

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 1 de 7

16.

FECHA	martes, 23 de febrero de 2021
--------------	-------------------------------

Señores
UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA
 BIBLIOTECA
 Ciudad

UNIDAD REGIONAL	Seccional Girardot
TIPO DE DOCUMENTO	Trabajo De Grado
FACULTAD	Ciencias Agropecuarias
NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO	Pregrado
PROGRAMA ACADÉMICO	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):


APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS	No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN
Hernández Méndez	Laura Maleny	1072431742
Valbuena Rodríguez	María Alejandra	1070626870

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

APELLIDOS COMPLETOS	NOMBRES COMPLETOS
Cruz Cuellar	Héctor Fabio

Diagonal 18 No. 20-29 Fusagasugá – Cundinamarca
 Teléfono: (091) 8281483 Línea Gratuita: 018000180414
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 2 de 7

TÍTULO DEL DOCUMENTO

Determinación de zonas aptas para el uso de paneles solares, a través de análisis espaciales en el Alto Valle del Magdalena (Col).

SUBTÍTULO

(Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía

INGENIERO AMBIENTAL

AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO


19/02/2021

NÚMERO DE PÁGINAS

130

DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS (Usar 6 descriptores o palabras claves)

ESPAÑOL	INGLÉS
1. Energía renovable	Renewable energy
2. Radiación solar	Solar radiation
3. Paneles solares	Solar panels
4. Análisis espacial	Spatial analysis
5. Zona rural	Rural area
6. Variables espaciales	Spatial variables

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 3 de 7

RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):


La identificación de zonas ideales para implementar energías renovables aprovechando la luz solar, es un aspecto clave para fomentar el buen uso de los recursos naturales y al mismo tiempo generar conciencia frente a los beneficios tanto ambientales como socioeconómicos que trae el uso de ellas. Por esta razón, surge la inquietud de determinar cuáles son las zonas más idóneas del alto valle del Magdalena, para implementar energía renovable de la cual se vean beneficiados principalmente las comunidades del sector rural, que son quienes presentan más problemas con la prestación del servicio de energía, y en algunas ocasiones no tiene los recursos necesarios para adquirirlo, por esta razón se plantea aprovechar como fuente de energía el sol, que permite satisfacer las necesidades básicas y al mismo tiempo no generar un impacto negativo al ecosistema.

La zonificación de dichas áreas permitirá que organizaciones tanto del sector público y privado que pretendan llevar a cabo proyectos sostenibles, tengan la facilidad de conocer los mejores lugares del alto valle del Magdalena para establecer un sistema de paneles. Puesto que, para llevar a cabo este proyecto se tiene que realizar la investigación de las condiciones bioclimáticas, tipos de coberturas de la región y las poblaciones a beneficiar, teniendo en cuenta la radiación solar como eje fundamental en el desarrollo de esta investigación; proyecto, el cual, se llevara a cabo por medio de Sistemas de Información Geográfica, que a través de imágenes satelitales y bioclimáticas predominantes de la zona, permitan realizar análisis que demuestren la alta capacidad que presenta el Alto Valle del Magdalena para implementar energías limpias, que no solo benefician a las poblaciones rurales, sino que generan un avance tanto tecnológico como económico y a la vez brinda una solución a la contaminación ambiental que se genera en parte como consecuencia de utilizar electricidad a partir de fuentes convencionales.

ABSTRACT

The identification of ideal areas to implement renewable energies taking advantage of sunlight, is a key aspect to promote the good use of natural resources and at the same time raise awareness of the environmental and socioeconomic benefits that their use brings. For this reason, the concern arises to determine which are the most suitable areas of the upper Magdalena Valley, to implement renewable energy from which the communities of the rural sector benefit mainly, who are the ones who present more problems with the provision of the service of energy, and on some occasions it does not have the necessary resources to acquire it, for this reason it is proposed to take advantage of the sun as an energy source, which allows to satisfy basic needs and at the same time not generate a negative impact on the ecosystem.

The zoning of these areas will allow organizations from both the public and private sectors that intend to carry out sustainable projects, have the facility to know the best places in the upper Magdalena Valley to establish a panel system. Since, to carry out this project, an investigation of the bioclimatic conditions, types of coverage of the region and the populations to benefit must be carried out, taking into account solar radiation as a fundamental axis in the development of this research project, which will be carried out through Geographic Information Systems, which, through satellite images and predominant bioclimatic images of the area, allow analysis to demonstrate the high capacity of the Upper Magdalena Valley to implement clean energy, that not only benefit rural populations, but also

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 4 de 7

generate both technological and economic advancement and at the same time provide a solution to the environmental pollution that is generated in part as a consequence of using electricity from conventional sources.

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":

AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	X	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es)

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 5 de 7

de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaremos (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

Información Confidencial:

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI ___ NO X.**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

LICENCIA DE PUBLICACIÓN

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

- a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).
- b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

 UDECA UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 6 de 7

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el "Manual del Repositorio Institucional AAAM003"

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.




j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



Nota:

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

	MACROPROCESO DE APOYO	CÓDIGO: AAAR113
	PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO	VERSIÓN: 4
	DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL	VIGENCIA: 2020-12-10
		PAGINA: 7 de 7

Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)	Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)
1. DETERMINACIÓN DE ZONAS APTAS PARA EL USO DE PANELES SOLARES, A TRAVÉS DE ANÁLISIS ESPACIALES EN EL ALTO VALLE DEL MAGDALENA (COL).pdf	Texto, imagen, mapas

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS	FIRMA (autógrafo)
HERNÁNDEZ MÉNDEZ LAURA MALENY	Laura M. Hernandez M.
VALBUENA RODRÍGUEZ MARÍA ALEJANDRA	María Alejandra Valbuena Rodríguez

21.1-51.20

DETERMINACIÓN DE ZONAS APTAS PARA EL USO DE PANELES SOLARES, A
TRAVÉS DE ANÁLISIS ESPACIALES EN EL ALTO VALLE DEL MAGDALENA (COL).

LAURA MALENY HERNÁNDEZ MENDEZ

CÓDIGO 363216128

MARÍA ALEJANDRA VALBUENA RODRÍGUEZ

CÓDIGO 363216168

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA – SECCIONAL GIRARDOT

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

GIRARDOT

2021

DETERMINACIÓN DE ZONAS APTAS PARA EL USO DE PANELES SOLARES, A
TRAVÉS DE ANÁLISIS ESPACIALES EN EL ALTO VALLE DEL MAGDALENA (COL).

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO FINAL PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AMBIENTAL

LAURA MALENY HERNÁNDEZ MENDEZ

CÓDIGO 363216128

MARÍA ALEJANDRA VALBUENA RODRÍGUEZ

CÓDIGO 363216168

DIRECTOR:

BIOL. M.SC. EN GEOMÁTICA HÉCTOR FABIO CRUZ CUELLAR

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA – SECCIONAL GIRARDOT

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL

GIRARDOT, CUNDINAMARCA

2021

Notas de aceptación

Firma del director de trabajo de grado

Firma de jurado

Firma de jurado

DEDICATORIAS

A Dios por darme la sabiduría y la oportunidad de alcanzar este logro, a mis padres por todo el esfuerzo que han hecho por brindarme una carrera profesional, por su apoyo incondicional que sin importar las circunstancias estaban presentes y hacían lo posible por ayudarme a salir adelante, a mi hermana porque siempre estuvo atenta y me apoyo en las decisiones que tome y a mis amigos que siempre tuvieron la disposición de colaborarme.

Laura Maleny Hernández Méndez

A Dios principalmente por darme la oportunidad de haber terminado este camino, a mi mamá que es mi mayor fuerza, quien estuvo apoyándome durante todo este tiempo y lucho conmigo por seguir adelante cuando sentía que todo era muy difícil y a mi abuela, que es mi ángel, que gracias a ella estoy acá, terminando mi carrera universitaria, a quien le dedico mi mayor logro hasta este momento de mi vida, agradeciendo todo su amor y comprensión para siempre sentirme protegida y no olvidar porque inicie este camino.

María Alejandra Valbuena Rodríguez

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios por permitir que lográramos terminar esta etapa universitaria de una manera exitosa, cumpliendo con todos nuestros propósitos y alcanzando la primera de muchas metas que tenemos proyectadas para nuestro futuro. A nuestros padres Manuela Méndez, Pedro Hernández y Helena Rodríguez, Fredy Valbuena por siempre estar presentes y ser un apoyo incondicional durante toda nuestra carrera, quienes se esforzaron por brindarnos la oportunidad de tener una carrera profesional y lucharon para que llegara el momento de ser unas excelentes profesionales.

