los

módulos fotovoltaicos. Las pérdidas de radiación solar GTI se expresan en $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$, mientras que el resto son pérdidas eléctricas del sistema expresadas en $\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$.

Tabla 23

Etapas de conversión de energía y pérdidas relacionadas

Etapas de conversión de energía y pérdidas relacionadas	
	Irradiación global - plano inclinado (entrada)
Pérdidas de radiación solar	Sombreado del terreno
	Reflectividad angular
	Nieve
	Suciedad y polvo
	Conversión de irradiación a CC en los módulos.
	Pérdidas eléctricas debido al sombreado entre hileras
Pérdidas eléctricas	Tolerancia de potencia en módulos fotovoltaicos
	Desajuste y cableado en la sección CC
	Inversores (conversión CC / CA)
	Transformador y pérdidas de cableado de CA

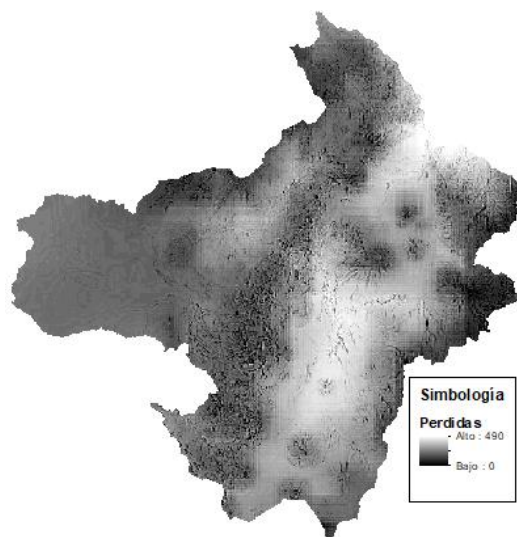
Nota: La tabla muestra las etapas de conversión de energía y pérdidas relacionadas.

El cálculo tiene en cuenta la radiación solar, la temperatura del aire y el terreno, para simular la conversión de energía y las pérdidas en los módulos fotovoltaicos y otros

componentes de una planta fotovoltaica (SOLARGIS, 2016). En la simulación, se supone un efecto acumulativo pérdidas de conversión (sombreado entre hileras, desajustes, inversores, cables, transformadores, etc.).

Figura 22

Modelo de coeficientes de perdidas relacionadas



Nota: La figura muestra el promedio anual de los valores del modelo de coeficientes de perdidas relacionadas en la etapa de conversión de energía en un sistema fotovoltaico en Pichincha e Imbabura.

Capítulo IV

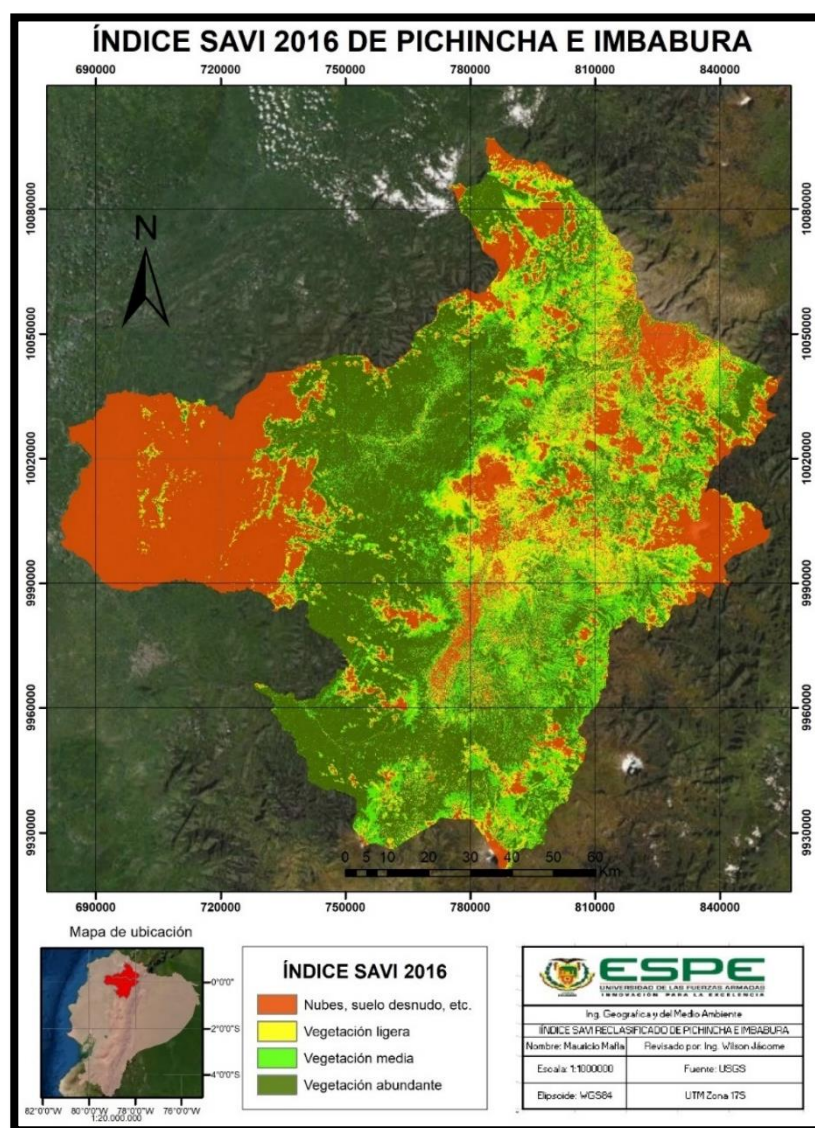
Resultados y Discusión

Resultados

Determinación de zonas con pérdida de vegetación, y sus cambios en los años 2016 y 2018

Figura 23

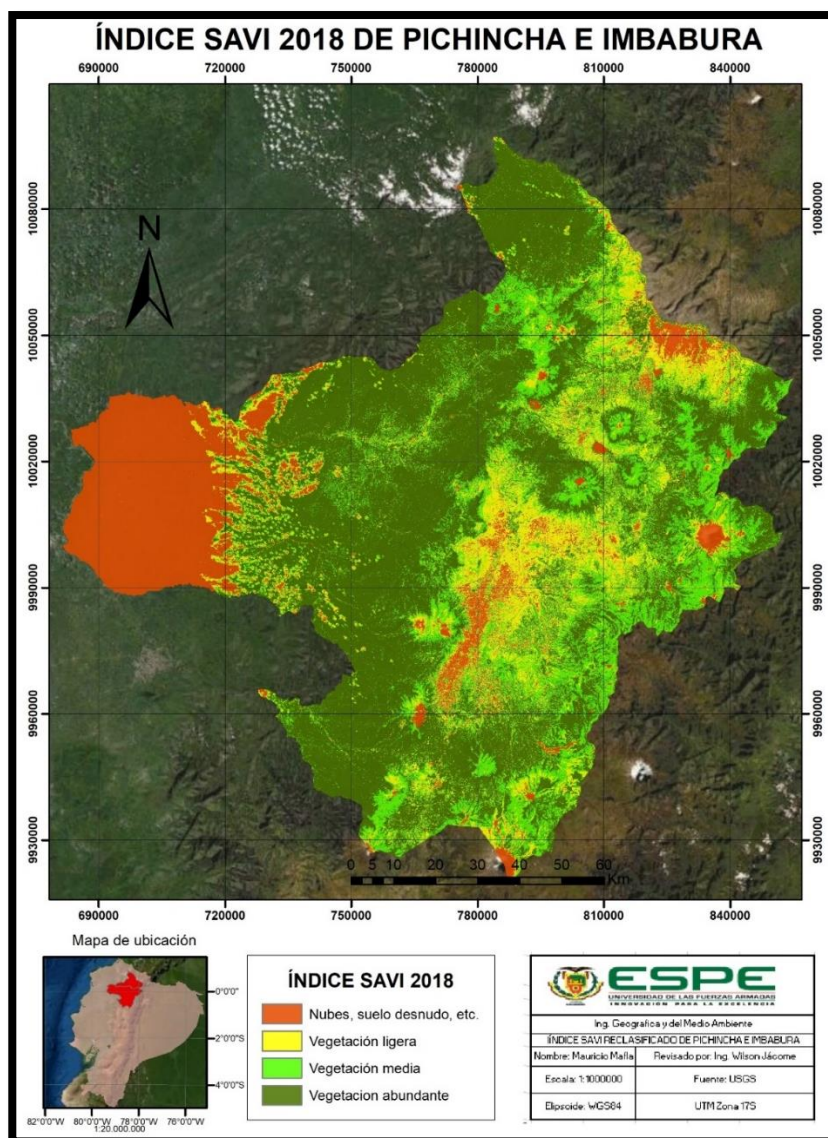
Índice SAVI 2016



Nota: La figura muestra el índice SAVI reclasificado para el año 2016.

Figura 24

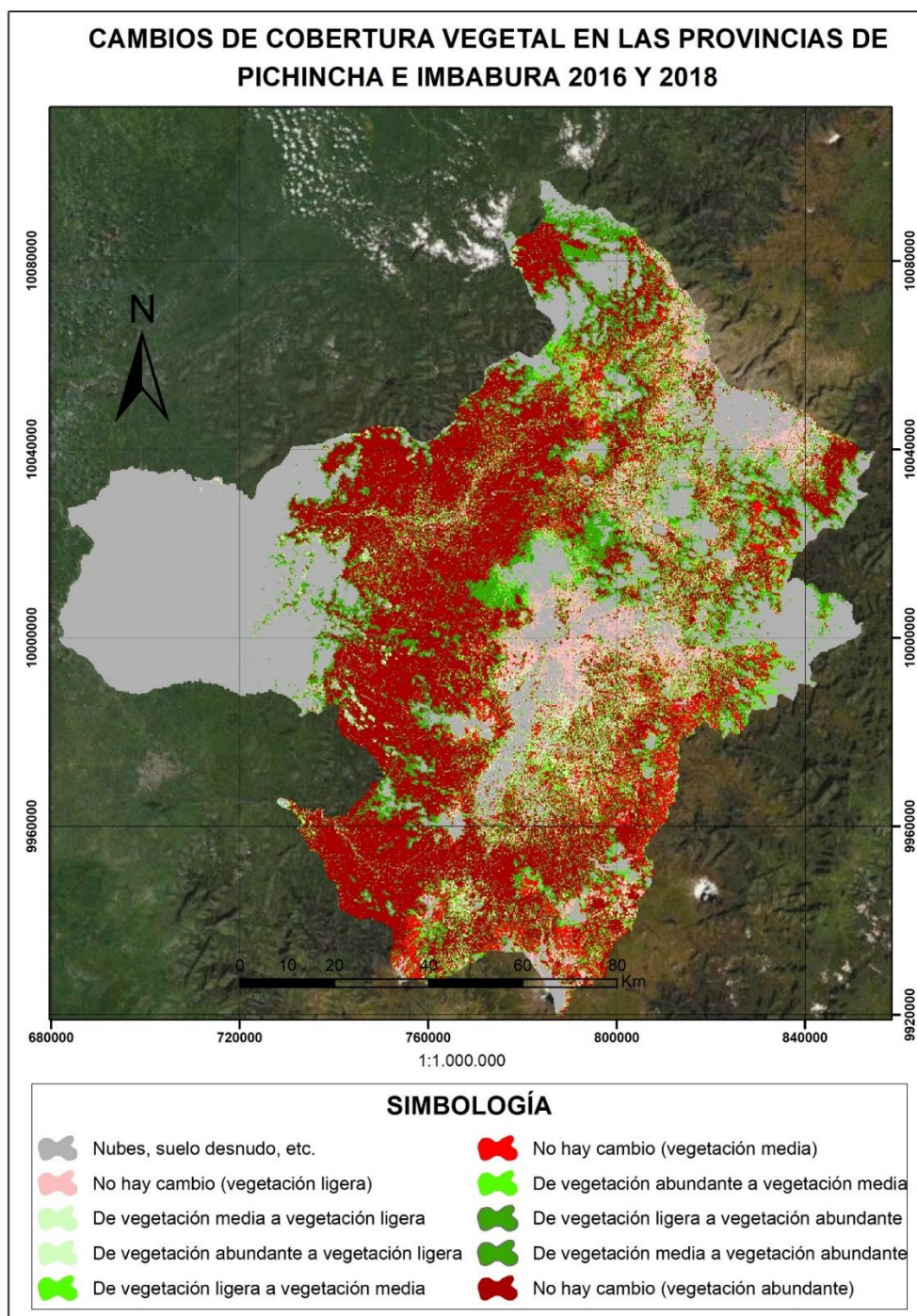
Índice SAVI año 2018



Nota: La figura muestra el índice SAVI reclasificado para el año 2018.

Figura 25

Cambios de cobertura vegetal



Nota: La figura muestra los cambios de cobertura vegetal en los años 2016 y 2018.

En la figura 25 se identifican los cambios para las zonas con vegetación, los cantones en zonas con baja cobertura vegetal se concentran en Ibarra, Pimampiro, Quito, Pedro Moncayo y Cayambe. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de área analizada de las provincias de Pichincha e Imbabura.

Tabla 24

Áreas analizadas

Áreas	Hectáreas	Porcentaje
Área total de la zona de estudio	1444631,21	100,00
Área analizada	976870,68	67,62
Área con cobertura de nubes, suelo desnudo, nieve, cuerpos de agua, etc.	467760,53	32,38

Nota: La tabla muestra las áreas analizadas para determinar los cambios de cobertura vegetal en las Provincias de Pichincha e Imbabura.

En la siguiente tabla se muestra el área para cada uno de los cambios en la cobertura de vegetal:

Tabla 25*Resultado de los cambios de cobertura vegetal*

Cambios	Hectáreas	Porcentaje del área analizada
No hay cambio (vegetación ligera)	83854,36	8,584
De vegetación ligera a vegetación media	66846,09	6,843
De vegetación ligera a vegetación abundante	77383,25	7,922
No hay cambio (vegetación media)	115556,23	11,829
De vegetación media a vegetación ligera	32937,41	3,372
De vegetación media a vegetación abundante	91578,38	9,375
No hay cambio (vegetación abundante)	437490,06	44,785
De vegetación abundante a vegetación ligera	16210,71	1,659
De vegetación abundante a vegetación media	55014,19	5,632

Nota: La tabla muestra los diferentes cambios de cobertura vegetal en las provincias de Pichincha e Imbabura para los años 2016 y 2018.

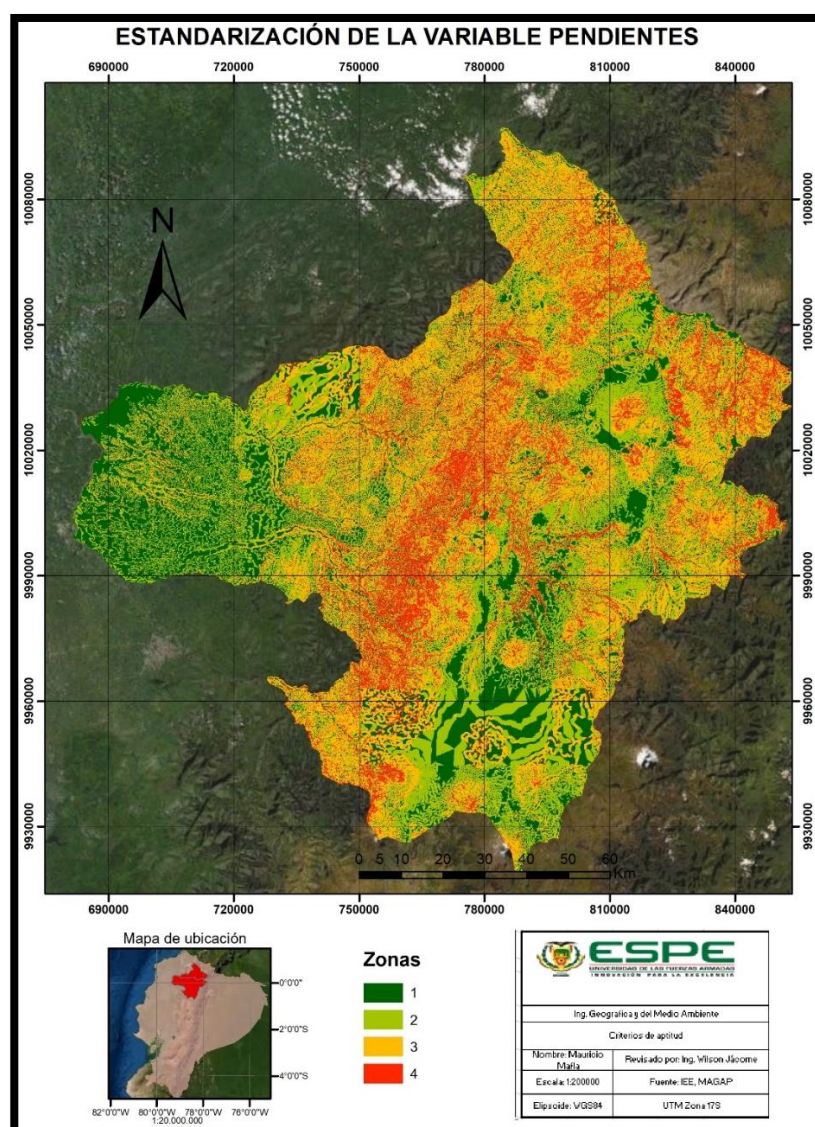
Zonificación de infraestructura fotovoltaica en las provincias de Pichincha e Imbabura.

Estandarización de las variables

Criterios de aptitud para implementación de infraestructura fotovoltaica aislada

Figura 26

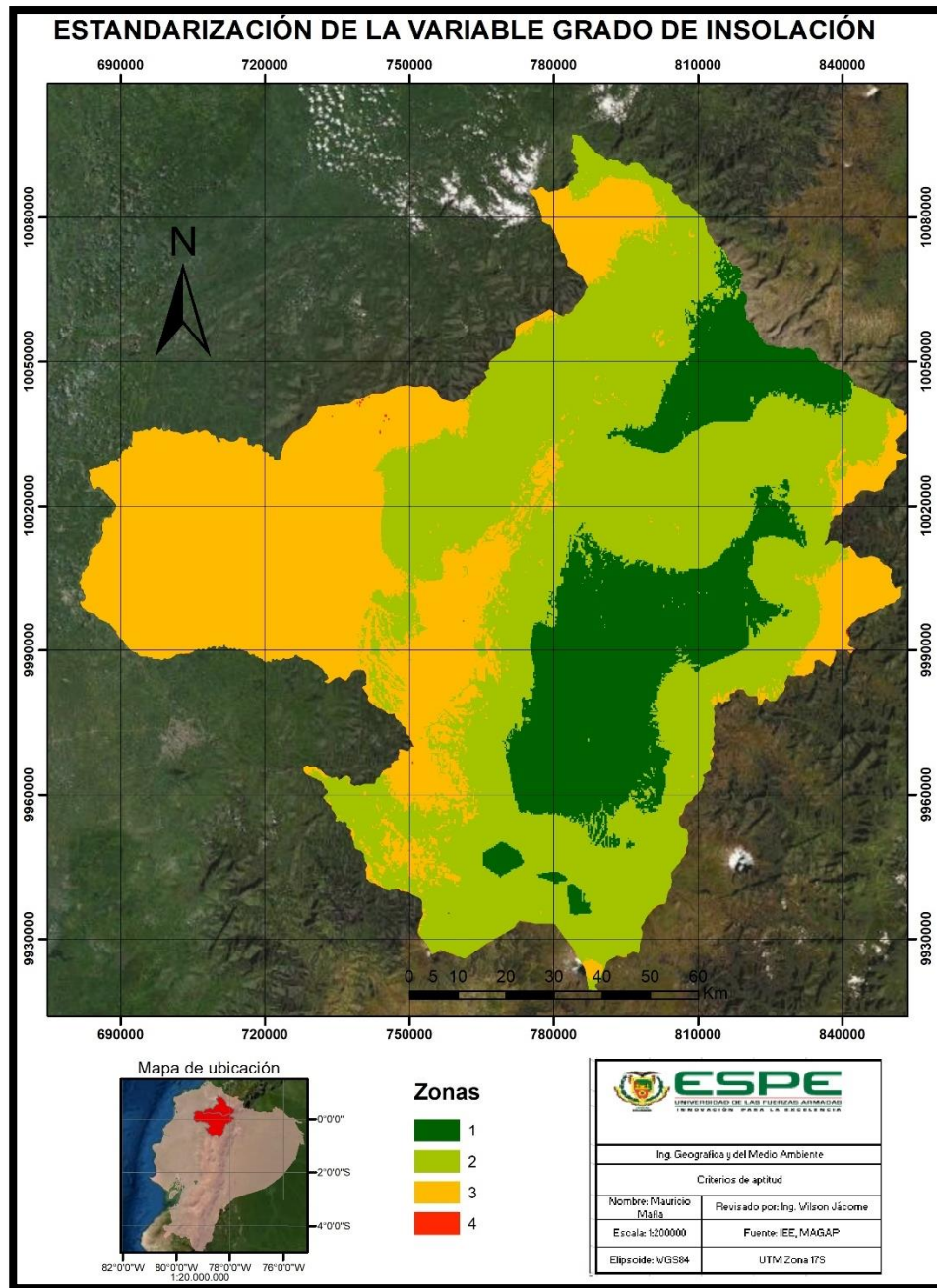
Estandarización de la pendiente



Nota: La figura muestra la variable pendiente estandarizada.

Figura 27

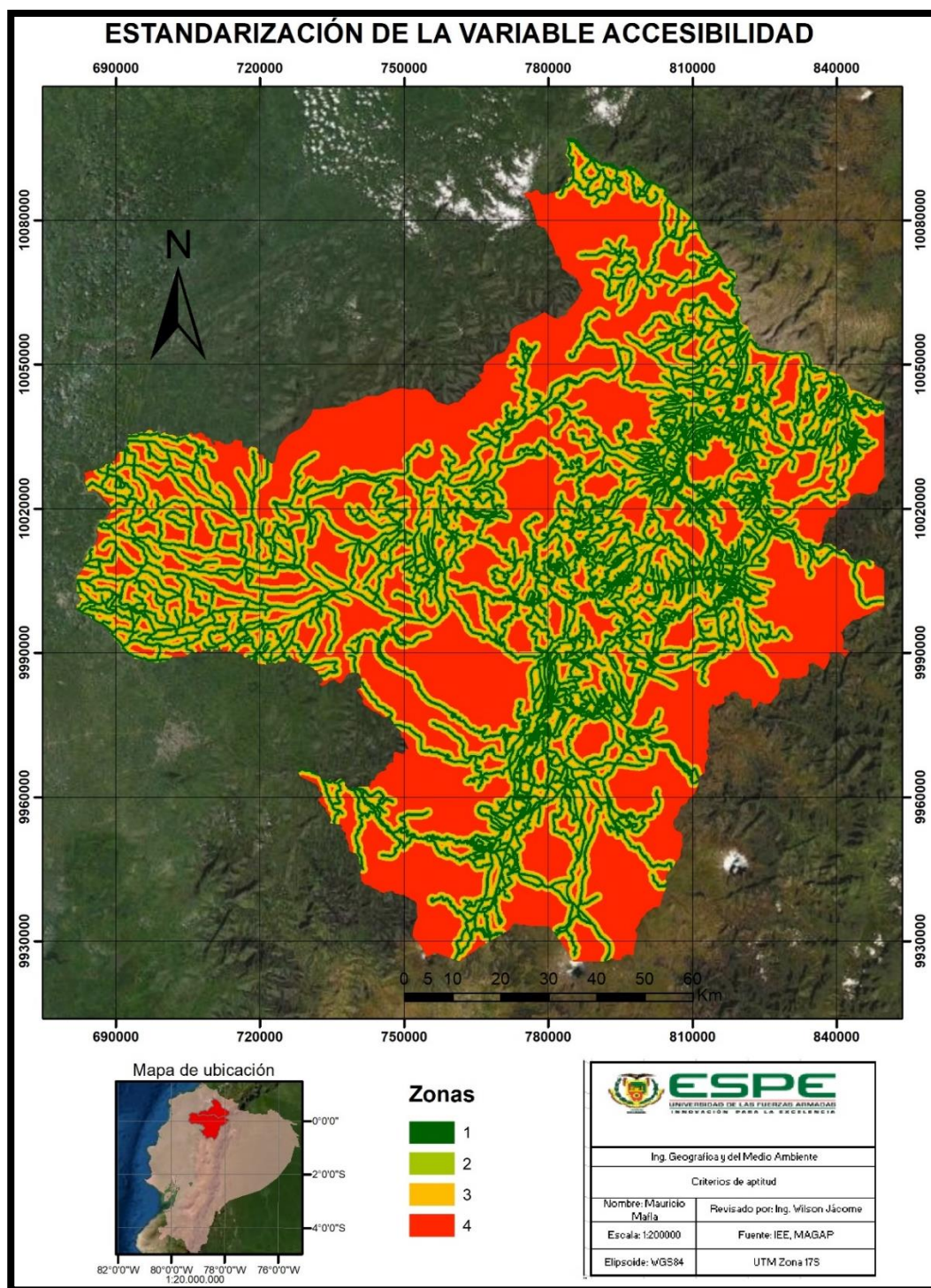
Estandarización del grado de insolación



Nota: La figura muestra la variable grado de insolación estandarizada.

Figura 28

Estandarización de la variable accesibilidad

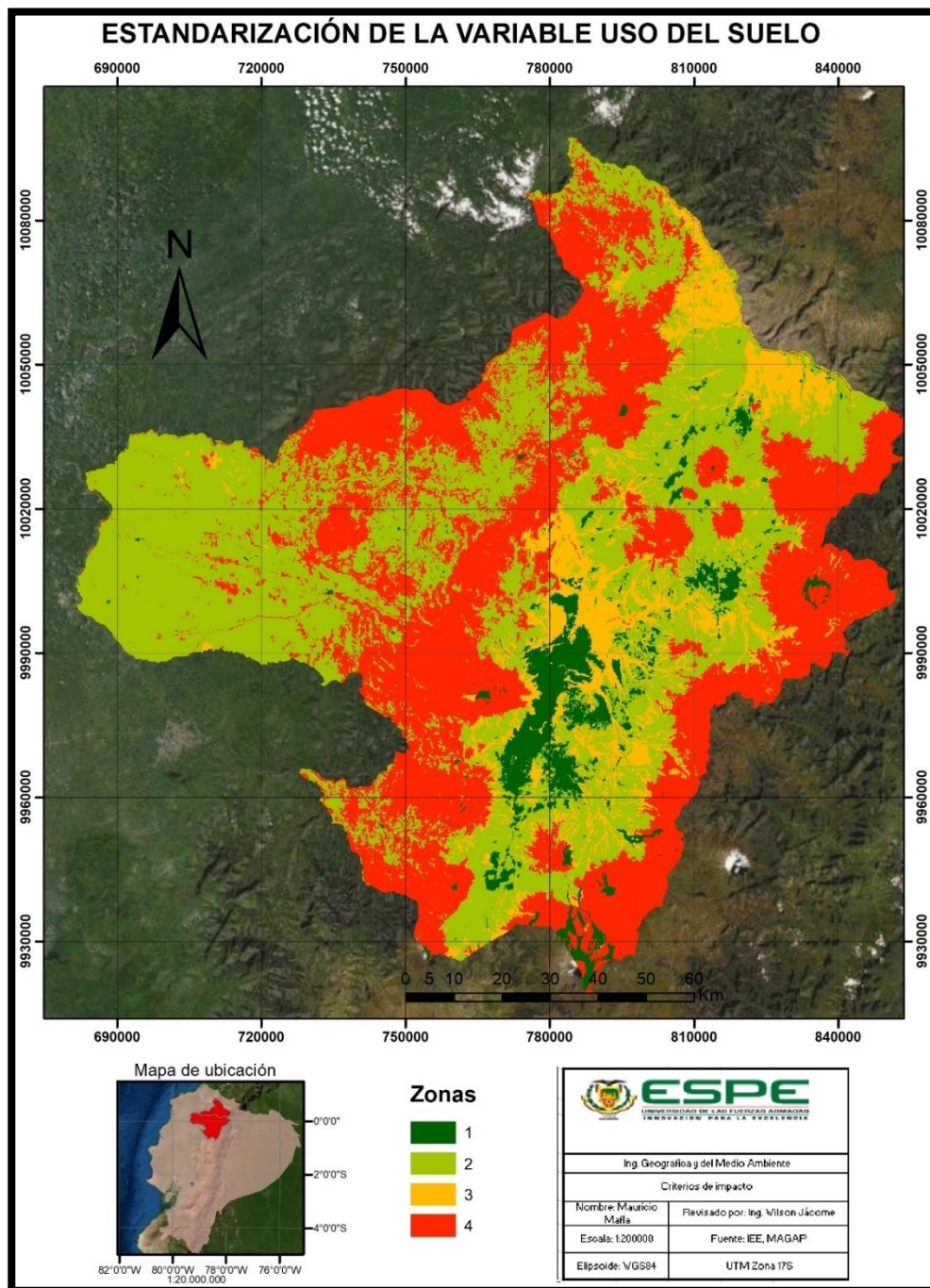


Nota: La figura muestra la variable accesibilidad estandarizada.

Criterios de impacto en el medio físico

Figura 29

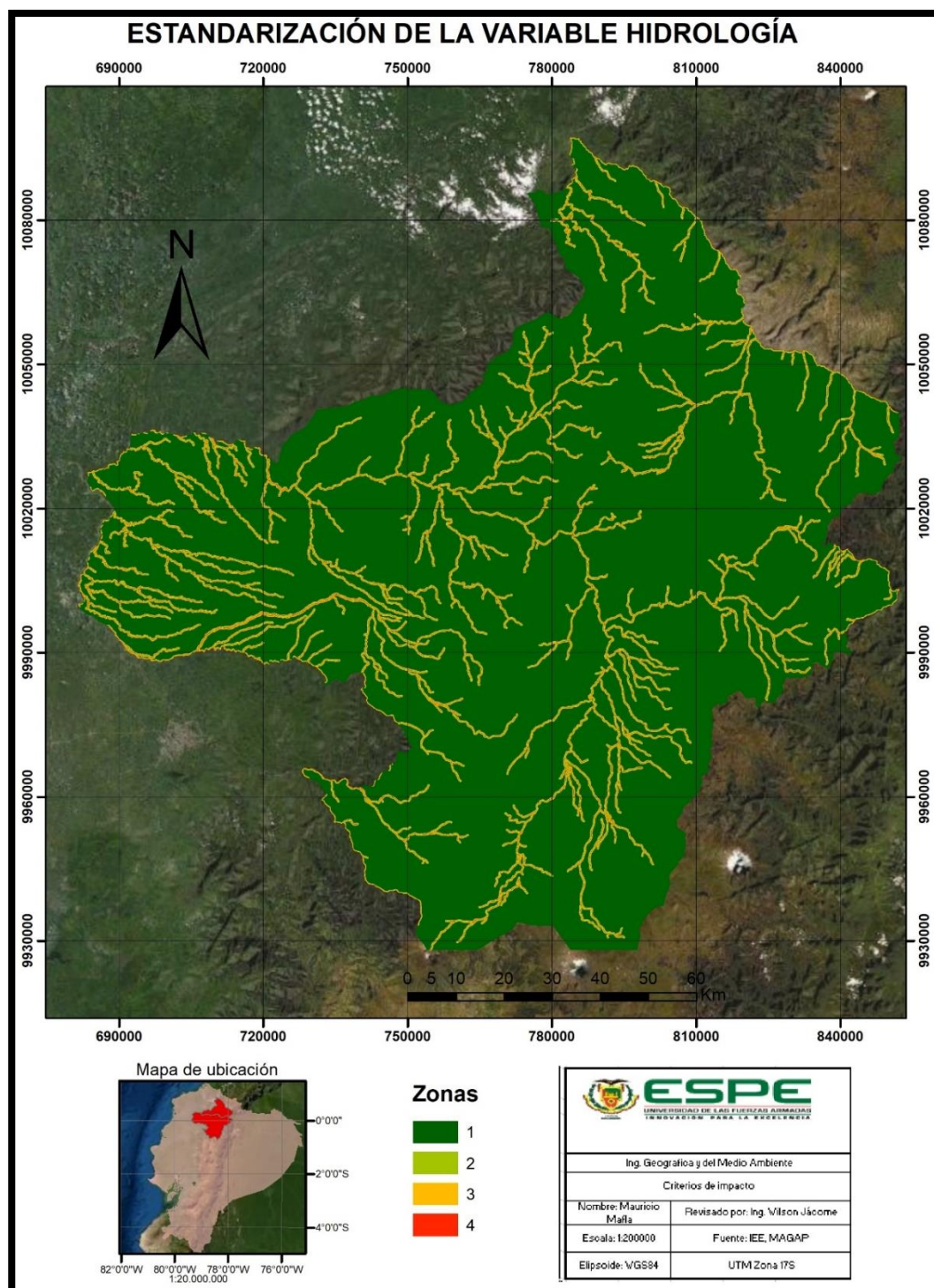
Estandarización de la variable uso de suelo



Nota: La figura muestra la variable uso de suelo estandarizada.

Figura 30

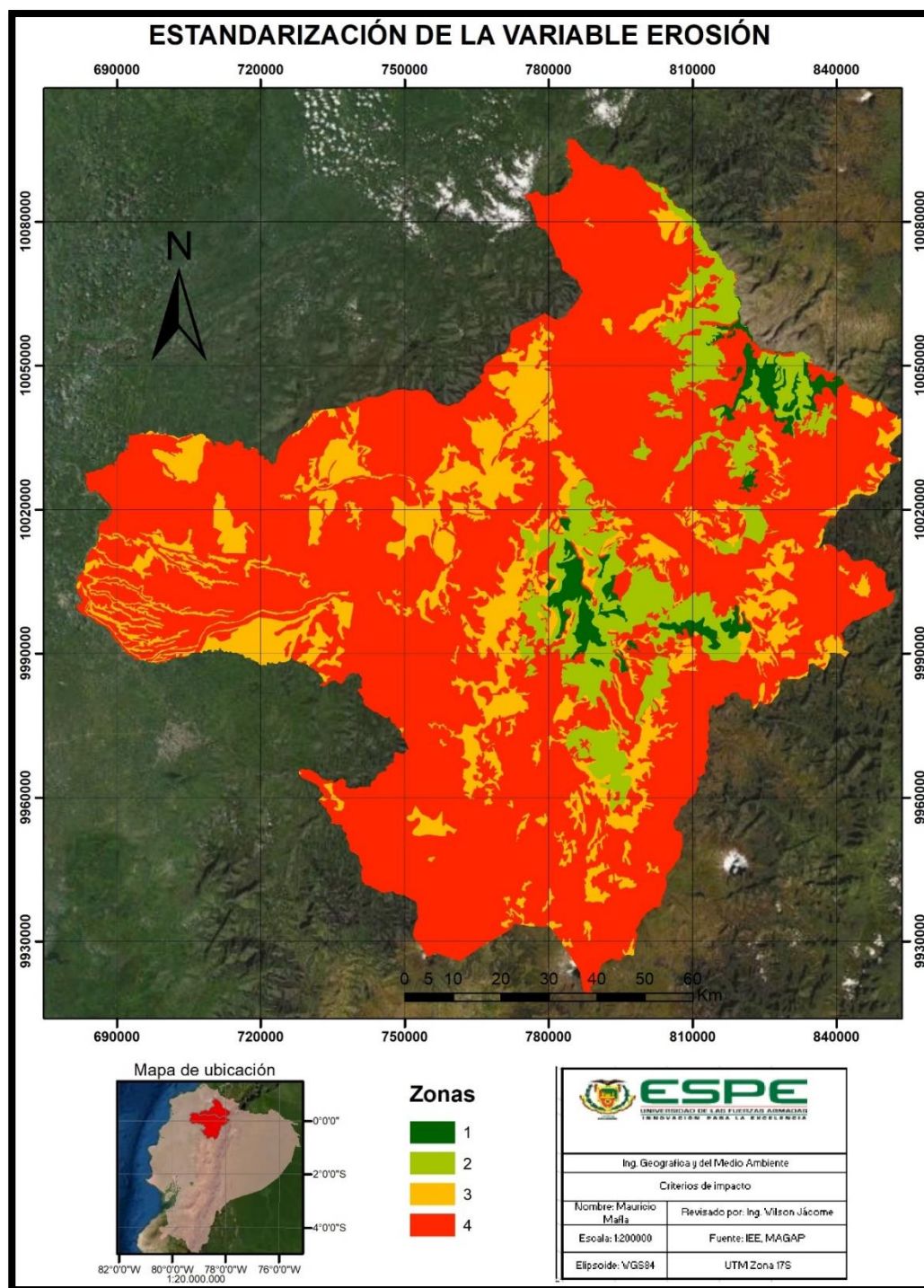
Estandarización de la variable hidrología



Nota: La figura muestra la variable hidrología estandarizada.

Figura 31

Estandarización de la variable erosión

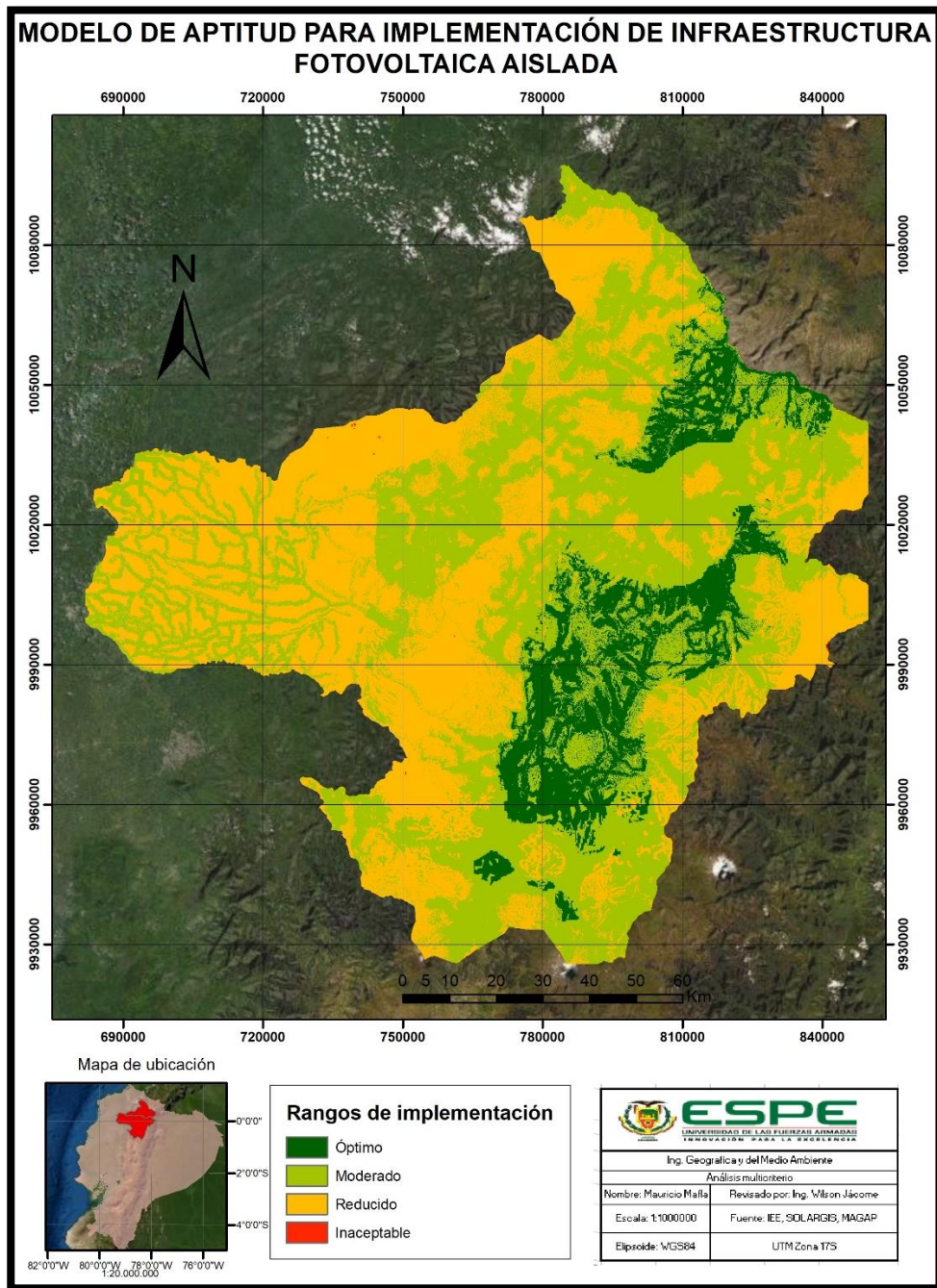


Nota: La figura muestra la variable erosión estandarizada.