A la Universidad de Cundinamarca por abrir sus puertas y recibirnos para formarnos como profesionales, inculcando todos los valores éticos que debemos tener como ingenieras y brindándonos todos los conocimientos necesarios para iniciar nuestra vida laboral. A nuestro Director de tesis el docente Héctor Fabio Cruz, por su entusiasmo y compromiso con nuestro proyecto, siempre teniendo la mejor disposición para atender cualquier duda o inquietud logrando un proyecto muy bien elaborado.

A nuestra compañera Karoll Mateus Daza que fue nuestra amiga durante toda nuestra carrera, con quien compartimos muchos momentos de aprendizajes, risas, nervios, desesperaciones, alegrías y tristezas. Quien fue de gran apoyo y con la cual estamos muy felices de terminar este proceso juntas, siempre la llevaremos en nuestros corazones por formar esta gran amistad.

RESUMEN

La identificación de zonas ideales para implementar energías renovables aprovechando la luz solar, es un aspecto clave para fomentar el buen uso de los recursos naturales y al mismo tiempo generar conciencia frente a los beneficios tanto ambientales como socioeconómicos que trae el uso de ellas. Por esta razón, surge la inquietud de determinar cuáles son las zonas más idóneas del alto valle del Magdalena, para implementar energía renovable de la cual se vean beneficiados principalmente las comunidades del sector rural, que son quienes presentan más problemas con la prestación del servicio de energía, y en algunas ocasiones no tiene los recursos necesarios para adquirirlo, por esta razón se plantea aprovechar como fuente de energía el sol, que permite satisfacer las necesidades básicas y al mismo tiempo no generar un impacto negativo al ecosistema.

La zonificación de dichas áreas permitirá que organizaciones tanto del sector público y privado que pretendan llevar a cabo proyectos sostenibles, tengan la facilidad de conocer los mejores lugares del alto valle del Magdalena para establecer un sistema de paneles. Puesto que, para llevar a cabo este proyecto se tiene que realizar la investigación de las condiciones bioclimáticas, tipos de coberturas de la región y las poblaciones a beneficiar, teniendo en cuenta la radiación solar como eje fundamental en el desarrollo de esta investigación proyecto, el cual, se llevara a cabo por medio de Sistemas de Información Geográfica, que a través de imágenes satelitales y bioclimáticas predominantes de la zona, permitan realizar análisis que demuestren la alta capacidad que presenta el Alto Valle del Magdalena para implementar energías limpias, que no solo benefician a las poblaciones rurales, sino que generan un avance tanto tecnológico como económico y a la vez brinda una solución a la contaminación

ambiental que se genera en parte como consecuencia de utilizar electricidad a partir de fuentes convencionales.

PALABRAS CLAVES: Energía renovable, radiación solar, paneles solares, análisis espacial, zona rural.

ABSTRACT

The identification of ideal areas to implement renewable energies taking advantage of sunlight, is a key aspect to promote the good use of natural resources and at the same time raise awareness of the environmental and socioeconomic benefits that their use brings. For this reason, the concern arises to determine which are the most suitable areas of the upper Magdalena Valley, to implement renewable energy from which the communities of the rural sector benefit mainly, who are the ones who present more problems with the provision of the service of energy, and on some occasions it does not have the necessary resources to acquire it, for this reason it is proposed to take advantage of the sun as an energy source, which allows to satisfy basic needs and at the same time not generate a negative impact on the ecosystem.

The zoning of these areas will allow organizations from both the public and private sectors that intend to carry out sustainable projects, have the facility to know the best places in the upper Magdalena Valley to establish a panel system. Since, to carry out this project, an investigation of the bioclimatic conditions, types of coverage of the region and the populations to benefit must be carried out, taking into account solar radiation as a fundamental axis in the development of this research project, which will be carried out through Geographic Information Systems, which, through satellite images and predominant bioclimatic images of the area, allow analysis to demonstrate the high capacity of the Upper Magdalena Valley to implement clean energy, that not only benefit rural populations, but also generate both technological and economic advancement and at the same time provide a solution to the environmental pollution that is generated in part as a consequence of using electricity from conventional sources.

KEY WORDS: Renewable energy, solar radiation, solar panels, spatial analysis, rural area.

Tabla de contenido

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
3.	JUSTIFICACIÓN	5
4.	OBJETIVOS	7
	4.1 Objetivo General.....	7
	4.2 Objetivos Específicos.....	7
5.	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	7
6.	MARCO REFERENCIAL	8
	6.1 Antecedentes.....	8
	6.2 Marco Teórico	9
	6.3 Marco Legal.....	12
7.	DISEÑO METODOLOÓGICO.....	18
	7.1 Área de estudio	18
	7.2 Universo, población y muestra	22
	7.3 Recursos Humanos.....	23
	7.4 Recursos Institucionales	23
	7.5 Infraestructura y Equipos	23
	7.6 Físico, logístico y/o técnico.....	23
	7.7 Metodología.....	24

7.7.1 Objetivo 1	24
7.7.2 Objetivo 2	30
7.7.3 Objetivo 3	57
8. RESULTADOS	60
8.2 Zonas de mayor incidencia de radiación solar	73
8.2 Combinación de bandas espectrales.....	76
8.3 Método Directo.....	78
8.4 Comparaciones de Pairwise (Pares de Saaty).....	79
8.5 Ponderación de criterios	83
8.6 Municipios idóneos para implementar sistemas de paneles solares	84
8.7 Efectos positivos de un sistema de paneles solares	105
8.8. Efectos negativos de un sistema de paneles solares.....	106
8.9 Método matricial de Gómez Orea	107
8.10 Impactos Socioeconómicos	108
9. CONCLUSIONES	109
10. RECOMENDACIONES	110
11. BIBLIOGRAFÍA	112

Tabla de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Esquema de las energías renovables procedentes de la transformación de la energía solar.....</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 2 Tabla de las propiedades de la capa de Radiación</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 3 Tabla de las propiedades de la capa de Temperatura.....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 4 Clasificación Radiación.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 5 Intersección capa de municipios y radiación.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 6 Delimitación del Área de estudio en la plataforma EarthExplorer</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 7 Software ARGIS – Corrección atmosférica</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 8 Comparación imagen satelital real e imagen con las 13 bandas espectrales</i>	<i>33</i>
<i>Ilustración 9 Mosaico imágenes satelitales Sentinel 2 con el polígono del área de estudio. ...</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 10 Esquema de banda espectral Color Natural</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 11 Esquema de banda espectral Vegetación saludable.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 12 Esquema de banda espectral Tierra y Agua</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 13 Esquema de banda espectral Falso color urbano</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 14 Área de estudio con los polígonos para cada tipo de cobertura.....</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 15 Área de estudio clasificada por tipos de coberturas</i>	<i>40</i>

Tablas

<i>Tabla 1 Marco Legal</i>	13
<i>Tabla 2 Herramientas geográficas utilizadas en el desarrollo del proyecto.</i>	25
<i>Tabla 3 Combinaciones de bandas con imágenes Sentinel - 2</i>	35
<i>Tabla 4 Clasificación general de la Radiación</i>	41
<i>Tabla 5 Clasificación general de la precipitación.</i>	42
<i>Tabla 6 Clasificación general de la Temperatura</i>	43
<i>Tabla 7 Clasificación general de la Pendiente</i>	44
<i>Tabla 8 Clasificación general de las Coberturas</i>	45
<i>Tabla 9 Clasificación general del Índice de Vegetación Normalizada</i>	51
<i>Tabla 10 Clasificación aspecto del terreno</i>	52
<i>Tabla 11 Rangos de la ponderación</i>	53
<i>Tabla 12 Variables y ponderaciones para el análisis multicriterio</i>	53
<i>Tabla 13 Análisis jerárquico de Tomas Saaty</i>	56
<i>Tabla 14 Parámetros de medición del método matricial</i>	58
<i>Tabla 15 Clasificación de la Radiación de acuerdo al área de estudio</i>	63
<i>Tabla 16 Clasificación de la Precipitación de acuerdo al área de estudio</i>	64
<i>Tabla 17 Clasificación de la Temperatura de acuerdo al área de estudio</i>	65
<i>Tabla 18 Clasificación de las Pendientes de acuerdo al área de estudio</i>	66
<i>Tabla 19 Clasificación del NDVI de acuerdo al área de estudio</i>	67
<i>Tabla 20 Clasificación del Aspecto de acuerdo al área de estudio</i>	68
<i>Tabla 21 Clasificación de las Coberturas de acuerdo al área de estudio</i>	69
<i>Tabla 22 Categorías clasificación de la radiación</i>	74
<i>Tabla 23 Municipios con mayor incidencia de radiación solar</i>	74