Análisis multicriterio

Figura 32

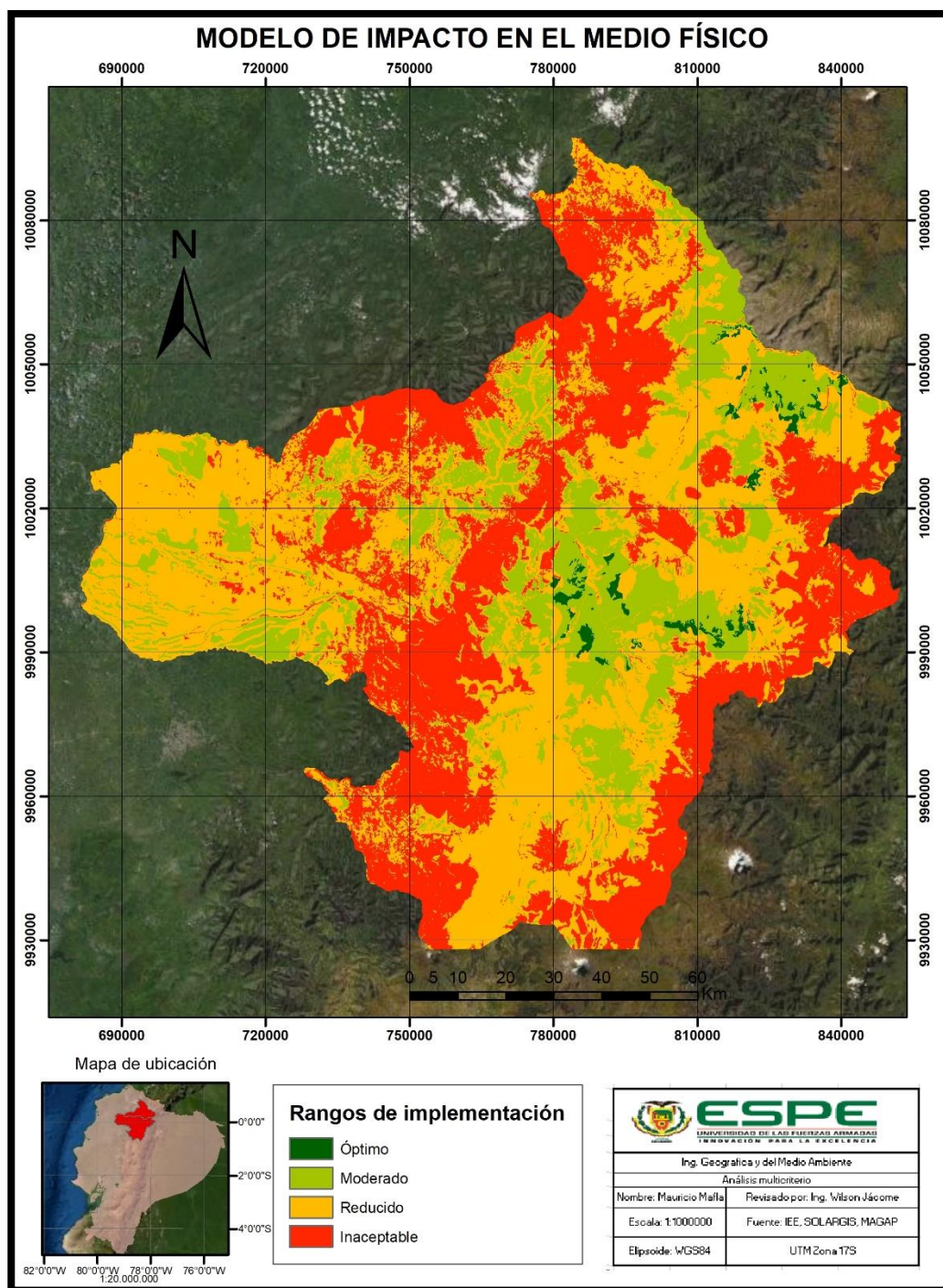
Modelo de aptitud



Nota: La figura muestra el modelo de aptitud para implementación fotovoltaica aislada.

Figura 33

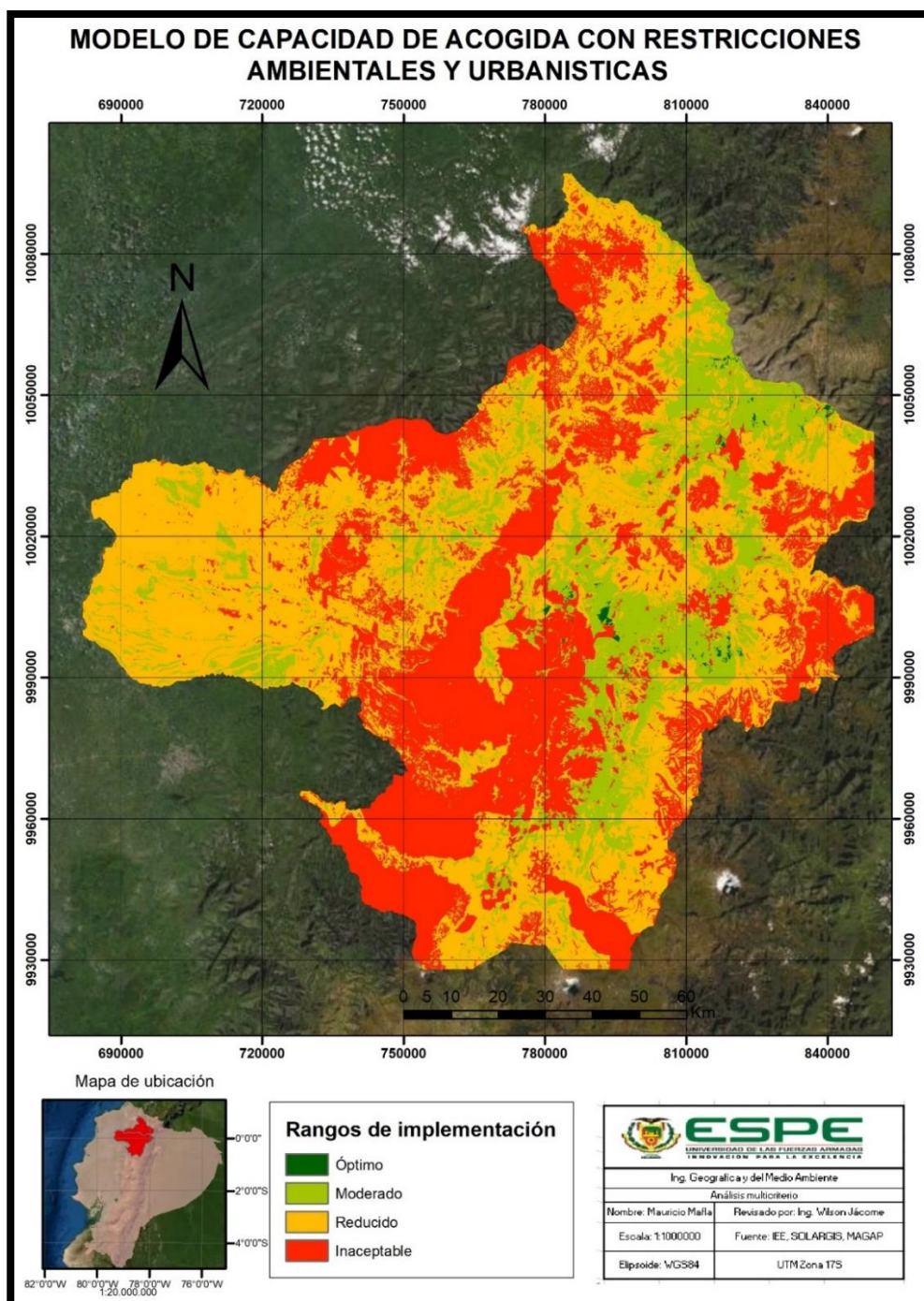
Modelo de impacto en el medio físico



Nota: La figura muestra el modelo de impacto en el medio físico.

Figura 34

Modelo de capacidad de acogida



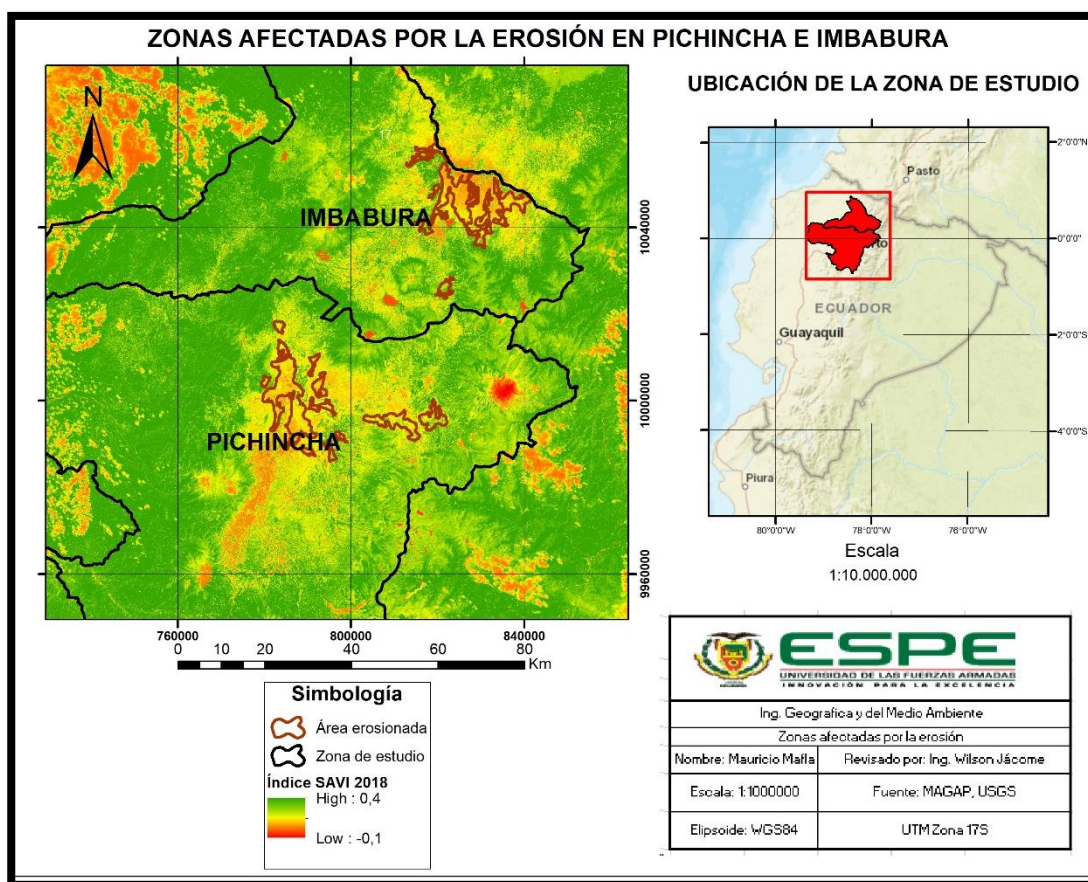
Nota: La figura muestra el modelo de capacidad de acogida con las respectivas restricciones ambientales y urbanísticas.

En la figura 34 se identifican los rangos de implementación de infraestructura fotovoltaica en las provincias de Pichincha e Imbabura, las zonas con rango “óptimo” para implementación fotovoltaica se concentran en los cantones Ibarra y Pimampiro para la provincia de Imbabura, mientras que en la provincia de Pichincha las zonas con rango “óptimo” para implementación fotovoltaica se concentran en los cantones de Pedro Moncayo y Cayambe.

Zonas afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica en Pichincha e Imbabura

Figura 35

Zonas afectadas por la erosión

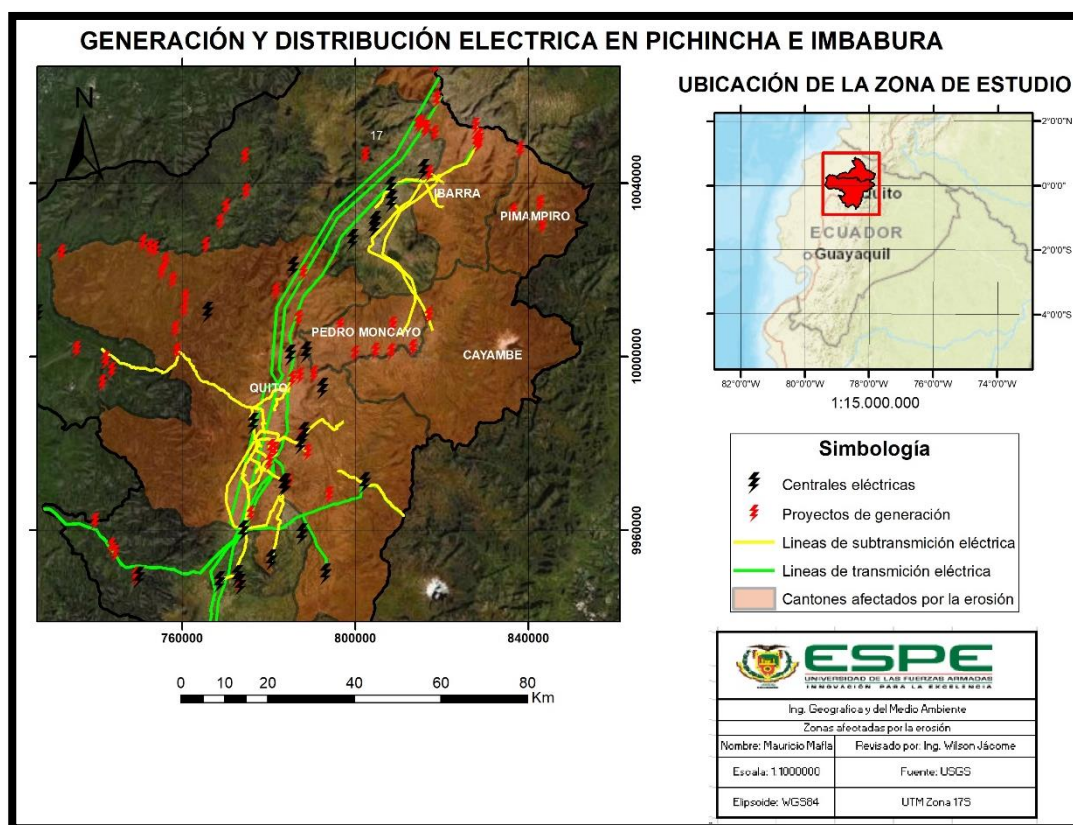


Nota: La figura muestra las zonas afectadas por la erosión en la zona de estudio.

En la provincia de Imbabura, las zonas afectadas por tierras erosionadas se concentran en los cantones de Ibarra y Pimampiro mientras que en la provincia de Pichincha las zonas afectadas por tierras erosionadas se concentran en los cantones de Quito, Pedro Moncayo y Cayambe, como se muestra en la figura 35.

Figura 36

Generación y distribución eléctrica



Nota: La figura muestra la generación y distribución eléctrica en la zona de estudio.

Tabla 26*Generación y distribución de energía eléctrica*

Provincia	Cantón	Líneas de transmisión eléctrica	Líneas de subtransmisión eléctrica	Centrales eléctricas	Proyectos de generación eléctrica
Imbabura	Ibarra	1	9	1	9
	Pimampiro	0	0	0	4
	Quito	3	43	13	25
Pichincha	pedro	0	1	0	6
	Moncayo				
	Cayambe	0	1	0	1

Nota: La tabla muestra Generación y distribución de energía eléctrica en cantones afectados por la erosión en la zona de estudio.

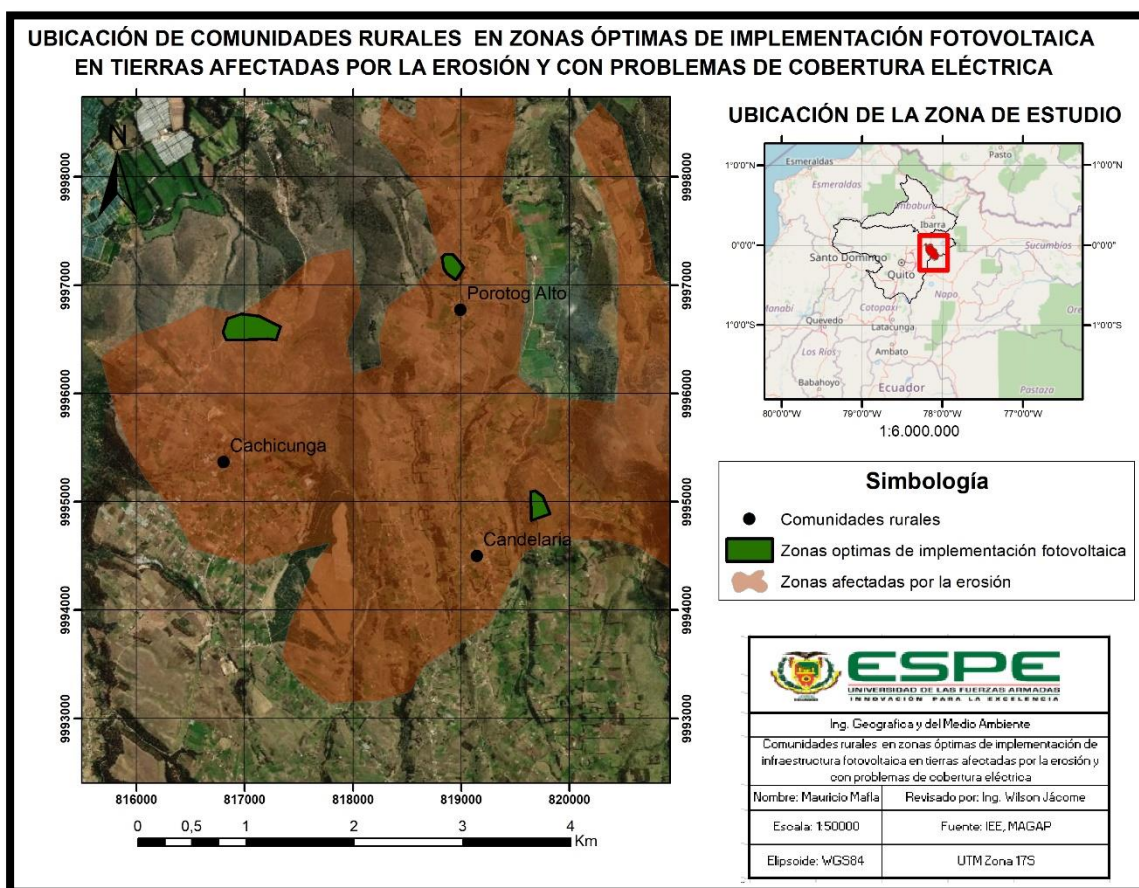
De los cantones afectados por tierras erosionadas, el cantón Cayambe presenta más problemas de cobertura y distribución energética, la energía que consume el cantón Cayambe depende de centrales de generación eléctrica que se encuentran fuera del territorio, y que apenas hay una subestación de transmisión de energía eléctrica y además cuenta solo con 1 proyecto de generación eléctrica (GAD Cayambe, 2015). Además, en las asambleas parroquiales realizadas durante la elaboración del PDOT cantonal a inicios del 2015, se hace notar que el fluido eléctrico falta en las comunidades distantes ya que las líneas de transmisión eléctrica instaladas en parroquias rurales no abastecen las necesidades locales especialmente en la parroquia de Cangahua que cuenta con un mayor número de comunidades rurales y una mayor problemática energética (GAD

Cangahua, 2015). Por ese motivo se seleccionó la parroquia de Cangahua para realizar la zonificación de implementación fotovoltaica.

Comunidades rurales socioeconómicamente vulnerables en zonas óptimas de implementación fotovoltaica afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica

Figura 37

Comunidades rurales en zonas óptimas de implementación



Nota: La figura muestra Comunidades rurales en zonas óptimas de implementación de infraestructura fotovoltaica en tierras afectadas por la erosión y con problemas de cobertura eléctrica.

Tabla 27*Lista de las comunidades rurales*

Provincia	Cantón	Parroquia	Comunidad
			Cachicunga
Pichincha	Cayambe	Cangahua	Candelaria
			Porotog

Nota: La tabla muestra la lista de las comunidades rurales afectadas por la erosión en zonas óptimas de implementación fotovoltaica y con problemas de cobertura eléctrica.