<i>Tabla 24 Propiedades de las imágenes Sentinel – 2</i>	77
<i>Tabla 25 Resultado Método directo</i>	79
<i>Tabla 26 Peso de cada variable por el método directo</i>	79
<i>Tabla 27 Clasificación respuestas Experto 1</i>	80
<i>Tabla 28 Matriz normalizada Experto 1</i>	80
<i>Tabla 29 Clasificación respuestas Experto 2</i>	80
<i>Tabla 30 Matriz normalizada Experto 2</i>	81
<i>Tabla 31 Clasificación respuestas Experto 3</i>	81
<i>Tabla 32 Matriz normalizada Experto 3</i>	81
<i>Tabla 33 Clasificación respuestas Experto 4</i>	82
<i>Tabla 34 Matriz normalizada Experto 4</i>	82
<i>Tabla 35 Clasificación respuestas Experto 5</i>	82
<i>Tabla 36 Matriz normalizada Experto 5</i>	82
<i>Tabla 37 Resultados del Método de AHP</i>	83
<i>Tabla 38 Peso total de cada variable</i>	83
<i>Tabla 39 Representatividad municipios</i>	86
<i>Tabla 40 Matriz de Gómez Orea</i>	107

Tabla de Mapas

<i>Mapa 1. Alto Valle del Magdalena.....</i>	<i>18</i>
<i>Mapa 2. Tipo de erosión en los municipios ribereños del Magdalena</i>	<i>21</i>
<i>Mapa 3. Área de estudio delimitada.....</i>	<i>26</i>
<i>Mapa 4. Departamentos - Municipios zona de estudio</i>	<i>60</i>
<i>Mapa 5. Mapa de elevación digital.....</i>	<i>62</i>
<i>Mapa 6. Radiación del área de estudio.....</i>	<i>63</i>
<i>Mapa 7. Precipitación área de estudio.....</i>	<i>64</i>
<i>Mapa 8. Temperatura del área de estudio.....</i>	<i>65</i>
<i>Mapa 9. Pendientes del área de estudio</i>	<i>66</i>
<i>Mapa 10. NDVI del área de estudio</i>	<i>67</i>
<i>Mapa 11. Aspecto del área de estudio.....</i>	<i>69</i>
<i>Mapa 12. Coberturas del área de estudio</i>	<i>72</i>
<i>Mapa 13. Intersección Radiación Solar - Municipios.....</i>	<i>73</i>
<i>Mapa 14. Zonas idóneas para implementar un sistema de paneles solares.....</i>	<i>84</i>
<i>Mapa 15. Clasificación zonas aptas para implementar energía solar</i>	<i>85</i>
<i>Mapa 16. Municipios idóneos para implementar paneles solares.....</i>	<i>104</i>

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo científico, tecnológico y económico requiere altas demandas de energía en la actualidad, por ende se cree que el gasto energético aumente de forma exponencial, debido al crecimiento de la población y la calidad de vida, además, la era digital y de las comunicaciones esta cimentada sobre un alto consumo energético, lo que supone un problema a nivel mundial y la necesidad urgente de realizar esfuerzos por investigar sobre energías renovables, de tal forma que permita mitigar los vestigios que el ser humano ha dejado al abusar de los recursos de origen fósil (Ballesteros, 2016).

Es importante tener en cuenta que los recursos energéticos son de tres tipos: los de origen fósil como el petróleo, carbón y gas; las energías renovables ya sea solar, eólica, biomasa, geotérmica e hidráulica y las energías nucleares. Cabe resaltar que para el desarrollo de este trabajo se hablará de energías renovables las cuales se consideran como aquellas que se generan a partir de procesos naturales que pueden ser reintegrados de forma continua, dichos procesos se refieren a la luz solar, el viento, el calor de la tierra, las mareas, los cuerpos de agua y las distintas manifestaciones de la biomasa; Transformándose posteriormente en energía eléctrica que se podrá usar de manera directa en la red de suministro eléctrico con el fin de satisfacer la demanda de una población, esta energía puede considerarse inagotable y de constante renovación (Ballesteros, 2016).

Estas energías renovables resultan atractivas para los sistemas eléctricos de países que cuentan con las condiciones naturales e idóneas para su incorporación. Colombia es un país que cuenta con gran cantidad de recursos naturales, lo que le ha permitido obtener energía a partir de fuentes renovables. Sin embargo, estas alternativas no tienen la suficiente importancia en el país, lo que conlleva a que no se genere un aprovechamiento de estos recursos, disminuyendo la

posibilidad de brindar soluciones en zonas donde serían de gran utilidad. La generación de electricidad con energía solar empleando sistemas fotovoltaicos ha estado siempre dirigida al sector rural, en donde los altos costos de generación originados principalmente en el precio de los combustibles, y los costos de Operación y Mantenimiento en las distantes zonas remotas, hacen que la generación solar resulte más económica en el largo plazo y confiable. Estas actividades surgieron con el Programa de Telecomunicaciones Rurales de Telecom a comienzos de los años 80, con la asistencia técnica de la Universidad Nacional (Murcia, 2008).

Por otro lado, la falta de energía dentro del territorio rural incide de manera negativa en las condiciones de calidad de vida de los habitantes rurales e igualmente dificulta el desarrollo de las actividades domésticas y la productividad agropecuaria, labores que influyen en el desarrollo rural. Por esta razón, es importante conocer que zonas del Alto Valle del Magdalena cuentan con las características idóneas para implementar alternativas sostenibles, con el fin de disminuir las dificultades que presentan comunidades rurales mejorando su calidad de vida.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acceso a la energía eléctrica es una problemática que aún se presenta como uno de los grandes retos para la humanidad, debido a que, la electricidad influye de forma relevante en el desarrollo de las distintas comunidades y actualmente existe un elevado número de personas sin este servicio. Se estima que a inicios del 2015 hay cerca de 1.100 millones de personas sin electricidad a nivel mundial y unos 3.000 millones de personas que cocinan con combustibles contaminantes (Rondo Florez, Bedoya Pierro, & Quitora Mendoza, 2017).

Llevar energía a poblaciones rurales aisladas no ha sido una labor fácil y mucho menos ágil. Las dificultades en el acceso a las zonas y la dispersión de sus habitantes, unido al débil planeamiento de los países para cubrir la demanda y la escasa regulación, han hecho que los indicadores de cobertura de electricidad no sean los deseados. Para resolver el problema se necesita el compromiso y la comunión de los gobiernos nacionales, las empresas privadas y las comunidades beneficiarias (Semana Sostenible, 2016). Por ende, si no se cuenta con el apoyo necesario no se tendrían soluciones, lo que genera limitaciones que impiden un adecuado desarrollo de las poblaciones y la posibilidad de mejorar su calidad de vida, aumentando los índices de desigualdad.

Como es el caso de la vereda Pringamosal Los Pasos del municipio del Guamo Tolima, donde los habitantes presentan diversas problemáticas asociadas a la falta del servicio eléctrico, entre ellos el de la salud, al no refrigerarse los alimentos se generan enfermedades gastrointestinales tales como, diarreas, vómitos o fiebre. La inseguridad es otra problemática, al no contar con alumbrado en los alrededores de sus hogares aumentan los hurtos; Por último se tiene el tema de la educación, pues se afectan directamente el aprendizaje de los jóvenes de la región al no contar

con este servicio, ya que no se tendrían las condiciones adecuadas para llevar a cabo las jornadas académicas (Rojas, 2016).

Por esta razón se hace necesario realizar análisis espaciales para determinar las zonas más idóneas, teniendo en cuenta, las características geomorfológicas y climáticas del terreno, haciendo uso de los Sistemas de información Geográfica, con el fin de realizar estudios a mejor escala sobre la región, siendo además una herramienta que va a permitir tomar mejores decisiones a la hora de plantear un sistema de paneles solares.