De las comunidades mencionadas en la tabla 27 se seleccionó una comunidad para realizar una encuesta de estratificación socioeconómica, para corroborar si es socioeconómicamente vulnerable, se seleccionó la comunidad de Cachicunga que es la más accesible por motivos de transporte y tiempo.

Aplicación de la encuesta

La encuesta recoge datos como rasgos de la vivienda, acceso a la tecnología, posesión de bienes, hábitos de consumo, nivel de educación y la actividad económica del hogar, con lo que se logró estimar la estratificación del nivel socioeconómico del sector.

Tamaño de la muestra

Para establecer el tamaño de la muestra primero se debe encontrar los valores para cada uno de los criterios de la ecuación (7), para determinar el número de jefes de hogar en la comunidad se preguntó a una autoridad de esta, donde la ex presidenta de la comuna mencionó que son aproximadamente 200 casas. El nivel de confianza refleja el grado de certeza para la investigación, varias investigaciones utilizan un nivel de confianza del 95% para el cálculo de poblaciones finitas por ese motivo se usó un nivel de confianza del 95% y un error de estimación máximo es de 5% (González et al., 2014). Para determinar las probabilidades de éxito y fracaso es necesario tener datos de

investigaciones pasadas en la misma zona y como no las hay se establece un valor de 0,5 a cada una respectivamente.

$$n = \frac{N(200) * Z(1,96)^2 * p(0,5) * q(0,5)}{e(0,05)^2 * (N(200) - 1) + Z(1,96)^2 * p(0,5) * q(0,5)}$$

En donde:

N = tamaño de la población, jefes de hogar (200)

Z = nivel de confianza (1,96)

p = probabilidad de éxito (0,5)

q = probabilidad de fracaso (0,5)

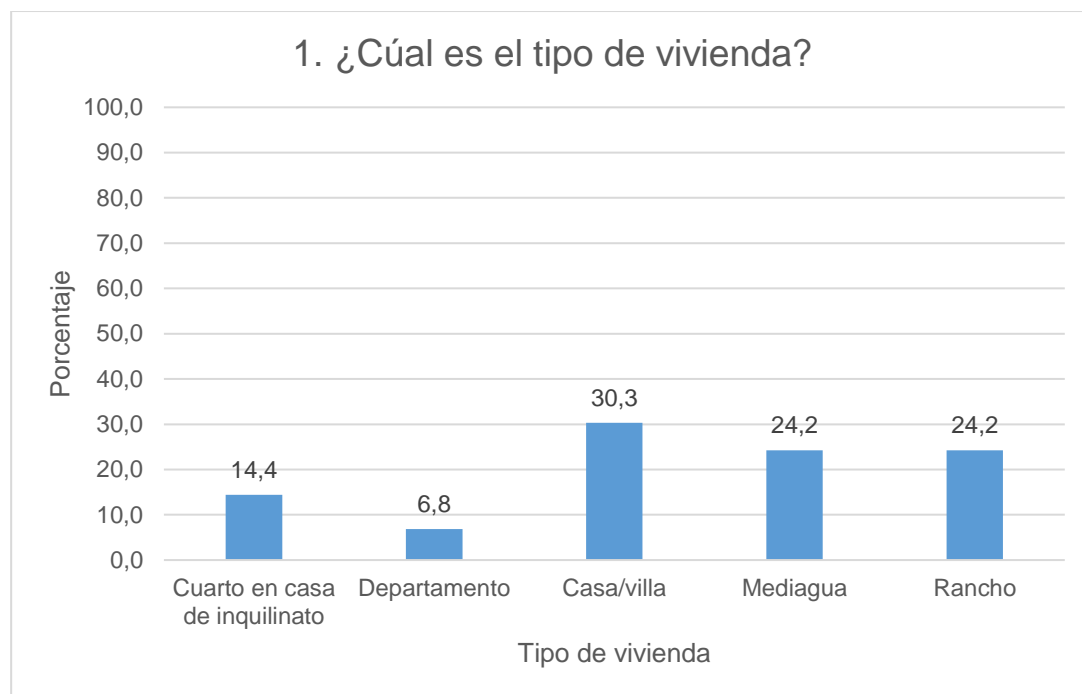
e = error (0,05)

$$n = 132$$

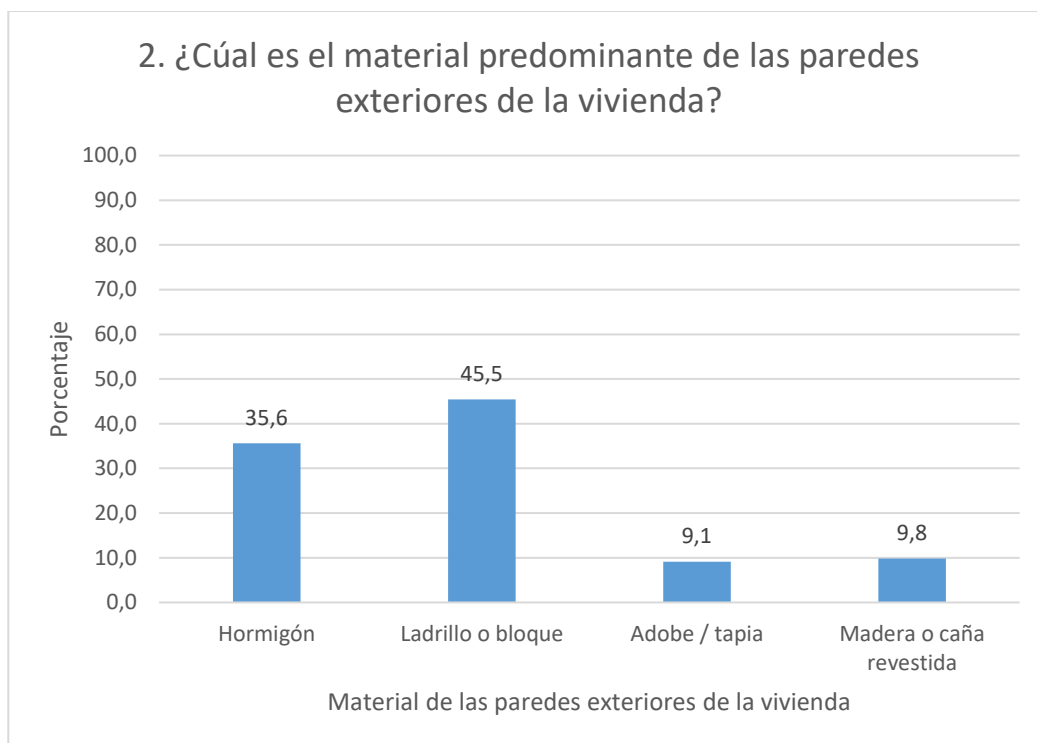
Resultado de la aplicación de la encuesta

Los resultados de las encuestas se presentan a continuación:

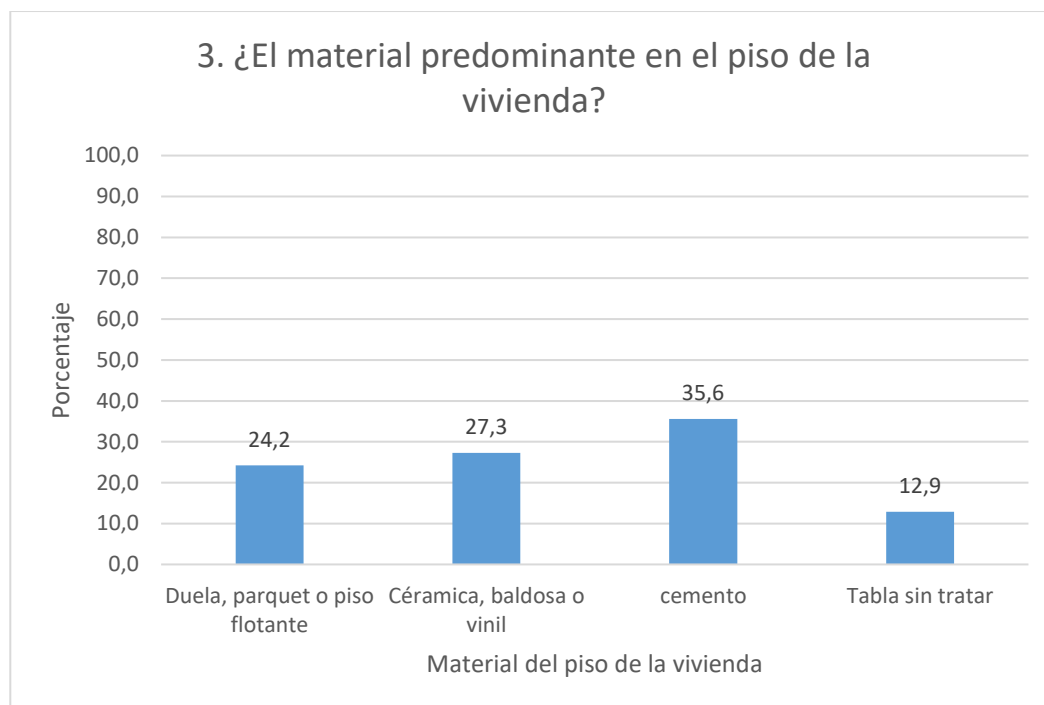
La primera sección consistió en preguntas acerca de las características de la vivienda.

Figura 38*Sección 1, Pregunta 1*

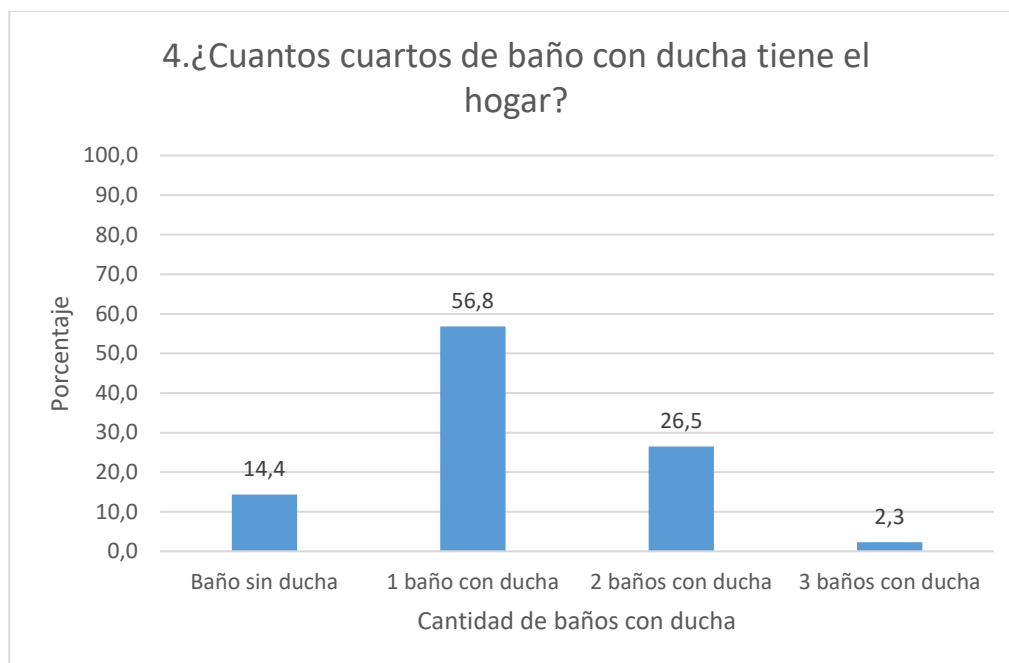
Nota: La figura representa el tipo de vivienda más utilizado por los habitantes de la zona y fue: casa o villa con un 30,3% seguido de mediagua y rancho con un 24,2%, por último, el tipo de vivienda menos utilizado era departamentos con un 6,8% ya que esta zona es rural.

Figura 39*Sección 1, pregunta 2*

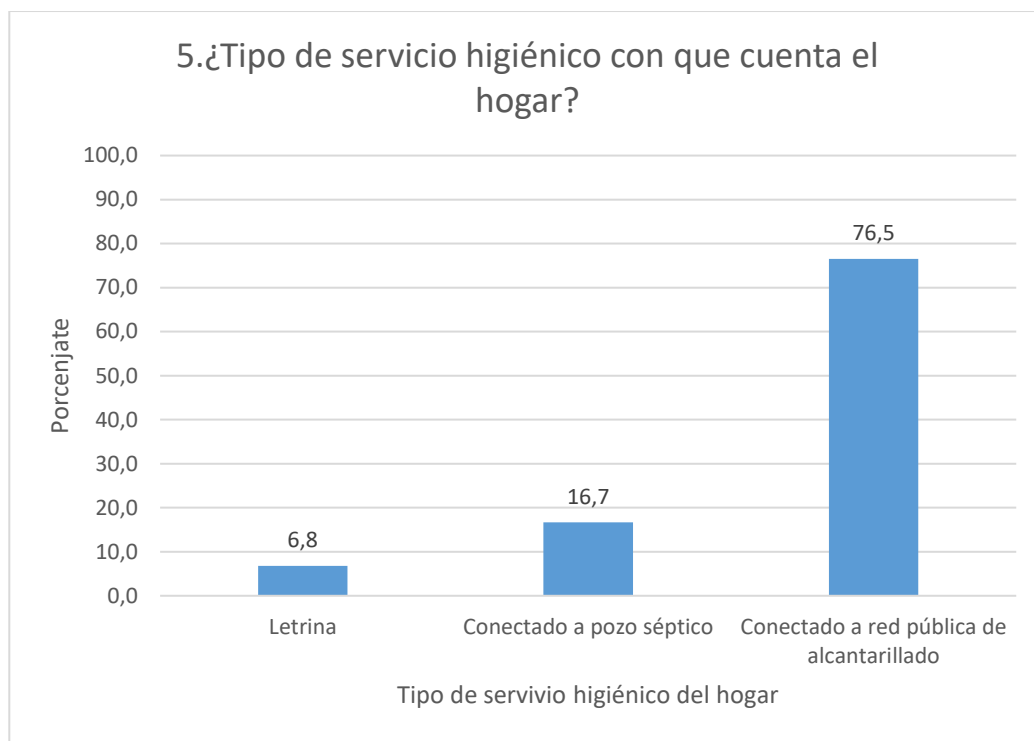
Nota: La figura representa los materiales predominantes de las paredes exteriores de los hogares encuestados: ladrillo y bloque con un 45,5% de las encuestas, seguidas por hormigón 35,6%, madera 9,8% y adobe 9,1% respectivamente.

Figura 40*Sección 1, pregunta 3*

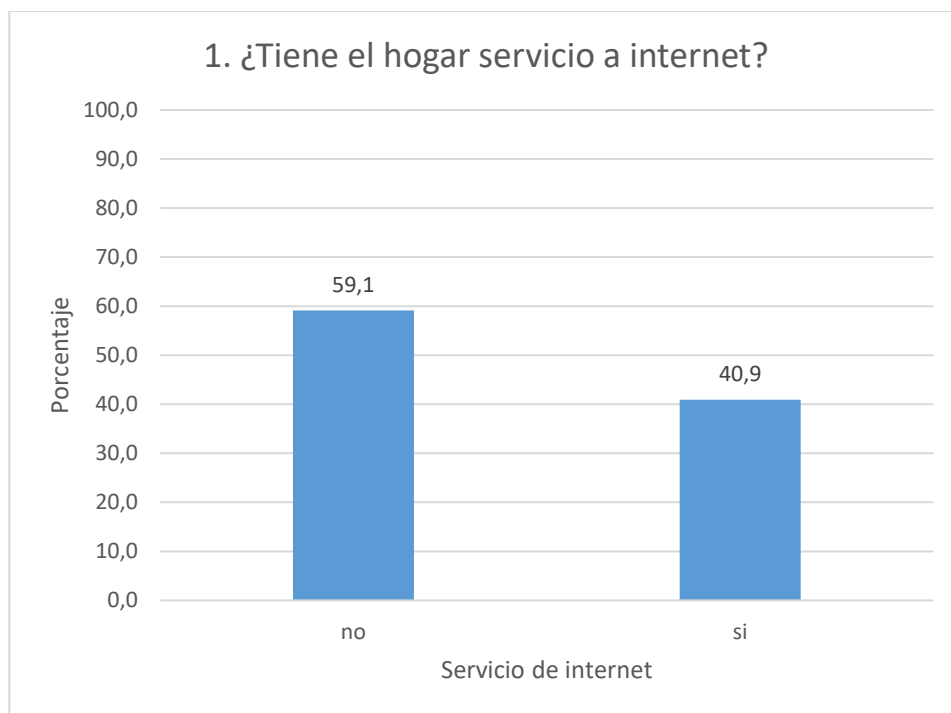
Nota: La figura representa el material predominante en el piso de las casas encuestadas que fue: cemento con un 35,6% seguido por baldosa o cer amica con un 27,3%, piso flotante o parquet con 24,2% y por último tabla sin tratar con 12,9%.

Figura 41*Sección 1, pregunta 4*

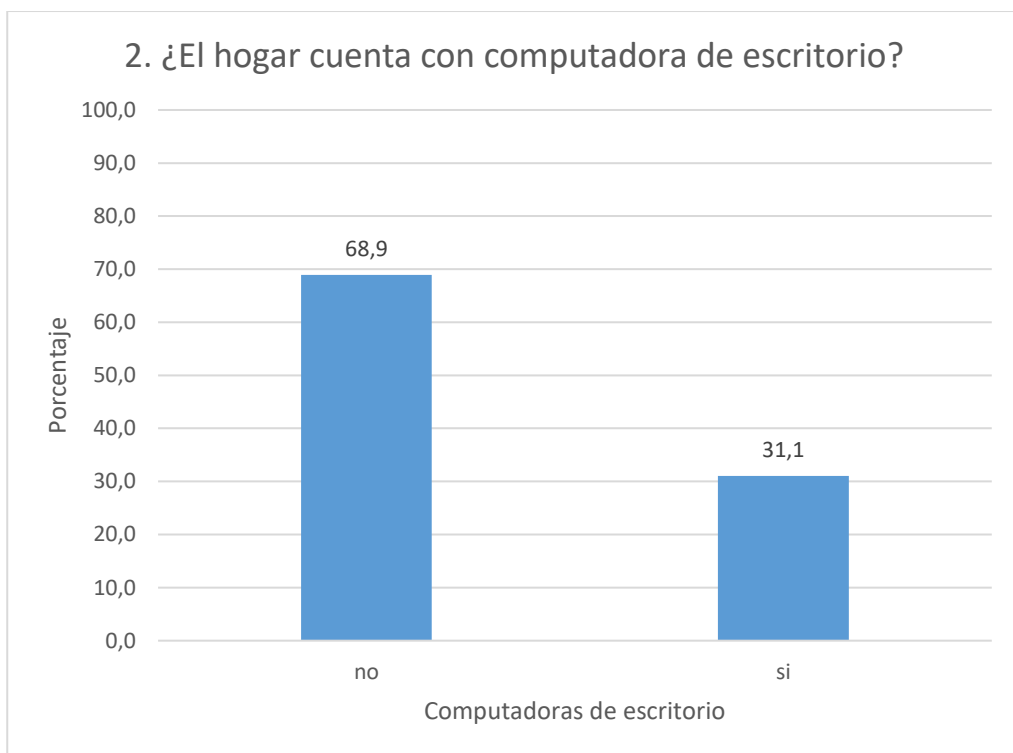
Nota: La figura representa la cantidad de baños con ducha que tienen los hogares encuestados, el resultado fue: un baño con ducha 56,8% seguido de dos baños con ducha con 26,5%, baño sin ducha con 14,4% y tres baños con ducha con el 2,3%.