3. JUSTIFICACIÓN

Con el fin de dotar a las familias con servicio eléctrico se hace necesario cubrir la demanda mediante sistemas de generación fotovoltaica. Colombia cuenta con un potencial positivo de energía solar fotovoltaica frente al resto del mundo; aunque se presentan variaciones, los datos evidencian que en todo el territorio el promedio de irradiación solar es alto. El mayor potencial en Colombia se encuentra en las regiones de la Costa Atlántica y Pacífica, la Orinoquía y la Región Central (Gómez Ramírez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2017). En un caso específico, el departamento del Tolima según el director de Cortolima Jorge Enrique Cardoso cuenta con aproximadamente 117 mil hectáreas aptas para implementar actividades con proyectos de energía solar fotovoltaica, actualmente estas tierras son usadas para la ganadería extensiva y como potreros de pastos bajos, por lo que no están produciendo ningún valor agregado.

Motivo por el cual, esta investigación se crea una propuesta de aprovechamiento de energía solar para las zonas aptas del alto valle del Magdalena, considerando la escasez del recurso y la oportunidad de contribuir al uso de nuevas formas de generación de energía eléctrica sostenible para la población.

La implementación de energía fotovoltaica mejoraría el estado del medio ambiente, por la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y la disminución de los costos operacionales de las empresas que decidan invertir en la implementación de este tipo de sistemas. Además, con el uso de esta fuente alternativa de energía se eliminaría la utilización de combustibles fósiles y no se dependería solo del nivel de los embalses en las hidroeléctricas, ya que, con la energía solar fotovoltaica, no se paga transporte ni cuota de generación y su costo es un 70 por ciento más económico que el de la energía generada por las fuentes convencionales (Arroyo, 2017).

Es importante destacar que la inversión o costo inicial de una instalación fotovoltaica es alto, pero, el aprovechamiento posterior es enorme siendo el sistema de larga vida útil y a la vez económico por los bajos costos de mantenimiento y por no utilizar combustible (Gómez Ramírez, Murcia Murcia, & Cabeza Rojas, 2017). Adicionalmente, en los últimos 100 años la Economía Mundial ha crecido un 2.000%, y el crecimiento económico conlleva aún una mayor demanda energética por persona. Una persona en un país desarrollado consume hasta 10 veces más energía que una persona en un país subdesarrollado, por lo que entre más población se saque de la pobreza más energía se requiere del Planeta (Ecuuve, 2019).

Por consiguiente, se hace necesario determinar aquellas áreas en las que es potencialmente viable implementar alternativas que disminuyan costos y que a la vez generen beneficios tanto ambientales como socioeconómicos que sean realizables en zonas rurales que es donde más se presenta esta necesidad.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

- Determinar a través de análisis espaciales las zonas idóneas para implementar el uso de energías renovables para el Alto valle del Magdalena.

4.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las zonas con mayor incidencia de radiación solar por medio de análisis espaciales.
2. Determinar que municipios de la zona del Alto Valle del Magdalena son los más idóneos para llevar a cabo la implementación de paneles solares.
3. Establecer los impactos ambientales y socioeconómicos que traería la ejecución de este tipo de energía renovable para el área de estudio.

5. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuáles deben ser las características espaciales idóneas que debe tener una zona para implementar energía renovable a partir de un sistema de paneles solares?

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 Antecedentes

El descubrimiento de la transformación de la luz solar en electricidad se atribuye al físico francés Edmund Becquerel en 1839, quien, en una rudimentaria pila galvánica, formada por dos electrodos metálicos sumergidos en una solución conductora, observó un leve aumento en la generación eléctrica cuando sobre la misma hacía incidir radiación solar. En 1873, Willoughby Smith, quien experimentaba con nuevos materiales para aplicarlos en cables de telégrafo marino, observó un efecto similar en un cristal de selenio. La primera celda solar se atribuye a Charles Fritts quién depositó contactos de oro sobre una oblea de selenio y obtuvo una celda solar con eficiencia cercana al 1% (Mercado, Breve Descripción de la Celdas Fotovoltaicas de Mono Unión y de Banda Intermedia, 2009).

El desarrollo de la energía solar Fotovoltaica en el siglo XXI está teniendo un acelerado avance tecnológico y económico. La energía es el motor de los avances económicos en este siglo. El efecto fotovoltaico fue reconocido por primera vez en 1839 por el físico francés Alexandre-Edmond Becquerel. Sus estudios sobre el espectro solar, magnetismo, electricidad y óptica son el pilar científico de la energía fotovoltaica (ORTIZ CHACÓN & CHACÓN RINCÓN, 2018).

En 1883 el inventor norteamericano Charles Fritts construye la primera celda solar con una eficiencia del 1%. La primera celda solar fue construida utilizando como semiconductor el Selenio con una muy delgada capa de oro. Debido al alto costo de esta celda se utilizó para usos diferentes a la generación de electricidad. Las aplicaciones de la celda de Selenio fueron para sensores de luz en la exposición de cámaras fotográficas (ORTIZ CHACÓN & CHACÓN RINCÓN, 2018).

La celda de Silicio que hoy día utilizan proviene de la patente del inventor norteamericano Russell Ohl. Fue construida en 1940 y patentada en 1946. La época moderna de la celda de Silicio llega en 1954 en los laboratorios Bells. Accidentalmente experimentando con semiconductores se encontró que el Silicio con algunas impurezas era muy sensitivo a la luz. El siglo XXI nace con una premisa para el desarrollo sostenible medioambiental. El creciente desarrollo industrial y de consumo trae como consecuencia un deterioro del medio ambiente a través de las emisiones de CO₂ y otros gases que además de destruir la capa de Ozono afectan la salud del hombre. La protección del medio ambiente es compromiso de todos, gobiernos, personas e industrias. Hoy día vemos un gran crecimiento, tanto en la producción de paneles solares cada vez más económicos como en la implementación de grandes plantas solares conectadas a la red eléctrica (Energiza, 2015).

6.2 Marco Teórico

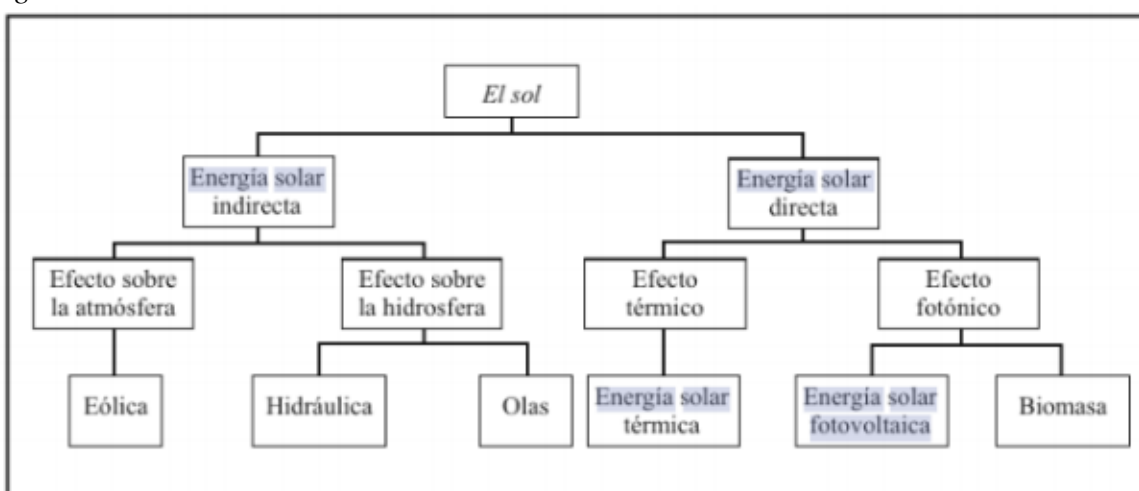
En cuanto a las energías renovables, se toma como referencia el texto “Energías renovables” escrito por Jaime González Velasco en el que se tratan las energías renovables como “nuevas fuentes de energía, caracterizadas por reponerse a un ritmo igual o superior al que son consumidas”, según González citado en (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018) estas energías se han ido implementando para suplir las necesidades que ha llegado a tener el ser humano a medida que evoluciona, pues las actividades que éste realiza cada vez requiere una mayor demanda en este servicio. Y pese, que las energías convencionales al ser de tipo no renovable porque se obtienen de combustibles fósiles, se van agotando a mayor velocidad, con el tiempo puede llegar a generarse un desabastecimiento del servicio.

Por esta razón, el año 2015 las energías renovables lograron establecerse como una fuente de energía muy importante en todo el mundo según un informe presentado por la Red de políticas

renovables para el siglo 21 REN21 (Renewable Energy Policy Network for the 21 st century), este crecimiento es debido principalmente al aumento de la rentabilidad de tecnologías renovables, facilidad de acceso a financiamiento, contribución al medio ambiente, entre otras (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018).

En el siguiente diagrama se puede ver la distribución de los diferentes tipos de energía sostenible según su fuente:

Ilustración 1 Esquema de las energías renovables procedentes de la transformación de la energía solar



Fuente: (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018)

Como se muestra en el esquema, la energía solar es la principal de todas las energías renovables, ya que, de una u otra manera influye en las otras, considerándose como “la madre de todas las energías renovables” debido a que cada ciclo de la naturaleza depende de la actividad del sol y a partir de esta actividad surgen energías tales como la energía hidráulica, eólica, biomasa, entre otras (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018). Por otra parte, la energía solar directa, es posible al utilizar la radiación del sol que llega a la superficie de la tierra, que es aprovechada de dos formas diferentes, como fuente de calor llamada “energía solar térmica” y como fuente de electricidad denominada “energía solar fotovoltaica”.

Teniendo en cuenta la utilidad que se le darían a las zonas determinadas por los SIG en este proyecto, la energía solar fotovoltaica es la captación y transformación de la energía solar en energía eléctrica; a través de células solares que permiten el mayor aprovechamiento posible de dicho recurso. Y resaltando que la generación de ésta energía depende de la radiación solar, José Antonio Domínguez, en su libro “Energías alternativas”, citado en (Camargo Ayala & Garzón Rico, 2018) comenta que “Aunque nos parezca que la energía solar es siempre constante, no es así, depende de la cantidad de energía que genere el Sol y de la que nos llegue, que no es la misma todos los días,” por esto, se requiere la realización de estudios detallados del sector en el que se llevará a cabo, para el desarrollo de este tipo de proyectos, si se espera tener un buen resultado en su implementación.

Por esto, uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta antes de dar el paso de la instalación de un sistema solar es la selección del lugar; “Lo recomendado no es escogerla porque en uno, dos, tres o 10 días se vea que hay sol en una terraza o en un jardín, sino porque realmente se hace una consulta del nivel solar multianual, lo que significa cómo ha estado la presencia solar durante varios años, con el fin de dar mayor garantía de que el lugar si es apto para la generación de energía”, explicó Daniel Chica, citado en (Rubio, 2018) profesional de desarrollo experimental de Cide. Luego de determinar si el lugar es viable para la instalación, la empresa encargada debe definir el tipo de sistema que se implementaría, teniendo en cuenta que hay dos tipos: on grid y off grid. “El primero no es 100% autónomo, ya que se debe conectar al servicio de energía convencional”, dijo Laura Suárez Vega, gerente de planeación de Enercenit. Mientras que el off grid es 100% autónomo y por ende más recomendado para los hogares, ya que provee el servicio tanto en el día como en la noche. A su vez, este tipo de instalación

también es recomendado para sitios apartados donde es muy difícil que llegue la energía con un operador como Codensa, entre otros.

6.3 Marco Legal

El Sector Eléctrico Colombiano ha venido generando estrategias para mejorar las condiciones de abastecimiento y disponibilidad de la energía eléctrica de carácter renovable. Por medio de entes reguladores como el Ministerio de Minas y Energía (MME), la Unidad de Planificación Minero Energética (UPME) y la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), los cuales han trabajado en legislaciones y decretos, entre estos:

- El Gobierno Nacional creó la Ley 29 de 1990 y el Decreto 393 de 1991, para impulsar la investigación en el URE (Uso Racional de la Energía) a través de Colciencias.
- En 1992, se incluyó un documento llamado "Políticas en fuentes alternas de energía, presente y futuro". Encaminado a políticas de orden, en el campo de las fuentes alternas no convencionales de energía para la población urbana y rural. En el documento se señala las funciones asignadas por el artículo 63 de la Ley 1 de 1984, correspondientes a:
 - Promover la aplicación de fuentes alternas de energía mediante la utilización de recursos energéticos localmente disponibles, especialmente en áreas donde los servicios públicos son deficientes.
 - Evaluar y supervisar la ejecución de proyectos en zonas aisladas.
 - Evaluar el potencial de FNCE.
 - Efectuar estudios para el desarrollo de las FNCE con el fin de formular políticas a nivel nacional.
- Mediante la Ley 164 de octubre de 1994 y el artículo 1º de la Ley 7ª de 1994. El Congreso de la República aprobó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el

Cambio Climático de 1992. Encaminado a enfrentar los GEI (Gases de efecto Invernadero) y el cambio climático por medio de una política global.

- En 1994 se reestructuró la expedición de las Leyes 142 y 143; en la cuales se establecieron límites en cuanto a actividades de funcionamiento del sector energía eléctrica: generación, transmisión, distribución y comercialización para las SIN y ZNI. Se le asignó a la UPME elaborar el Plan Energético Nacional (PEN) y el Plan de Expansión del sector eléctrico.

Tabla 1 Marco Legal

Marco Legal	Artículo
Constitución política de Colombia CAPITULO 3 DE LOS DERECHOS COLECTIVOS Y DEL AMBIENTE	Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
	Artículo 1: La presente ley tiene por objeto promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema energético nacional, mediante su

Ley 1715 DE 2014 (mayo 13)

integración al mercado eléctrico, su participación en las zonas no interconectadas y en otros usos energéticos como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético. Con los mismos propósitos se busca promover la gestión eficiente de la energía, que comprende tanto la eficiencia energética como la respuesta de la demanda.

Ley 1715 DE 2014 (mayo 13)

Artículo 19 Desarrollo de la energía solar:

- 2. El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Vivienda y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el marco de sus funciones, fomentarán el aprovechamiento del recurso solar en proyectos de urbanización municipal o distrital, en edificaciones oficiales, en los sectores industrial, residencial y comercial.
-

-
- 4. El Gobierno Nacional considerará la viabilidad de desarrollar la energía solar como fuente de autogeneración para los estratos 1, 2 y 3 como alternativa al subsidio existente para el consumo de electricidad de estos usuarios.
 - 5. El Gobierno Nacional, por intermedio del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible determinará los parámetros ambientales que deberán cumplir los proyectos desarrollados con energía solar, así como la mitigación de los impactos ambientales que puedan presentarse en su implementación.

Resolución 0549

Artículo 1. El objeto de la presente resolución es establecer los porcentajes mínimos y medidas de ahorro en agua y energía alcanzar en las nuevas edificaciones y adoptar la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.

Ley 697 de 2001	Mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1670 de 2017	Por el cual se adoptan los términos de referencia para la elaboración del Estudio de Impacto Ambiental - EIA, requerido para el trámite de la licencia ambiental de proyectos de uso de energía solar fotovoltaica y se toman otras disposiciones.
NTC 5287:2009	Esta norma tiene por objeto establecer las principales definiciones utilizadas en las normas técnicas relativas a energía solar fotovoltaica.
NTC 2883:2006	Esta norma indica los requisitos para la calificación del diseño y la aprobación del tipo de módulos fotovoltaicos para aplicación terrestre y para una utilización de larga duración en climas moderados al aire libre, según se define en la norma IEC 60721-2-1.
NTC 2775:2005	Esta norma tiene por objeto establecer las principales definiciones utilizadas en las

normas técnicas relativas a energía solar
fotovoltaica.

NTC 4405:1998

Esta norma presenta una metodología para la
evaluación de la eficiencia de los sistemas
solares fotovoltaicos, reguladores y
acumuladores. La presente norma cubre de los
sistemas fotovoltaicos: a) Etapa de paneles o
de módulos b) Etapa de regulación c) Etapa
de acumulación.