Figura 42*Sección 1, pregunta 4*

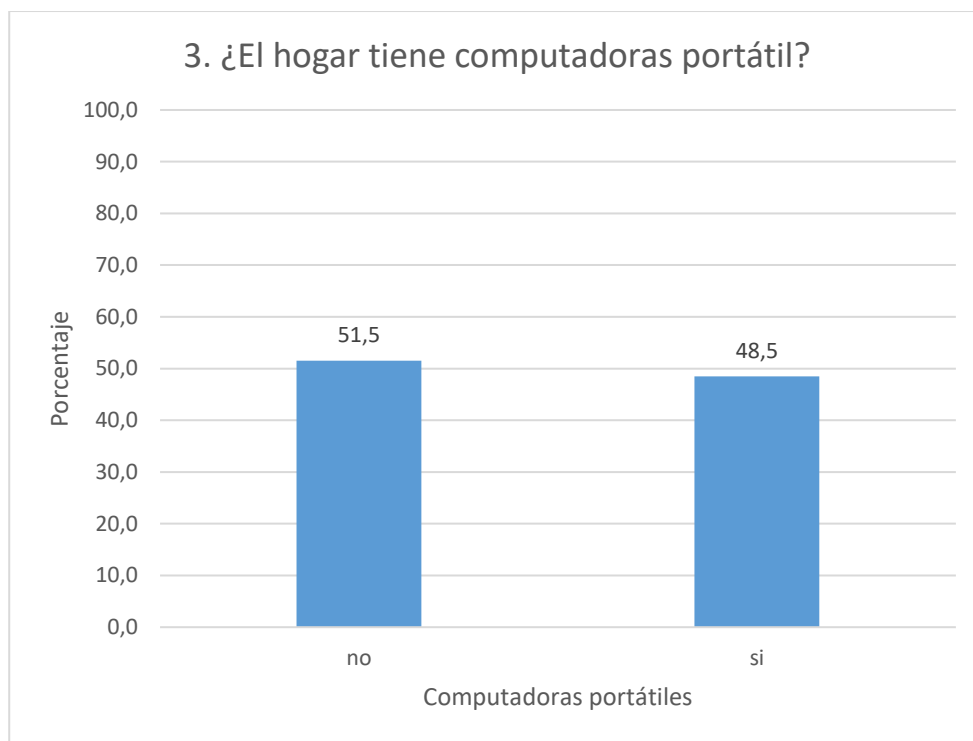
Nota: La figura representa el tipo de servicio higiénico con el que cuentan los hogares encuestados, los resultados fueron: conectado a la red pública de alcantarillado con 76,5% seguido por pozo séptico con 16,7% y letrina con un 6,8%.

Figura 43*Sección 2, pregunta 1*

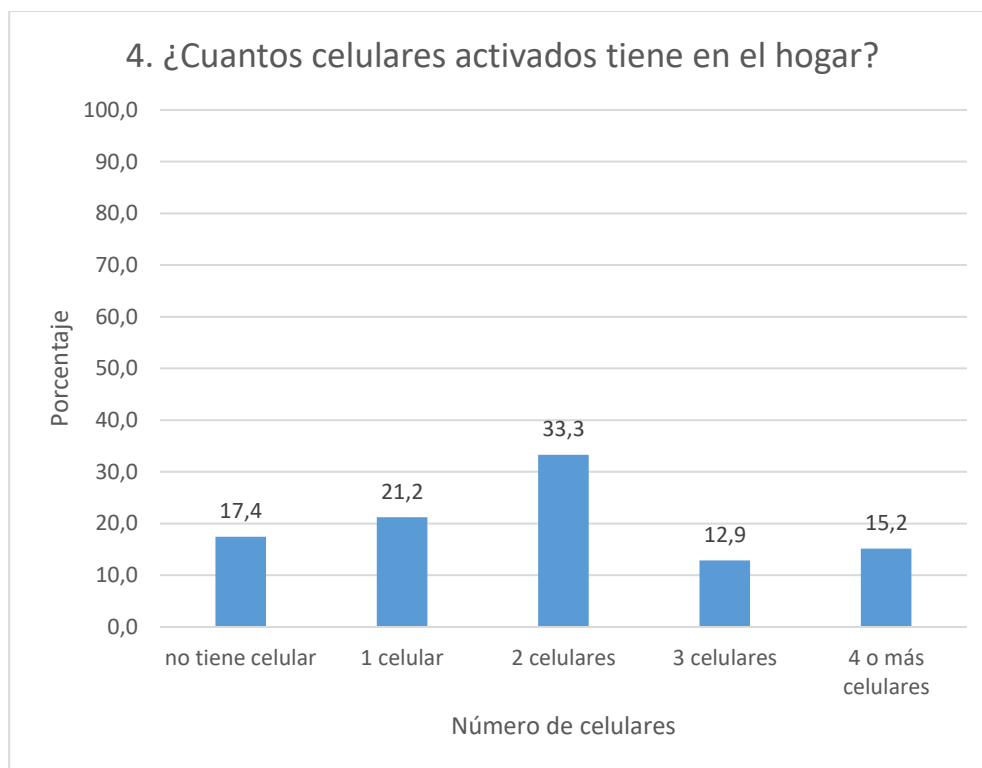
Nota: La figura representa la cantidad de hogares encuestados que cuentan con servicio a internet, los resultados fueron: no con un 59,1% y si con un 40,9%.

Figura 44*Sección 2, pregunta 2*

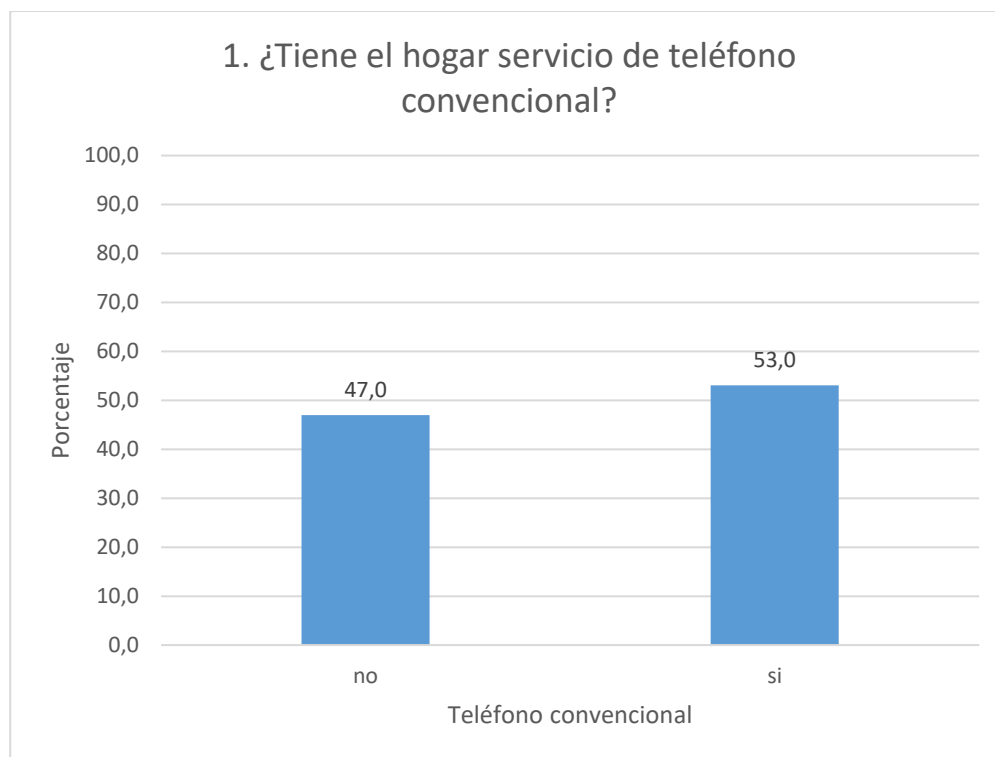
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con una computadora de escritorio, dando como resultado: no con un 68,9% y si con un 31,1%.

Figura 45*Sección 2, pregunta 3*

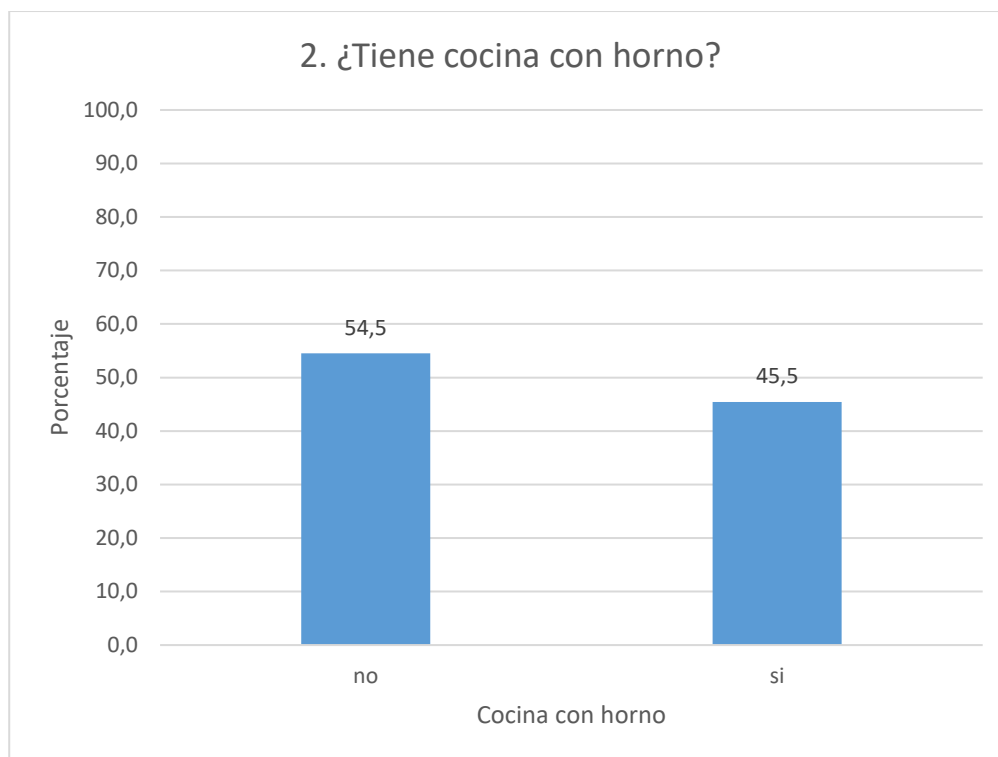
Nota: La figura representa los hogares encuestados que cuentan con una computadora portátil, dando como resultado: no con un 51,5% y sí con un 48,5%.

Figura 46*Sección 2, pregunta 4*

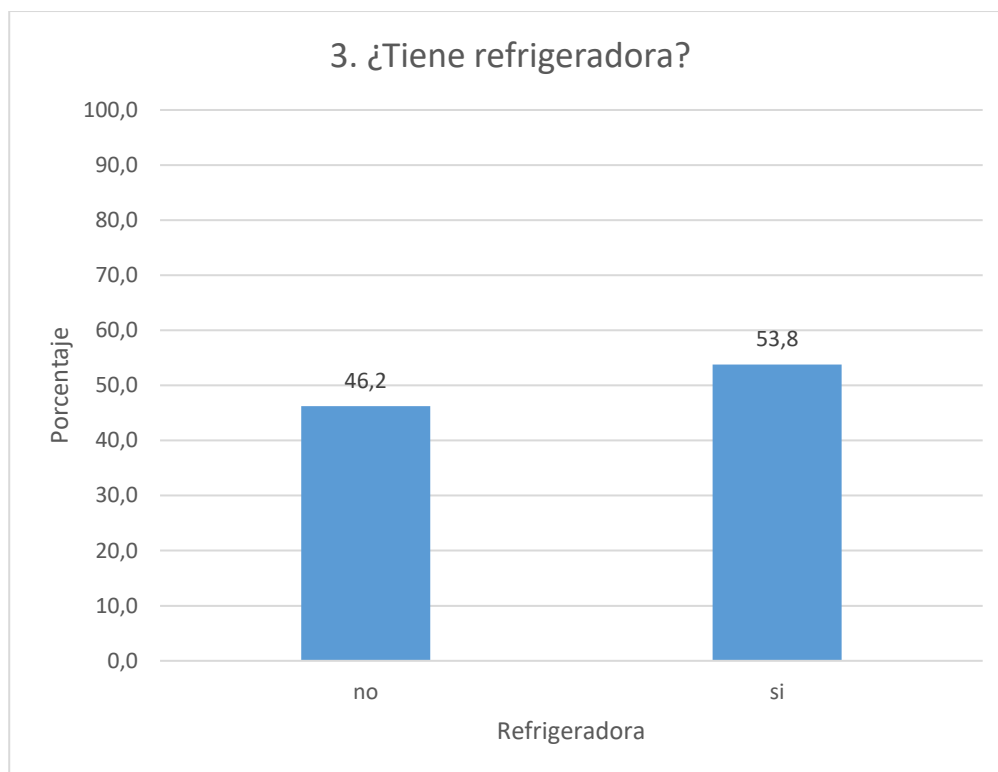
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con celulares activados, dando como resultado: dos celulares con 33,3% seguido por 1 celular con 21,2%, no tiene celular con 17,5%, 4 celulares o más con 15,2% y 3 celulares con 12,9%.

Figura 47*Sección 3, pregunta 1*

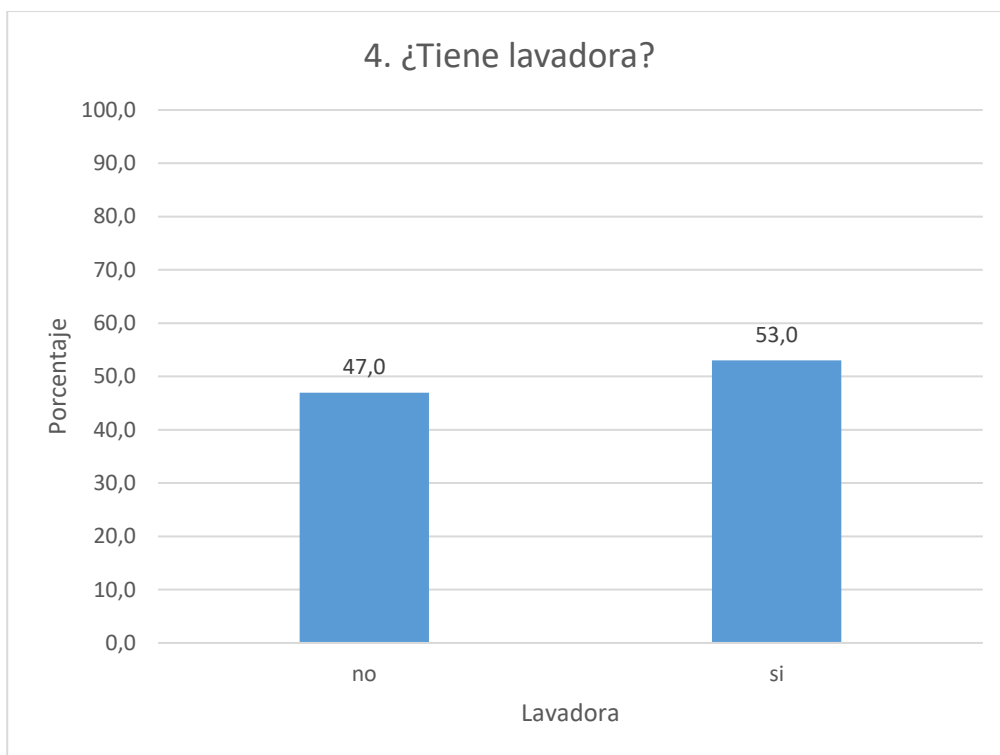
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con servicio de teléfono convencional, dando como resultado: si con un 53% y no con un 47%.

Figura 48*Sección 3, pregunta 2*

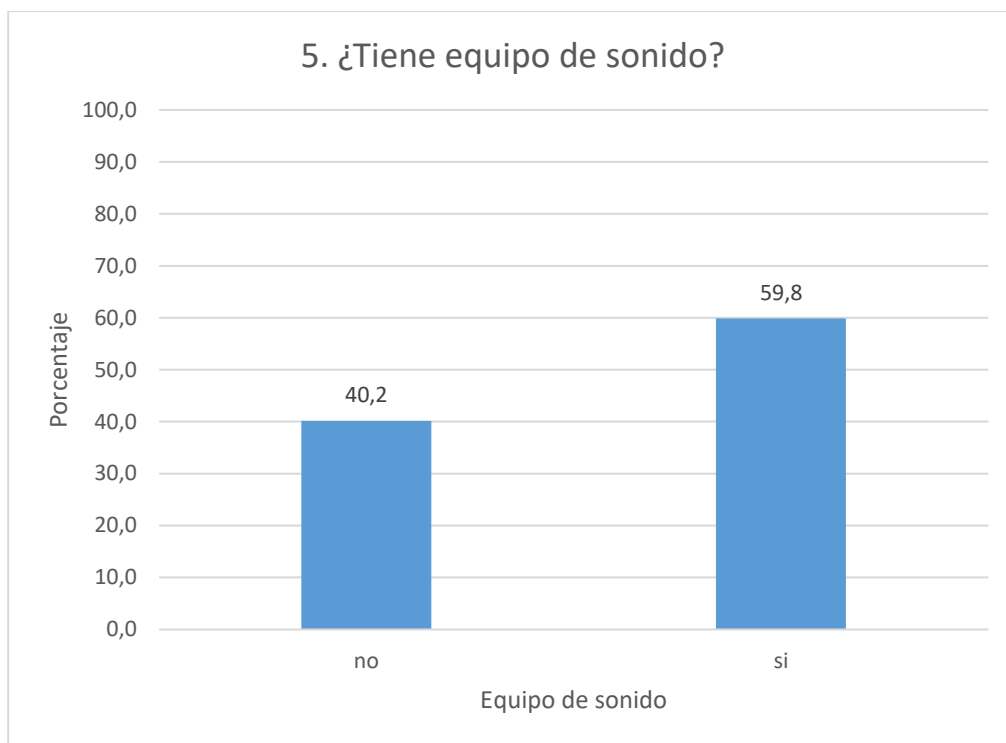
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con una cocina con horno, dando como resultado: no con un 54,5% y no con un 45,5%.

Figura 49*Sección 3, pregunta 3*

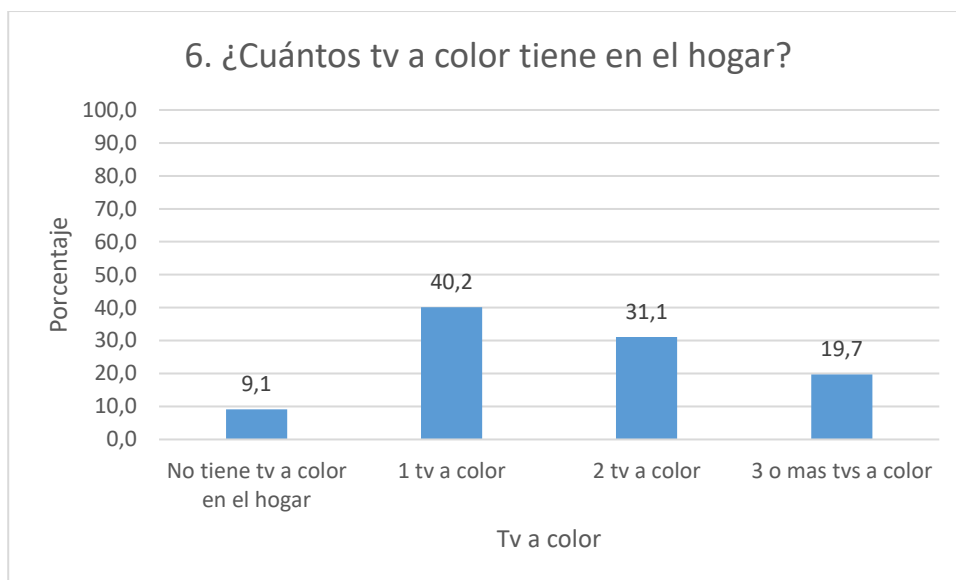
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con una refrigeradora, dando como resultado: si con un 53,8% y no con un 46,2%.