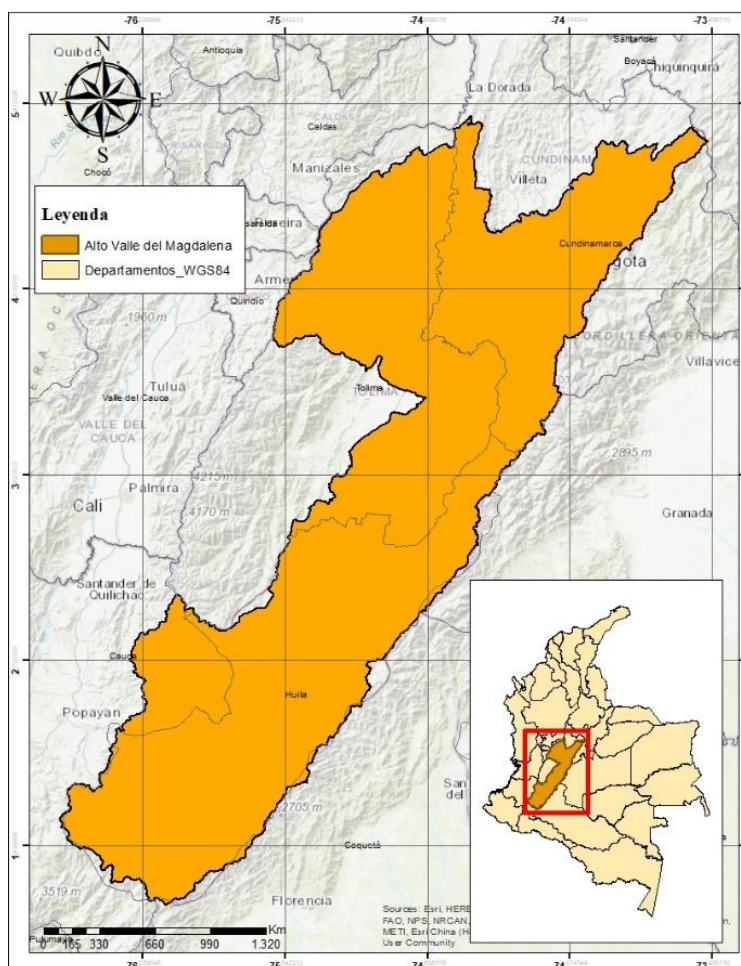
Fuente: Elaboración propia

7. DISEÑO METODOLÓGICO

7.1 Área de estudio

El área de estudio es el alto valle del Magdalena conformado por 3 departamentos del centro de Colombia.

Mapa 1. Alto Valle del Magdalena



Fuente: IGAC, elaboración propia

Teniendo en cuenta que las áreas hidrográficas corresponden a las regiones hidrográficas o vertientes que son las grandes cuencas que agrupan un conjunto de ríos con sus afluentes que desembocan en un mismo mar. Se delimita como área hidrográfica la cuenca Magdalena-Cauca,

que, aunque tributa y forma parte de la vertiente del Atlántico, tiene importancia socioeconómica por su alto poblamiento y aporte al producto interno bruto. Y a su vez, las cuencas hidrográficas que desembocan sus aguas superficiales directamente de un área hidrográfica se denominaran zonas hidrográficas; (IDEAM, ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS E HIDROGEOLOGÍCAS DE COLOMBIA, 2013) La zona del valle del Magdalena se divide a su vez en alto, medio y bajo magdalena; para el desarrollo de este proyecto la zona de estudio será el Alto valle del Magdalena, el cual, abarca desde el nacimiento del río en la laguna del Magdalena (Cauca) ubicado en el páramo de las Papas a 3.327 metros sobre el nivel del mar (msnm), hasta el municipio de Honda (Tolima) a una altura de 229 msnm. La longitud total del río en esta subregión es de 565 km. Esta primera división la conforman 47 municipios de los departamentos de Cauca, Huila, Tolima y Cundinamarca.

El alto magdalena se extiende desde Pitalito - Huila hasta Honda - Tolima, y conforma un valle estrecho con fuertes pendientes (mayores a 35°), caracterizado por un relieve de alta y media montaña (arriba de los 2.000 msnm), que genera una red de drenaje a partir de los valles encañonados, produciendo fuertes procesos erosivos sobre las vertientes de las cordilleras Central y Oriental (Galvis Aponte & Quintero Fragozo, 2017).

Según Cormagdalena, algunas de las características de los suelos teniendo en cuenta la distribución en el alto magdalena, son las siguientes:

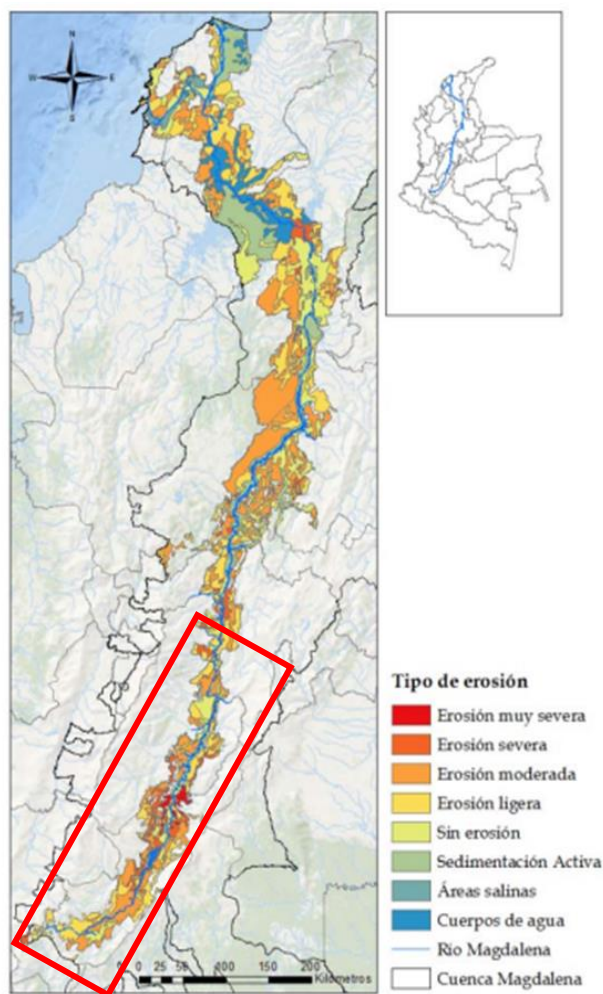
- Los piedemontes del Huila provenientes de las cenizas volcánicas y que inciden positivamente en la fertilidad y la forma suave de su relieve.
- Las terrazas del Magdalena, que se encuentran entre los departamentos del Huila y Tolima, en un clima cálido seco en el que predomina la sequía durante la mayor parte del año.

- En el departamento del Tolima se localizan los denominados abanicos, cuya característica principal es soportar un clima cálido seco con déficit de agua. Sin embargo, son muy fértiles y tomados para las actividades agroindustriales.
- Un poco más al norte de los abanicos, específicamente entre los municipios de Girardot y Puerto Salgar, se encuentra un suelo altamente erosionado y por tanto con muy poca fertilidad.

Para complementar, el siguiente mapa muestra información sobre la erosión presente en los municipios que conforman el valle del Magdalena, cabe mencionar que los procesos erosivos del suelo cobran suma importancia, ya que tienen efectos directos como la generación de sedimento, la reducción de la capacidad productiva del suelo, los deslizamientos y las inundaciones; Por lo que es de gran importancia conocer las condiciones que presenta el área de estudio.

Teniendo en cuenta lo anterior, la erosión severa sigue un patrón en el que aumenta a medida que el río avanza en sentido sur-norte, lo que indica que el Alto Magdalena es la subregión con mayor erosión severa y la del Bajo Magdalena la que menor erosión de este tipo presenta.

Mapa 2. Tipo de erosión en los municipios ribereños del Magdalena



Fuente: (Galvis Aponte & Quintero Fragozo, 2017)

En el descenso a los valles cálidos se encuentra una vasta planicie aluvial desde Neiva hasta Honda. Las características de estas planicies se modifican al pasar por ecosistemas que varían entre secos, húmedos y cálidos, sobresaliendo en este último el desierto de la Tatacoa. En este punto, la vegetación predominante es la de tipo herbáceo y arbustivo (Cormagdalena, 2017).

Y, por último, para el desarrollo de este trabajo se tiene en cuenta el clima de la zona, ya que, es un conjunto de condiciones atmosféricas fluctuantes, determinadas por la evolución de los estados del tiempo, en donde se tiene en cuenta características como temperatura de los

territorios, la mención de la altitud, valores de precipitación y evapotranspiración. Teniendo en cuenta el objetivo de este proyecto es importante determinar estas características, que serán indispensables durante el desarrollo para lograr identificar los lugares más adecuados, en donde predominarán los que presenten una mayor incidencia de luz solar y por ende el que más bajas precipitaciones presente.

En el alto magdalena los municipios cuentan con precipitaciones equilibradas, lo que marca una diferencia en cuanto al bajo y medio magdalena. Ya que, en esta zona se presenta pocas precipitaciones que no llegan a superar los 2.500 mm al año, por lo que se considera más una zona seca y de altos niveles de evapotranspiración, lo que hacen de esta una subregión árida y con poca fertilidad para grandes cultivos (IDEAM, Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua, 2015).