Figura 50*Sección 3, pregunta 4*

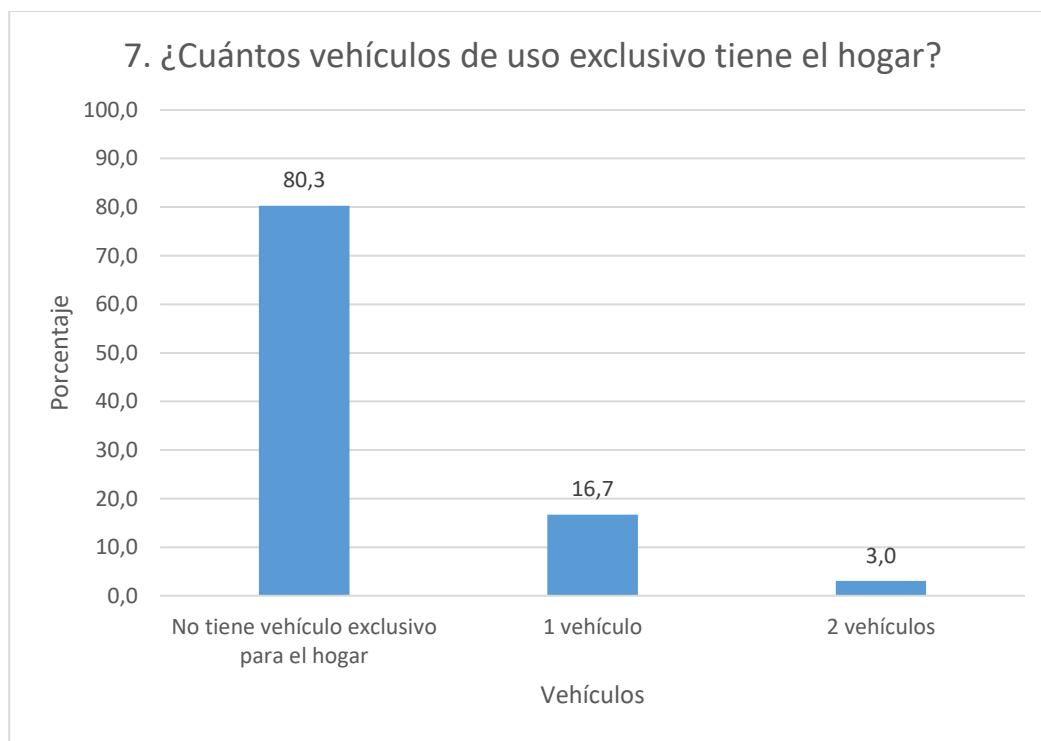
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con una lavadora, dando como resultado: si con un 53% y no con un 47%.

Figura 51*Sección 3, pregunta 5*

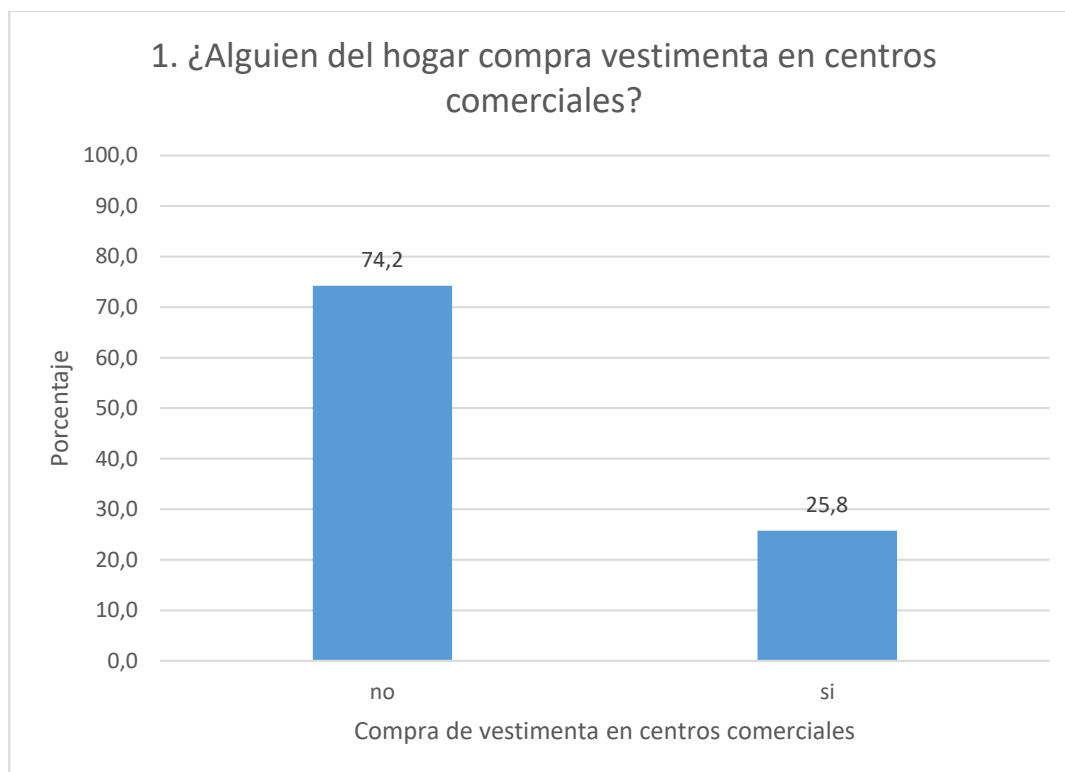
Nota: La figura representa el porcentaje de hogares encuestados que cuentan con un equipo de sonido, dando como resultado: si con un 59,8% y no con un 40,2%.

Figura 52*Sección 3, pregunta 6*

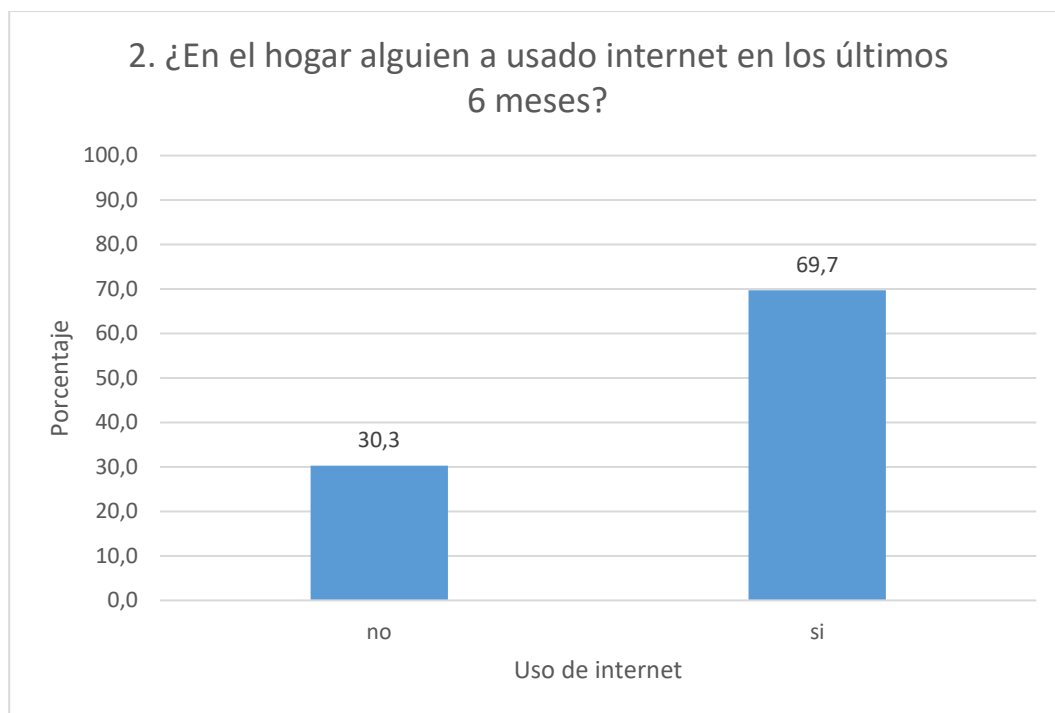
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con televisión a color, dando como resultado: 1 tv a color con 40,2%, 2 tv a color con 31,1%, 3 o más tv a color con 19,7% y no tienen tv a color con 9,1%.

Figura 53*Sección 3, pregunta 7*

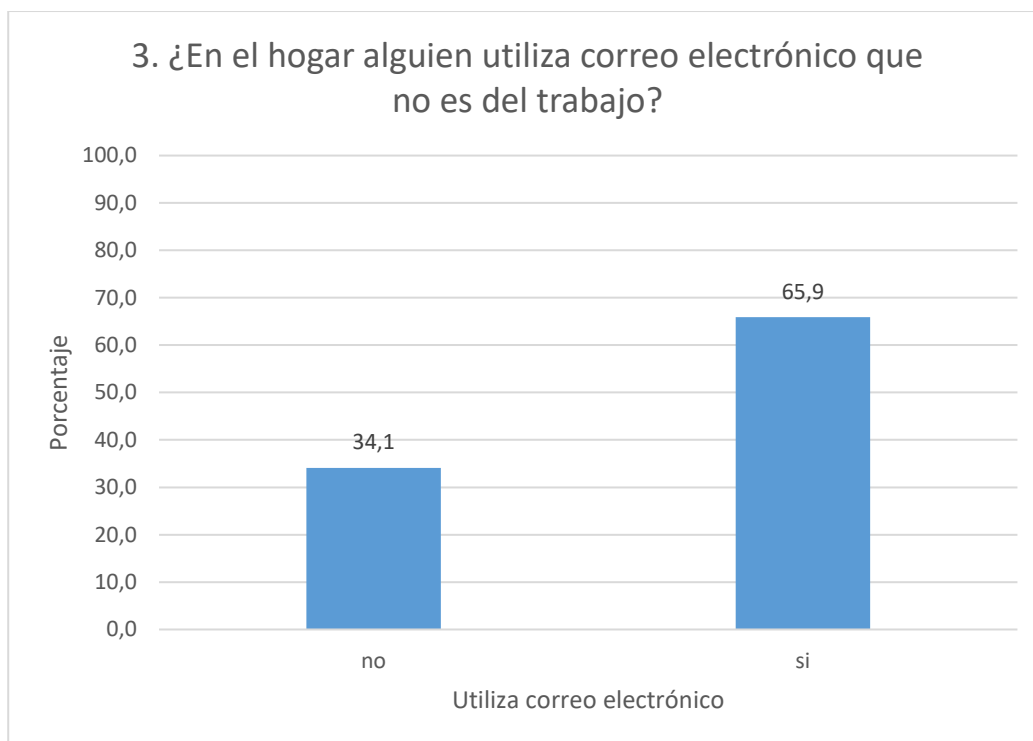
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que cuentan con el uso exclusivo de vehículos, dando como resultado: no con un 80,3%, si con un 16,7% y 2 vehículos con un 3%.

Figura 54*Sección 4, pregunta 1*

Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que compran su vestimenta en centros comerciales, dando como resultado: no con un 74,2% y si con un 25,8%.

Figura 55*Sección 4, pregunta 2*

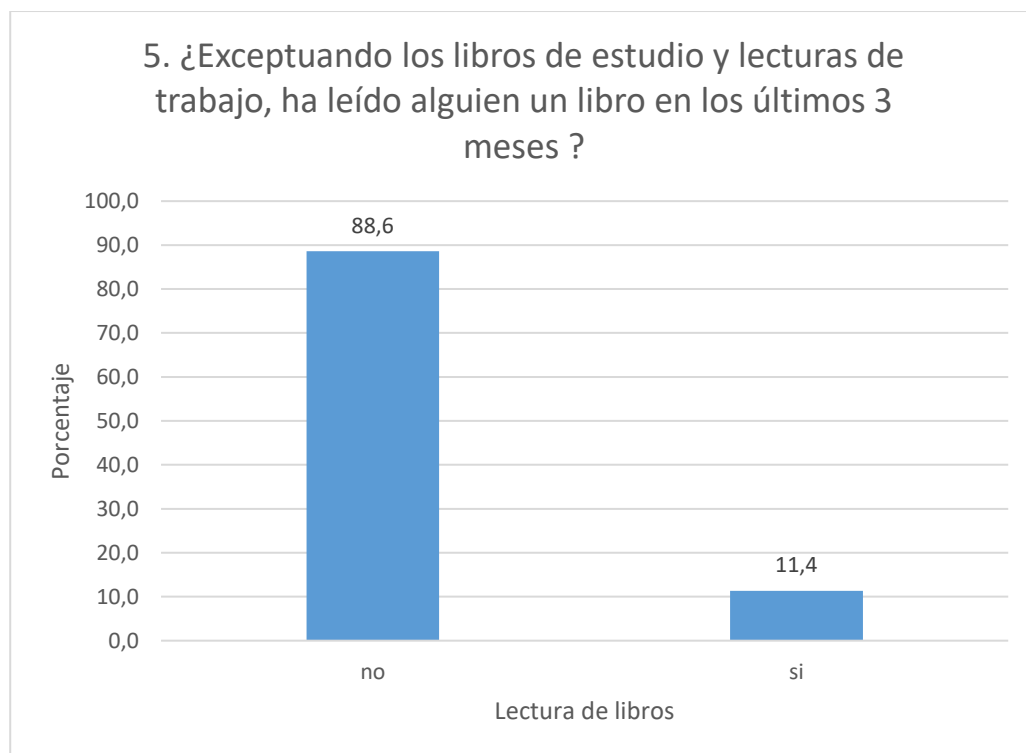
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que han usado internet en los últimos 6 meses, dando como resultado: si con un 69,7% y no con un 30,3%.

Figura 56*Sección 4, pregunta 3*

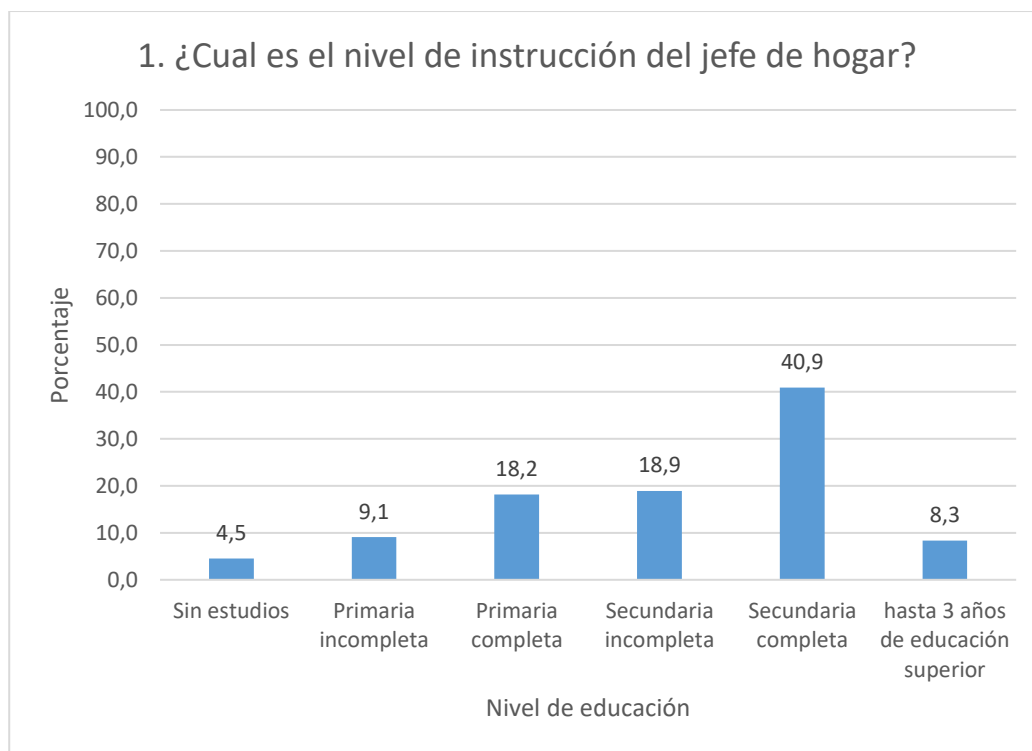
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que utilizan correo electrónico que no sea del trabajo, dando como resultado: si con un 65,9% y no con un 34,1%.

Figura 57*Sección 4, pregunta 4*

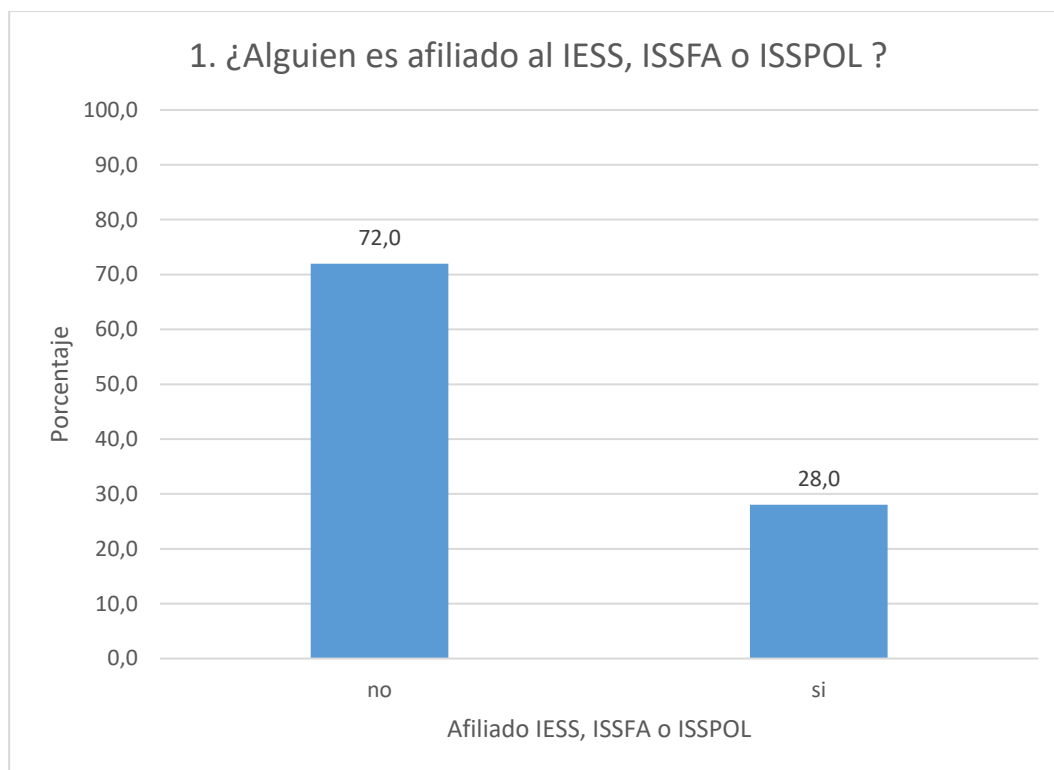
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados registrados en una red social, dando como resultado: si con un 61,4% y no con un 38,6%.

Figura 58*Sección 4, pregunta 5*

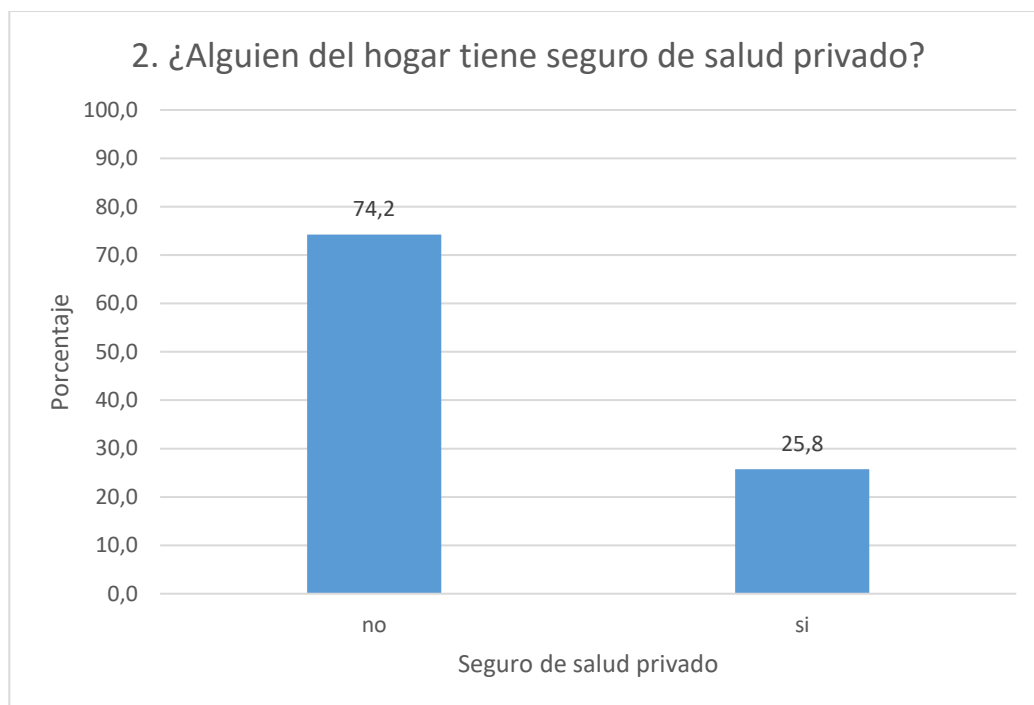
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados que han leído algún libro exceptuando lectura de estudio o trabajo, dando como resultado: no con un 88,6% y si con un 11,4%.