7.2 Universo, población y muestra

El alto valle del Magdalena está conformado por diferentes áreas de los departamentos del Huila, Tolima, Cundinamarca y Cauca, los cuales comparten variables espaciales que pueden ser analizadas, por medio de imágenes satelitales. Dentro de estas variables se encuentran las bioclimáticas como la temperatura, radiación solar, precipitación y brillo solar, también están las topográficas como el relieve, la inclinación y la cobertura vegetal; las medioambientales como el tipo de suelo, la biota y el régimen de flujo. Por último, en la parte socio económica se destaca la estructura y tamaño poblacional, los niveles de ingreso y empleo, teniendo en cuenta la vocación del suelo, las áreas urbanas e infraestructura y la organización poblacional de cada departamento.

Para lograr una posible implementación de este sistema las variables deben estar dentro de unos rangos establecidos, en los cuales predominaran los lugares con los valores más altos en

cuanto a incidencia de luz solar y temperatura; con el fin de lograr un óptimo funcionamiento de los paneles solares.

7.3 Recursos Humanos

Bajo la orientación del docente Héctor Fabio Cruz Cuellar se pretende llevar a cabo el desarrollo de dicho proyecto, quien estará a cargo de realizar las correcciones necesarias y de encaminar correctamente esta investigación, con el fin de lograr el objetivo de este trabajo de grado.

Para el avance de esta investigación las estudiantes de decimo semestre Laura Maleny Hernández Méndez y María Alejandra Valbuena Rodríguez, estarán a cargo de recolectar, analizar y organizar la información necesaria para contribuir con la realización de este trabajo.

7.4 Recursos Institucionales

- Universidad de Cundinamarca: Seccional Girardot.

7.5 Infraestructura y Equipos

APLICACIONES O SOFTWARE

- ArcGIS
- QGIS
- Excel
- Google Forms
- USGS Earth Explorer

EQUIPOS

- Computador

7.6 Físico, logístico y/o técnico

Para el desarrollo de este proyecto se utilizará los Sistemas Información Geográfica (SIG), que por medio de imágenes satelitales permiten describir y categorizar las diferentes coberturas de la tierra con el objetivo de mostrar y analizar la información; para llevar a cabo

esto, es fundamental e importante el uso de mapas. El objetivo de los SIG consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas, así como crear y administrar la información geográfica pertinente. (ArcGis Resources, s.f.). Y debido a que los mapas se utilizan para descubrir e investigar patrones, también permiten conocer los potenciales energéticos que tienen algunas zonas, en este caso enfocado al alto valle del Magdalena.

7.7 Metodología

La metodología que se va a llevar a cabo consiste básicamente en llevar como estrategia la espacialización de variables espaciales relacionadas con el modelamiento de sitios potenciales para establecer proyectos de energías renovables en el alto valle del Magdalena. Desde un enfoque cuantitativo analítico, se abordarán metodologías para el tratamiento de diferentes variables bioclimáticas y espaciales para realizar los cálculos finales. Así mismo, en las técnicas de análisis exploratorio, se plantearán los rangos de cada variable para establecer los valores idóneos de cada capa, el cual van a permitir utilizar algebra de mapas y lógicas booleanas, estableciendo a través de ponderaciones los sitios potenciales para desarrollar dichos proyectos.

7.7.1 Objetivo 1

Para llevar a cabo este proyecto, se tomó como punto de partida realizar una exploración de información espacial a nivel general de la zona del Alto Valle del Magdalena, con el fin de obtener una idea de las áreas donde se presentan las variables medio ambientales necesaria para que sea eficiente el uso de una energía renovable. Como información secundaria se utilizaron los datos geográficos mencionados en la Tabla 2, los cuales son la base para trabajar en el Software y para lograr el objetivo central de este proyecto.

Tabla 2 Herramientas geográficas utilizadas en el desarrollo del proyecto.

Datos Geográficos	Fuente	Año
Departamentos	IGAC	2019
Municipios	IGAC	2019
Hidrografía	IGAC	2019
Modelo de Elevación Digital	USGS	2019
Límite del Alto Valle del Magdalena	IDEAM	2020
Variables espaciales (Temperatura, radiación, precipitación)	WorldClim	2020
Coberturas (clasificación de imágenes satelitales; programa sentinel 2)	USGS	2020

Fuente: Elaboración propia

La información respecto a departamentos, municipios, vías e hidrografía se utilizó para identificar los aspectos de ubicación de la zona de estudio, lo que permitió conocer a través de geoprosos (SIG) que departamentos conforman el alto valle del magdalena, consigo que municipios serán los que se podrían beneficiar implementando energía solar y en cuanto a las vías e hidrografía, permiten identificar cuáles son las zonas más alejadas de los centros urbanos y si hay una fuente hídrica cerca que impida la implementación.

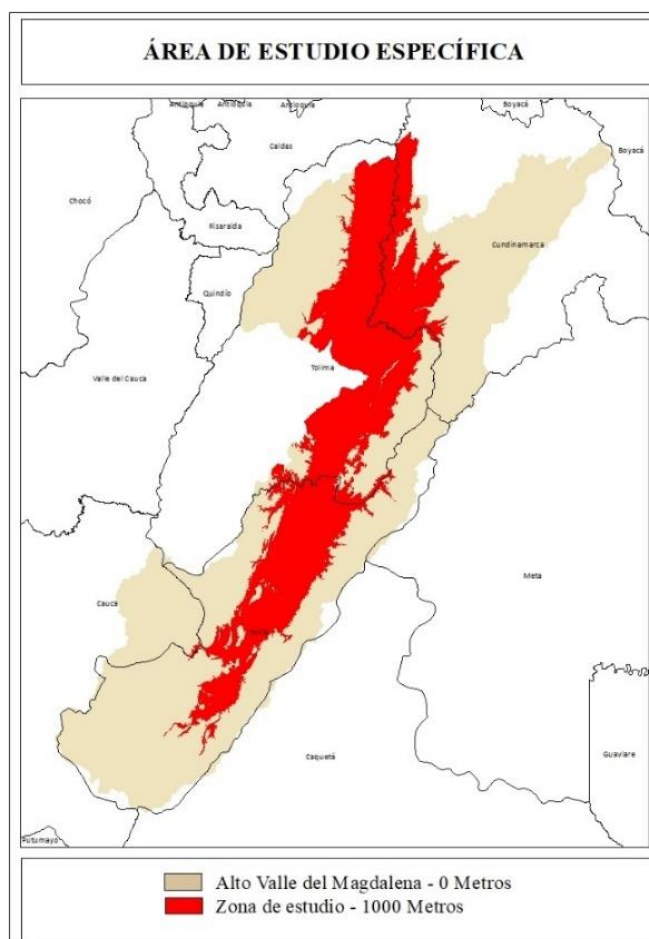
Por otro lado, el Modelo de Elevación Digital, se utilizó para calcular la pendiente y el aspecto del terreno, las cuales son variables que ayudan a identificar las condiciones en las que se encuentra. También se tuvieron en cuenta las variables bioclimáticas como la radiación, temperatura y precipitación que permitieron conocer las características climáticas del lugar, por

último, se determinaron y clasificaron los diferentes tipos de coberturas que se pueden encontrar en esta zona del Alto Valle del Magdalena.

7.7.1.1 Determinación del área de estudio específica

A partir del modelo de elevación digital se realizó una clasificación de la altitud para adquirir un área más delimitada, tomando los valores de 0 a 1000 m, con el fin de obtener las zonas de menor altitud teniendo en cuenta que son las más cálidas.