Figura 59*Sección 5, pregunta 1*

Nota: La figura representa el nivel de instrucción académica con el que cuenta el jefe de hogar, dando como resultado: secundaria completa con un 40,9% seguido de secundaria incompleta con 18,9%, primaria completa con 18,2%, primaria incompleta con 9,1%, hasta 3 años de educación superior con 8,3% y sin estudios con 4,5%.

Figura 60*Sección 6, pregunta 1*

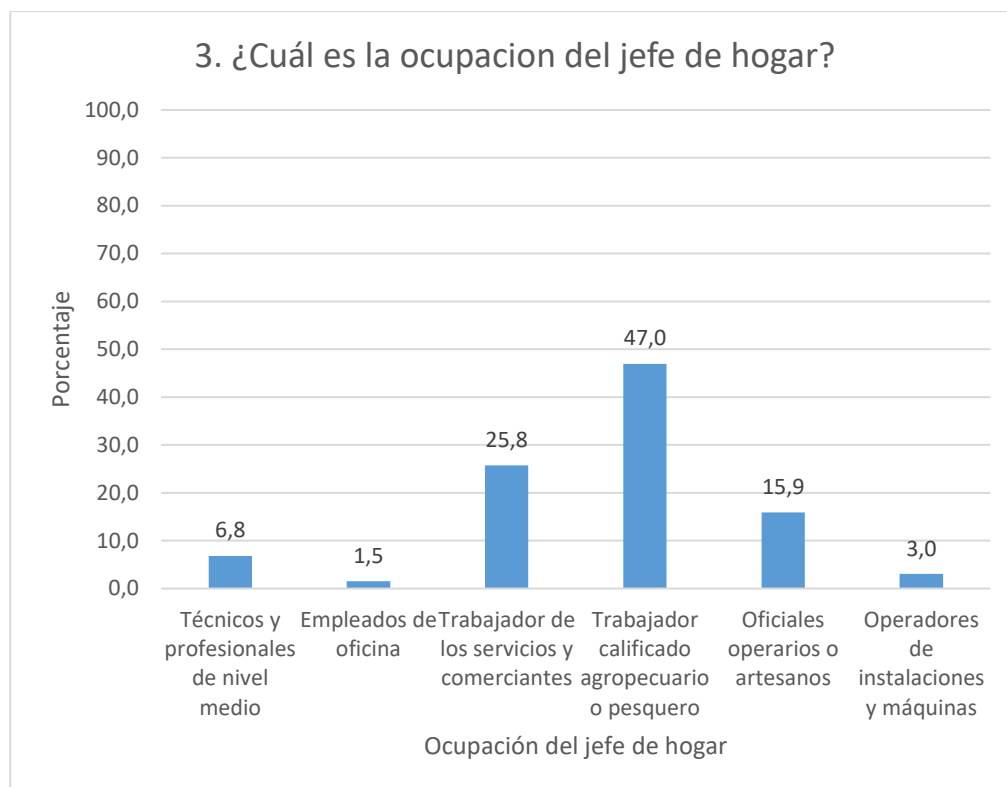
Nota: La figura representa el número de hogares encuestados afiliados al IESS, ISSFA o ISSPOL, dando como resultado: no con un 72% y si con un 28%.

Figura 61*Sección 6, pregunta 2*

Nota: La figura representa el número de hogares encuestados con seguro de salud privada, dando como resultado: no con un 74,2% y si con un 25,8%.

Figura 62

Sección 6, pregunta 3



Nota: La figura representa la ocupación laboral con el que cuenta el jefe de hogar, dando como resultado: trabajador calificado agropecuario o pesquero con un 47% seguido de trabajador de servicios o comerciantes con 25,8%, oficiales operarios o artesanos con 15,9%, técnicos y profesionales de nivel medio con 6,8%, operadores de instalaciones y maquinas con 3% y empleados de oficina con 1,5%.

Para determinar a qué grupo socioeconómico pertenece la comunidad se realiza una suma a cada una de las ponderaciones que tienen las preguntas establecidas por el INEC como se muestra en la tabla 28.

Tabla 28*Resultado de la encuesta*

Secciones	Preguntas	Descripción	Resultados	Ponderación	Valores ponderados
Sección 1	pregunta 1	Cuarto en casa de inquilinato	19	59	1121
		Departamento	9	59	531
		Casa/villa	40	59	2360
	pregunta 2	Mediagua	32	46	1472
		Rancho	32	4	128
		Hormigón	47	59	2773
		Ladrillo o bloque	60	55	3300
		Adobe / tapia	12	47	564
		Madera o caña revestida	13	17	221
		Duela, parquet o piso flotante	32	48	1536
	pregunta 3	Cerámica, baldosa o vinil	36	46	1656
		cemento	47	34	1598
	pregunta 4	Tabla sin tratar	17	32	544
		Baño sin ducha	19	0	0

	1 baño con ducha	75	12	900
	2 baños con ducha	35	24	840
	3 baños con ducha	3	32	96
	No tiene	0	0	0
	Letrina	9	15	135
pregunta 5	Conectado a pozo séptico	22	22	484
	Conectado a red pública de alcantarillado	101	38	3838
pregunta 1	no	78	0	0
	si	54	45	2430
pregunta 2	no	91	0	0
	si	41	35	1435
pregunta 3	no	68	0	0
	si	64	39	2496
	no tiene celular	23	0	0
pregunta 4	1 celular	28	8	224
	2 celulares	44	22	968
	3 celulares	17	32	544

Sección 2

	4 o más	20	42	840
	celulares			
pregunta 1	no	62	0	0
	si	70	19	1330
pregunta 2	no	72	0	0
	si	60	29	1740
pregunta 3	no	61	0	0
	si	71	30	2130
pregunta 4	no	62	0	0
	si	70	18	1260
pregunta 5	no	53	0	0
	si	79	18	1422
SECCIÓN	No tiene tv a			
3	color en el	12	0	0
	hogar			
pregunta 6	1 tv a color	53	9	477
	2 tv a color	41	23	943
	3 o más tv a			
	color	26	34	884
	No tiene			
	vehículo	106	0	0
pregunta 7	exclusivo para			
	el hogar			
	1 vehículo	22	6	132
	2 vehículos	4	11	44

		no	98	0	0
	pregunta 1	si	34	6	204
		no	40	0	0
	pregunta 2	si	92	26	2392
SECCIÓN		no	45	0	0
4	pregunta 3	si	87	27	2349
		no	51	0	0
	pregunta 4	si	81	28	2268
		no	117	0	0
	pregunta 5	si	15	12	180
		Sin estudios	6	0	0
		Primaria incompleta	12	21	252
		Primaria completa	24	39	936
SECCIÓN		Secundaria incompleta	25	41	1025
5	pregunta 1	Secundaria completa	54	65	3510
		hasta 3 años de educación superior	11	91	1001
		no	95	0	0
SECCIÓN	pregunta 1	si	37	39	1443
6	pregunta 2	no	98	0	0

	si	34	55	1870
			76	0
	Técnicos y profesionales de nivel medio	9	46	414
	Empleados de oficina	2	31	62
	Trabajador de los servicios y comerciantes	34	18	612
pregunta 3	Trabajador calificado agropecuario o pesquero	62	17	1054
	Oficiales operarios o artesanos	21	17	357
	Operadores de instalaciones y máquinas	4	17	68

Nota: La tabla muestra las ponderaciones para cada una de las distintas preguntas.

Tabla 29*Rangos para el nivel socioeconómico*

Grupos socioeconómicos	Rangos (puntaje final)	
	Desde	Hasta
A (alto)	845,1	1000
B (medio alto)	696,1	845,4
C+ (medio típico)	535,1	696
C- (medio bajo)	316,1	535
D (bajo)	0	316

Nota: La tabla muestra las especificaciones todos los grupos socioeconómicos.

La tabla 30 muestra el rango de cada uno de los estratos socioeconómicos para el valor total de la suma de los valores ponderados de las 132 encuestas, por tal motivo se multiplica cada rango por el número de encuestas que se determinó con el tamaño muestral.

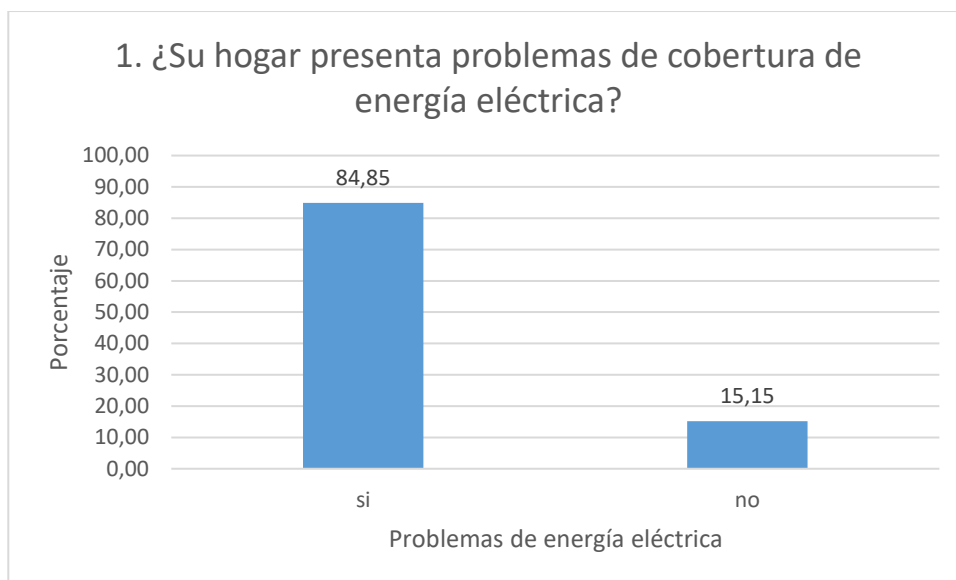
Tabla 30*Rangos de los estratos socioeconómicos de las 132 encuestas*

Grupos socioeconómicos	Rangos (puntaje final)	
	Desde	Hasta
A (alto)	111553,2	132000
B (medio alto)	91885,2	111540
C+ (medio típico)	70633,2	91872
C- (medio bajo)	41725,2	70620
D (bajo)	0	41712

Nota: La tabla muestra las especificaciones todos los grupos socioeconómicos.

La comunidad de Cachicunga se ubicó en el grupo socioeconómico C- (medio bajo) ya que la suma de los valores ponderados de la encuesta, proporcionó como resultado 63393 puntos, lo que ubica a la comunidad en su respectivo grupo socioeconómico tomando en cuenta los rangos de la tabla 30. Lo que significa según la estratificación del INEC que la población en promedio tiene el piso de sus viviendas de ladrillo o cemento, un cuarto de baño con ducha de uso exclusivo para el hogar, el 11% de hogares tiene computadora de escritorio y el jefe del hogar tiene un nivel de instrucción de primaria completa (INEC, 2011).

La sección siete consistió en una pregunta sobre problemas en la cobertura de energía eléctrica en la zona de estudio.

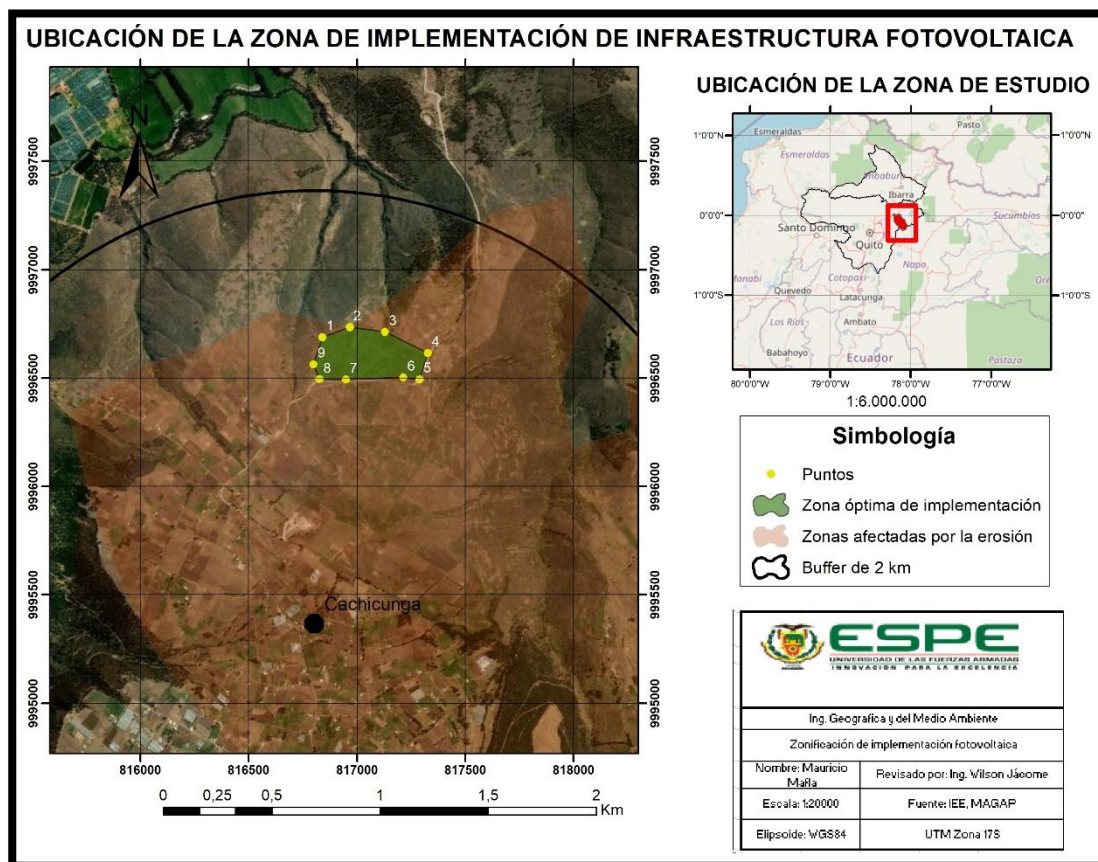
Figura 63*Sección 7, pregunta 1*

Nota: La figura representa la problemática de distribución de energía eléctrica en comunidades rurales del cantón Cayambe es evidente y se muestra con mayor intensidad en época de invierno en especial cuando hay lluvias, la energía eléctrica es esencial e indispensable para el desarrollo de la región.

Identificación de la zona idónea para la implementación fotovoltaica en comunidades socioeconómicamente vulnerables afectadas por tierras erosionadas y con problemas de cobertura energética

Figura 64

Mapa de ubicación de la zona de implementación



Nota: La figura representa la ubicación de la zona de implementación fotovoltaica en la comunidad de Cachicunga.

Tabla 31*Zona seleccionada de implementación fotovoltaica*

Zona seleccionada				
	Cantón	Parroquia	Comunidad	Área (hectáreas)
Pichincha	Cayambe	Cangahua	Cachicunga	9,96

Nota: La tabla representa la ubicación de la zona de implementación fotovoltaica en la comunidad de Cachicunga y su área.

Las Coordenadas de los puntos distribuidos como se muestra en la figura 64 de la zona de implementación fotovoltaica en la comunidad de Cachicunga se muestra en la tabla 32.

Tabla 32*Coordenadas de la zona de implementación*

PUNTOS	COORDENADAS UTM	
	x	y
1	816838,4416	9996688,022
2	816965,3948	9996734,604
3	817128,2268	9996712,456
4	817327,5268	9996614,878
5	817287,8362	9996492,847
6	817213,6858	9996502,456
7	816948,2268	9996492,476
8	816826,2024	9996494,88
9	816798,2268	9996562,456

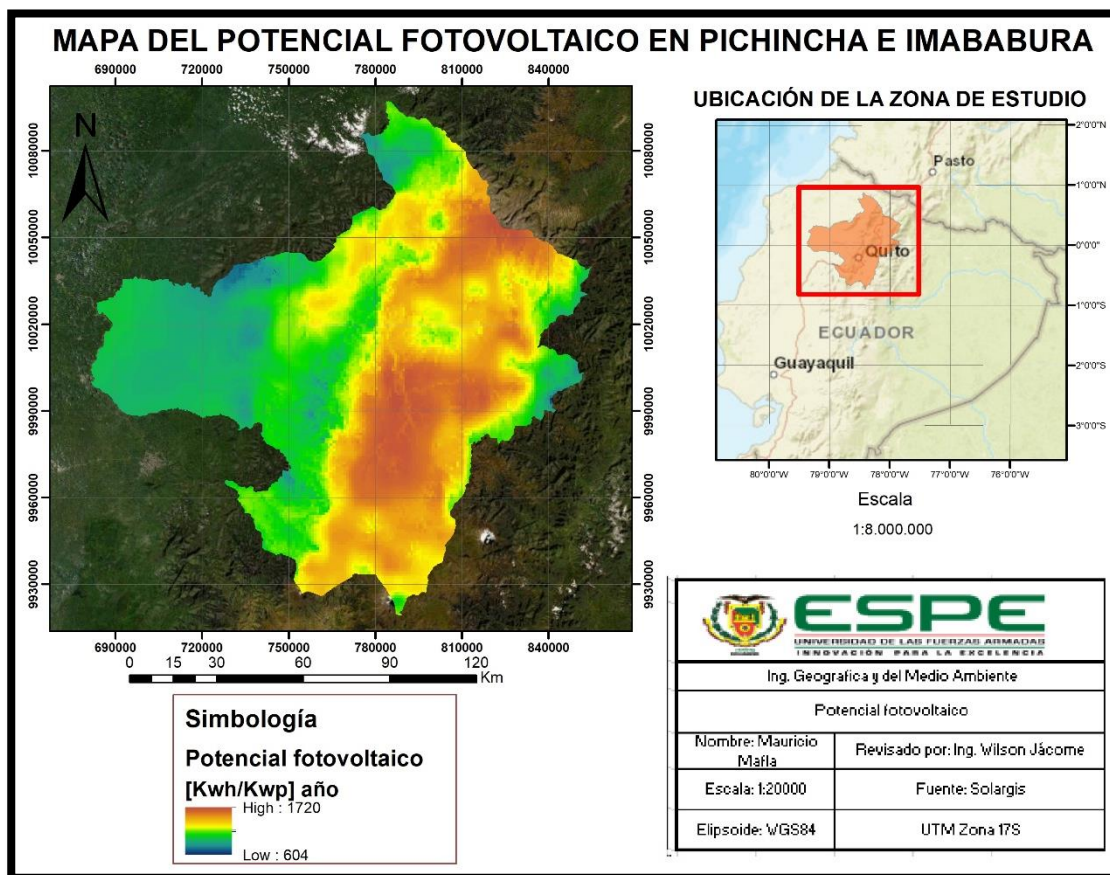
Nota: La tabla representa las coordenadas de los puntos en la zona de implementación fotovoltaica.

Metodología para encontrar el potencial fotovoltaico en las provincias de Pichincha e Imbabura

Potencial fotovoltaico en Pichincha e Imbabura

Figura 65

Potencial fotovoltaico

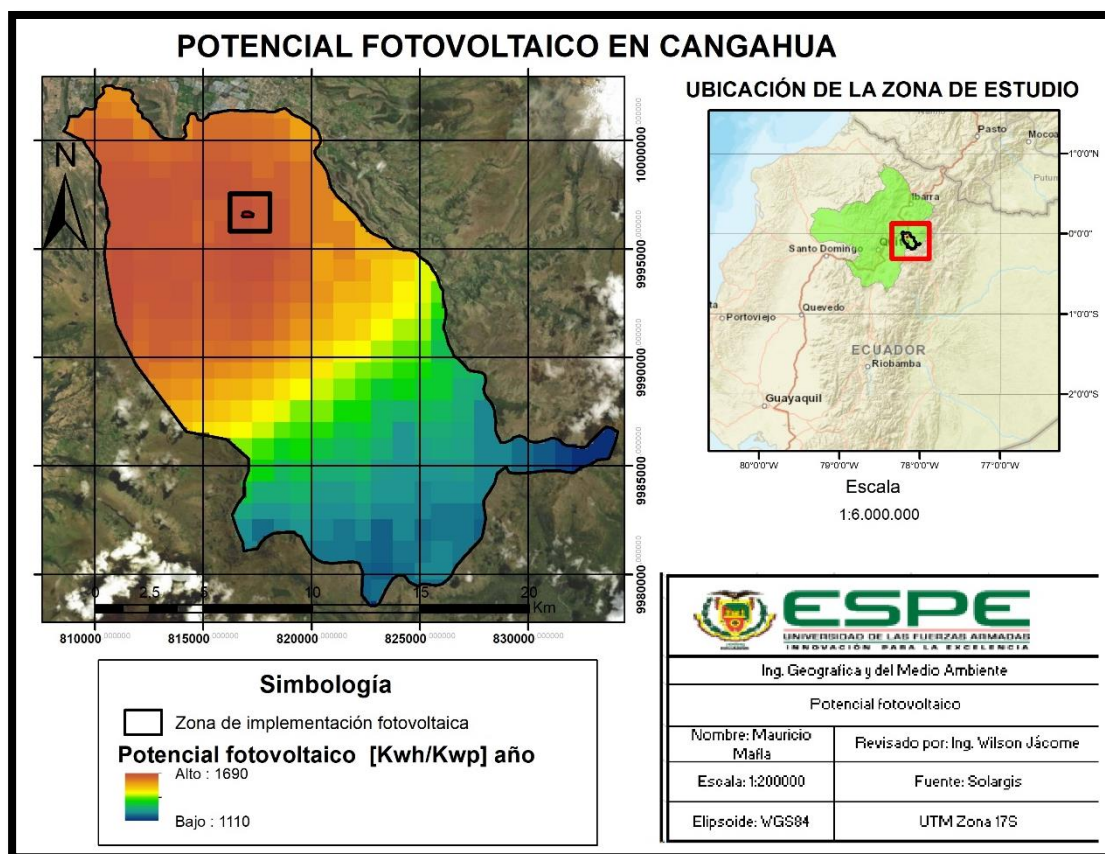


Nota: La figura representa el potencial fotovoltaico en las provincias de Pichincha e Imbabura.

Cálculo del potencial fotovoltaico en la zona de implementación de infraestructura fotovoltaica en Cangahua.

Figura 66

Potencial fotovoltaico en la zona de estudio



Nota: La figura representa el potencial fotovoltaico en la parroquia de Cangahua.

Como se muestra en la figura 66, el mapa de recursos solares proporciona un resumen del potencial estimado de generación de energía solar fotovoltaica (PV). Representa los totales anuales promedios de producción de electricidad de una planta de energía solar fotovoltaica conectada a la red de 1 kW de pico. Los valores de producción de energía teórica específica anual o potencial fotovoltaico anual en toda la parroquia de Cangahua varían desde los 1110 $\frac{kWh}{kWp}$ a los 1690 $\frac{kWh}{kWp}$.

Tabla 33*Potencial fotovoltaico promedio en la zona de estudio*

Valores de potencial	
	fotovoltaico $\left(\frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}\right)$
	1660
	1670
	1680
Promedio	1670

Nota: La tabla representa el potencial fotovoltaico promedio en la zona de estudio.

El potencial fotovoltaico promedio en la zona de implementación fotovoltaica en cangahua es de $1670 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$, como se muestra en la tabla 33. Con una relación de rendimiento del 81,4% y un factor de capacidad del 19%. La inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos es de $0 - 4^{\circ}$ en dirección al sol. Es importante tener en cuenta que la mayoría de las pérdidas de energía son variables en el tiempo y están determinados por la estación del año, la hora del día, las condiciones climáticas y otros efectos (SOLARGIS, 2016).

Discusión

El principal objetivo del trabajo, fue determinar una zonificación para instalaciones fotovoltaicas en tierras afectadas por la erosión en comunidades rurales de las provincias de Pichincha e Imbabura, con información geoespacial y mediante el uso de herramientas de SIG.

La presente investigación busca ser una contribución a las comunidades rurales con problemas de cobertura eléctrica, aportando en la planificación de lugares óptimos de implementación fotovoltaica aislada, aprovechando las zonas improductivas a causa de la erosión a través de mapas temáticos que se desarrollaran en el presente trabajo.

Cambios de cobertura vegetal

La degradación del suelo se incrementa en la sierra ecuatoriana debido a múltiples factores adversos como el minifundio, reducción de la diversidad de especies cultivadas, deficientes prácticas de conservación de suelos, falta de políticas e incentivos para la conservación del suelo.

Se analizó el 67,6% de área total de las provincias de Pichincha e Imbabura donde hubo cambios de cobertura vegetal, esto se debe a factores como la deforestación y el cambio de uso de suelo en donde generalmente se pasa de zonas deforestadas, vegetación herbácea y arbustiva a plantaciones forestales o tierras agropecuaria. Hay programas del ministerio del ambiente que promueve la conservación especialmente de los bosques, esto se debe mantener para frenar el deterioro del medio ambiente.

Zonas óptimas de implementación fotovoltaica y potencial fotovoltaico

El Ecuador es un país con una gran diversidad de características topográficas, de gran variedad climática y condiciones únicas que le otorgan un eminente potencial de energías renovables y limpias y con el aprovechamiento de las áreas improductivas a causa de la erosión, que en el Ecuador progresa significativamente, observándose a lo largo del Callejón Interandino extensas áreas improductivas a causa de este fenómeno

(Gregoire & Trujillo, 1986). No solo se ayudará a solucionar la problemática de cobertura energética, sino al desarrollo de las comunidades rurales.

La electrificación en zonas rurales aún presenta problemas ya que dependen de centrales de generación eléctrica que se encuentran fuera del territorio, hay pocas subestaciones de transmisión de energía eléctrica y además cuentan con escasos proyectos de generación eléctrica aislados o conectados a la red.

La extracción petrolera ha empezado a disminuir debido al agotamiento de las reservas, según una experta de la UAM, el mundo se quedará sin petróleo en 30 años, la producción de energía eléctrica en Ecuador se da a través de energía renovable con 69,4%, principalmente de hidroeléctricas y 30,5% de energía no renovable, especialmente térmica de motores de combustión interna.

En la provincia de Imbabura, las zonas afectadas por tierras erosionadas se concentran en los cantones de Ibarra y Pimampiro mientras que en la provincia de Pichincha las zonas afectadas por tierras erosionadas se concentran en los cantones de Quito, Pedro Moncayo y Cayambe.

De los cantones afectados por tierras erosionadas, el cantón Cayambe presenta más problemas de cobertura y distribución energética, la energía que consume el cantón Cayambe depende de centrales de generación eléctrica que se encuentran fuera del territorio, y que apenas hay una subestación de transmisión de energía eléctrica y además cuenta solo con 1 proyecto de generación eléctrica. Además, en las asambleas parroquiales realizadas durante la elaboración del PDOT cantonal a inicios del 2015, se hace notar que el fluido eléctrico falta en las comunidades distantes ya que las líneas de transmisión eléctrica instaladas en parroquias rurales no abastecen las necesidades locales especialmente en la parroquia de Cangahua que cuenta con un mayor número de comunidades rurales y una mayor problemática energética. Por ese motivo se seleccionó la parroquia de Cangahua para realizar la zonificación de implementación fotovoltaica.

Se estableció que las zonas óptimas de implementación de infraestructura fotovoltaica se localizaron en los cantones de Ibarra y Pimampiro para la provincia de Imbabura. Mientras que en la provincia de Pichincha las zonas óptimas se concentran en los cantones de Pedro Moncayo y Cayambe, estas zonas cuentan con una insolación óptima que permite un correcto y eficiente funcionamiento de paneles fotovoltaicos.

El potencial fotovoltaico en Pichincha e Imbabura tiene valores altos que invitan a desarrollar proyectos y contribuir con el desarrollo regional.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Se analizó el 67,6% de área total de las provincias de Pichincha e Imbabura a través de un estudio de cambio de cobertura vegetal con el uso del índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI) de imágenes satelitales de los años 2016 y 2018. Encontrando que la cobertura vegetal media y abundante aumentó un 6,9%, la vegetación ligera disminuyó en un 6,56% del territorio provincial. Esto se debe a factores como la deforestación y el cambio de uso de suelo en donde generalmente se pasa de zonas deforestadas, vegetación herbácea y arbustiva a plantaciones forestales o tierras agropecuarias, los porcentajes de cambios en cobertura vegetal no son tan significativos como en las décadas anteriores en donde el porcentaje de cambio de uso de suelo en el territorio continental llegaban al 21,1% anual (Sierra, 2013).
- Se estableció que las zonas óptimas de implementación de infraestructura fotovoltaica se localizaron en los cantones de Ibarra y Pimampiro para la provincia de Imbabura. Mientras que en la provincia de Pichincha las zonas óptimas se concentran en los cantones de Pedro Moncayo y Cayambe.
- Se aplicó una encuesta de estratificación socioeconómica en la comunidad rural de Cachicunga del cantón Cayambe, tomando en consideración aspectos como erosión y cobertura eléctrica, la comunidad se ubicó en el grupo socioeconómico C- (medio bajo).
- Se elaboró una metodología para evaluar el potencial fotovoltaico de la zona de implementación de infraestructura fotovoltaica para determinar el rendimiento total

del sistema. Encontrando que el potencial fotovoltaico es de $1670 \frac{\text{kWh}}{\text{kWp}}$ con una relación de rendimiento del 81,4% y un factor de capacidad del 19%.

Recomendaciones

- Se recomienda trabajar con información geográfica más actualizada para poder realizar unos análisis más concluyentes al estado actual de las regiones de interés en la aplicación de los diferentes proyectos.
- Es recomendable la implementación de proyectos fotovoltaicos que permitan el desarrollo local de las comunidades rurales con problemas de cobertura eléctrica con el aprovechamiento de las áreas improductivas a causa de la erosión.
- Para desarrollar un análisis más minucioso se recomienda realizar un muestreo del suelo, y determinar las condiciones del mismo para desarrollar estrategias de recuperación de suelo erosionado o para realizar proyectos con energías renovables aprovechando las regiones improductivas.

Bibliografía

- Ambrosio, G., González, J., & Arévalo, V. (2009). Detección de cambios temporales. *Málaga, España. Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática. Universidad de Málaga*, 1–6.
- Basterra, L., & Legarza, C. (2017). *Instalaciones fotovoltaicas aisladas y conectadas a la red eléctrica*.
- Bernal, G. (2010). Evaluación de la pérdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río alumbre, provincia Bolívar, Ecuador. *Intituto Agropecuario Superior Andino, Escuela Politecnica Del Ejercito*, 17–19.
- Bernal Gomez, G. (2006). La microbiología de suelos en el Ecuador. *X Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 1–12.
- BID. (2016). *Plan nacional de eficiencia energética 2016-2035*.
- Byrne, J., Taminiu, J., Kurdgelashvili, L., & Kim, K. N. (2015). A review of the solar city concept and methods to assess rooftop solar electric potential, with an illustrative application to the city of Seoul. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 830–844. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.023>
- Cadena, A. (2009). Guía para la preparación de anteproyectos de energía solar fotovoltaica. *Epn*.
- Capa, C. (2013). Análisis regulatorio de la energía fotovoltaica. *Universidad Católica de Cuenca*.
- Chaparro, H. (2017). Análisis multitemporal de cambios en la cobertura vegetal de Paz de Ariporo, Casanare mediante el uso de sistemas de información geográfica. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 01*, 1–7. <http://www.albayan.ae>
- Chica, D., & Espinoza, C. (2014). Plan para la estructuración y difusión de la información de la cadena de abastecimiento del sector de energías renovables. *ESPOL*.
- Cisneros, F. (2009). *La investigación científica en la ciencia del suelo en enfoque de sistemas para el manejo sostenible de los recursos agua y suelo*. 1–16.
- CONELEC. (2008). Atlas solar del ecuador. *Conelec*, 1–51.
- CONELEC. (2013). Plan maestro de electrificación 2013 - 2022. *Estudio y Gestión de La*

Demanda Eléctrica, 1, 5–24.

Constante Segura, J., & Palacios Chacón, E. (2014). *El recurso solar para generación de energía*.

Constitución del Ecuador. (2008). Constitución del Ecuador. *Registro Oficial*, 20 de Octubre, 173. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

D'Oleire-Oltmanns, S., Marzloff, I., Peter, K. D., & Ries, J. B. (2012). Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sensing*, 4(11), 3390–3416. <https://doi.org/10.3390/rs4113390>

De Marchi, M., Pappalardo, S., & Ferrarese, F. (2011). *Zona intangible tagaeri taromenane (zitt): una, ninguna, cien mil*.

Díaz Montejó, J. M., López Vizoso, J. M., Martín Isabel, M. P., Martínez Vega, J., & Muñoz Recio, F. J. (2010). Guía didáctica de Teledetección y Medio Ambiente. *Red Nacional de Teledetección Ambiental*, 124.

EUROSOLAR. (2015). *Eurosolar Ecuador, informe país*. 1–24.

FAO. (2015). *La “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación u la Agricultura” y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible*. 1–8.

Finder. (2011). *Energías Renovables*. 1–8.

GAD Cangahua. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Cangahua*. 227.

GAD Cayambe. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia de Cayambe*. 1–339.

GAD Imbabura. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la provincia de Imbabura*. 306.
http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1160000160001_Diagn?stico15052015_15-05-2015_14-16-18.pdf%5Cnhttp://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1160000160001_Diagn?stico15052015_15-05-

GAD Pichincha. (2015). *Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial del gobierno parroquial de Tambillo*. 349.

GEODIM, S. (2017). *Satélite Sentinel 2A*. 2–3.

- Gonzaga, C. (2015). Aplicación de índices de vegetación derivados de imágenes satelitales para análisis de coberturas vegetales en la provincia de Loja , Ecuador. *Cedamaz*, 5(1), 30–41. <http://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/43/41>
- González, J. A., Rufino, H., Riba, L., & Cobo, E. (2014). Tamaño muestral. *Departament d'Estadística i Investigació Operativa - Universitat Politècnica de Catalunya*, 1–38.
- Gregoire, I., & Trujillo, G. (1986). La erosión en el Ecuador. *La Erosión En El Ecuador*, 79–88.
- Gutiérrez, F. (2018). *La energía eléctrica fotovoltaicos y el sistema eléctrico de potencia*.
- Gutiérrez, J. (2018). *Metodología para la localización óptima de instalaciones de energía solar fotovoltaica en la isla de Tenerife, España*.
- INEC. (2011). *Survey for stratification of socioeconomical level*. 37. http://www.ecuadorencifras.gob.ec//documentos/web-inec/Estadisticas_Sociales/Encuesta_Estratificacion_Nivel_Socioeconomico/111220_NSE_Presentacion.pdf
- Jerez, M. (2012). *Propuesta del uso de una parte de los fondos Yasuní para la implementación de energía renovable en ecuador al horizonte 2030*.
- Juan, P., Emérita, D., Benitez, A., Neira, A., & Aveiga, G. (2016). *la Isla de Cerrito de los Morreños en el Golfo de Guayaquil -Ecuador*. July, 20–22. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2016.1.1.276>
- Larrea, C. (2012). *¿Es sustentable la política energética en el Ecuador?*
- MAAE. (2010). Reservas de Biosfera del Ecuador: Lugares Excepcionales. *Ministerio Del Ambiente*, 1.
- MAAE. (2015). *Tulsma, Libro Vi, Anexo I. tabla 3*, 12–60. <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf>
- MAAE. (2016a). *Áreas protegidas del Ecuador*. 1.
- MAAE. (2016b). *Resumen programa socio bosque*. 2. [http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Resumen programa socio bosque enero 2016.pdf](http://sociobosque.ambiente.gob.ec/files/Resumen_programa_socio_bosque_enero_2016.pdf)
- Merg, P. C., Petri, D., Bodoira, F., Nini, M., Fernández, M., Schmidt, F., Montalva, R.,

- Guzmán, L., Rodríguez, K., & Blanco, F. (2011). *Maps of rainfall, standardized precipitation index and vegetation index*. 1–11.
- Michael, J. J., S, I., & Goic, R. (2015). Flat plate solar photovoltaic-thermal (PV/T) systems: A reference guide. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 62–88. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.06.022>
- Muñoz, J., Rojas, M., & Barreto, C. (2018). Incentive Pertaining To Energy the Generation Distributed in Ecuador. *Ingenius-Revista De Ciencia Y Tecnologia*, 19, 60–68. <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>
- Muñoz, P. (2013). Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación. *Centro de Información de Recursos Naturales*, 15. <https://doi.org/http://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/26389/Tema%20Indices%20de%20vegetaci%C3%B3n%2C%20Pedro%20Mu%C3%B1oz%20A.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Najafi, G., Ghobadian, B., Mamat, R., Yusaf, T., & Azmi, W. H. (2015). Solar energy in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 931–942. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.056>
- OLADE. (2015). *Estado actual de la energía solar fotovoltaica en latinoamérica y el caribe*.
- Osorio Gómez, J., & Orejuela Cabrera, J. (2008). El proceso de análisis jerárquico (AHP) y la toma de decisiones multicriterio. Ejemplo de aplicación. *Scientia et Technica*, 2(39), 247–252. <https://doi.org/10.22517/23447214.3217>
- Pachano, A. M. (2008). *La investigación y desarrollo de energías renovables en el Ecuador*.
- Pelayo López, J. A., Luna Soto, A., Bernabe Ramos, F., & Guzmán Flores, B. (2018). Comparativa de la eficiencia entre un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y un sistema fotovoltaico fijo / Comparison between a photovoltaic solar tracker efficiency and a fixed photovoltaic system. *CIBA Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, 7(13), 105–129. <https://doi.org/10.23913/ciba.v7i13.76>
- Pimentel, D. (2006). Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8(1), 119–137. <https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8>

- Policy, A. G. F. O. R., Barbier, B. Y. E. B., Acreman, M., Knowler, D., & Bureau, R. C. (1997). *Economic valuation of wetlands*.
- Puente, C. (1998). *La legislación de los bosques y vegetación protectores privados en el Ecuador, y su relación con las normas vinculadas a la función social de la propiedad*. 81–96.
- Robles, P., & Rojas, M. del C. (2015). *La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada*.
- Romero. A. (2012). *Estudio De La Pérdida Del Recurso Suelo Mediante El Cálculo De Tasas De Erosión Y Propuesta De Estrategias De Manejo De Suelos, Determinadas Por Las Características Socio-Ambientales De Los Andes Ecuatorianos*. 136.
- Romero, J. (2015). Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 1, 1–24.
- Saaty, R. W. (1987). The analytic hierarchy process-what it is and how it is used. *Mathematical Modelling*, 9(3–5), 161–176. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)
- Saaty, T. L., & Shang, J. S. (2011). An innovative orders-of-magnitude approach to AHP-based multi-criteria decision making: Prioritizing divergent intangible humane acts. *European Journal of Operational Research*, 214(3), 703–715. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.05.019>
- Saaty, T. L., & Shih, H. S. (2009). Structures in decision making: On the subjective geometry of hierarchies and networks. *European Journal of Operational Research*, 199(3), 867–872. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.064>
- Sierra, R. (2013). Patrones y Factores de Deforestación en el Ecuador Continental, 1990-2010. Y un Acercamiento a los Próximos 10 Años. *Conservación Internacional Ecuador y Forest Trends*, 98. <https://doi.org/71/1/3> [pii]\n10.1158/0008-5472.CAN-10-2483
- SOLARGIS. (2016). *Energy yield assessment of the photovoltaic power plant*.
- UEGPS. (2018). Metodología para clasificación de coberturas a partir del procesamiento de imágenes satelitales. *Mejoramiento Del Sistema de Información Estadística Agraria y Del Servicio de Información Agraria Para El Desarrollo Rural Del Perú*, 5,

110. <https://doi.org/10.1017/cjn.2014.24>

Urdiales, L., & Espinoza, J. L. (2015). Energía solar en el Ecuador. In *ResearchGate* (Issue January).

Velasco, G. F. (2008). *Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura*.

Vera-romero, O. E., & Vera-romero, F. M. (2013). *Evaluation of the socioeconomic status: presentation of a scale adapted in a population from Lambayeque*. 6(1), 41–45.

Widén, J., Carpman, N., Castellucci, V., Lingfors, D., Olauson, J., Remouit, F., Bergkvist, M., Grabbe, M., & Waters, R. (2015). Variability assessment and forecasting of renewables: A review for solar, wind, wave and tidal resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 356–375.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.12.019>

Zaruma, M. (2012). *Ecuador como oferta turística del patrimonio natural*.

Zuñiga, H. (2010). *La pendiente compleja atributo del territorio, útil en el ordenamiento espacial del municipio*.

Anexos