Mapa 3. Área de estudio delimitada



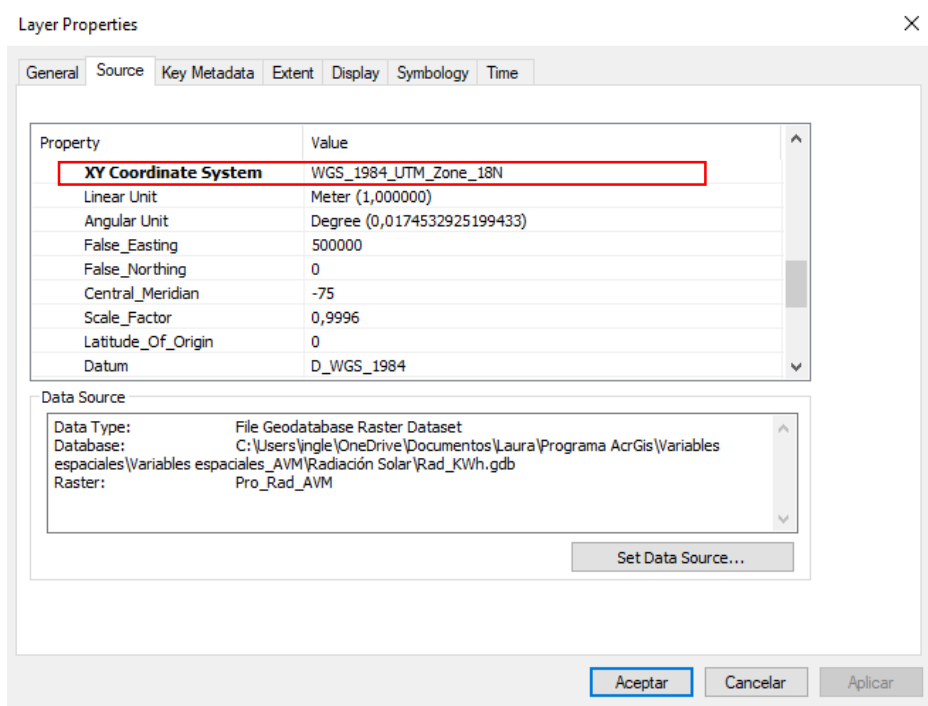
Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que, para trabajar las variables espaciales como la temperatura, precipitación y radiación, se debe tener en cuenta las unidades, y en este caso se realizó el ajuste, trabajando

las unidades en grados centígrados (°C), Milímetros (mm) y Kilovatio hora (KWh) respectivamente (WorldClim, 2020).

Luego de esto, se hicieron dos procesos iniciales importantes, ya que estos sirven para asegurar que las propiedades de las capas manejen la misma uniformidad. El primer proceso que se realizó fue la proyección (Projection), esta herramienta se utiliza para los dataset que tienen un sistema de coordenadas desconocido o cuando el sistema definido es incorrecto. Por medio de esta herramienta lo que se hace es especificar el sistema de coordenadas correcto, en este caso se realizó el cambio a el sistema de coordenadas WGS-1984-UTM-18N cuyo código es 32618, siendo este el adecuado para la zona de estudio. Dicho procedimiento se realizó con las capas de precipitación, temperatura y radiación, con las otras no fue necesario porque ya se encontraban proyectadas a este sistema.

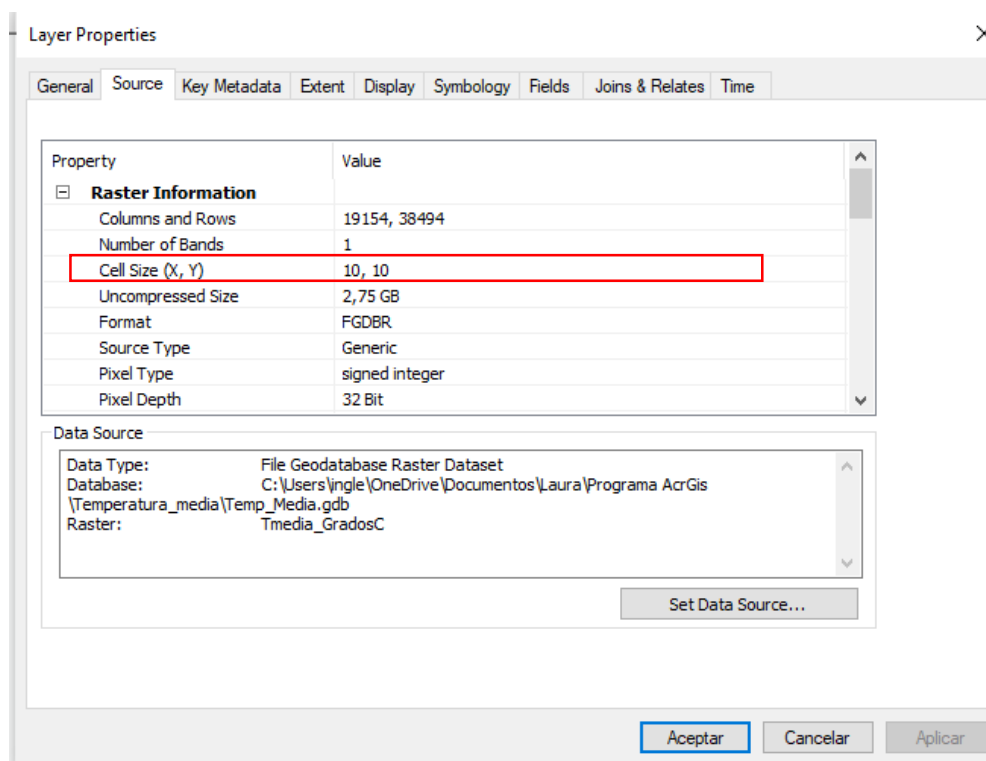
Ilustración 2 Tabla de las propiedades de la capa de Radiación



Fuente: Elaboración propia, ArcGis

Otro de los procesos que se realizó antes de iniciar a trabajar con las variables, fue tener todas en una misma resolución espacial; Para lograr esto se utilizó la herramienta de remuestrear (Resample), la cual permite hacer un proceso de interpolación con los valores de cada pixel, de tal manera que ajusta el tamaño de los pixeles del índice con respecto al tamaño de los pixeles de cada variable. Este proceso se utiliza cuando la alineación de la entrada y la salida no es exacta, cuando el tamaño de píxel cambia, cuando se convierten los datos o una combinación de lo anterior (esri, s.f.). En este caso, las variables se encontraban en tamaño de pixel de 1Km2 y a través de las interpolaciones se ajustaron a un tamaño de pixel de 10 x 10 metros, con el fin de facilitar el proceso al momento de realizar operaciones matemáticas que se pueden llevar a cabo.

Ilustración 3 Tabla de las propiedades de la capa de Temperatura



Fuente: Elaboración propia, ArcGis

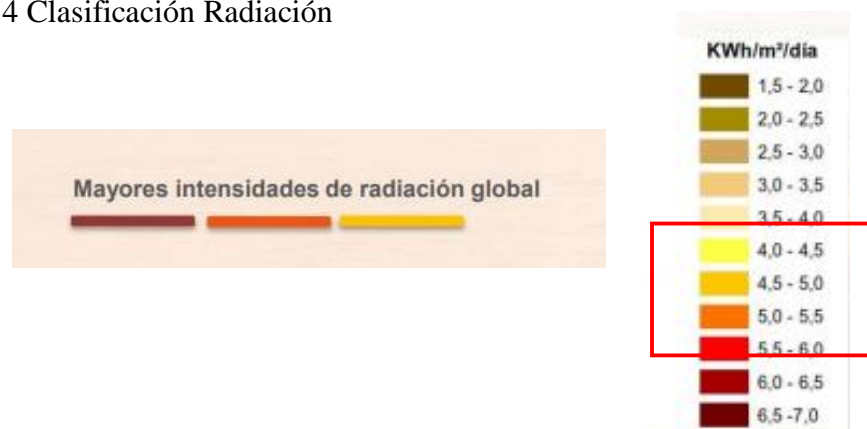
7.7.1.2 Recorte de las variables espaciales con la zona de estudio

Teniendo en cuenta que el Alto Valle del Magdalena abarca una extensión total de 36229.87 Km², para esta investigación se utilizó un área de estudio de 12581.31Km², la cual está conformada por terrenos que cuentan con una altura de 0 a 1000 msnm. Para determinar únicamente esta zona del área total se realizó la extracción de un polígono que delimita únicamente nuestra área de estudio. Luego para determinar el área de estudio en cada una de las variables y trabajar con la zona de importancia específicamente, se realizó un recorte con las capas de las variables y utilizando el polígono como límite de la zona, de esta manera se obtuvieron únicamente los rangos de cada variable que se encuentran en el área de estudio.

7.7.1.3 Reclasificación de la variable radiación

Se realizó una búsqueda bibliográfica para identificar la clasificación de la radiación en Colombia y tomarla como base en el momento de ejecutar dicho proceso. Al finalizar esta revisión se tomó la clasificación asignada por el IDEAM la cual se muestra a continuación:

Ilustración 4 Clasificación Radiación



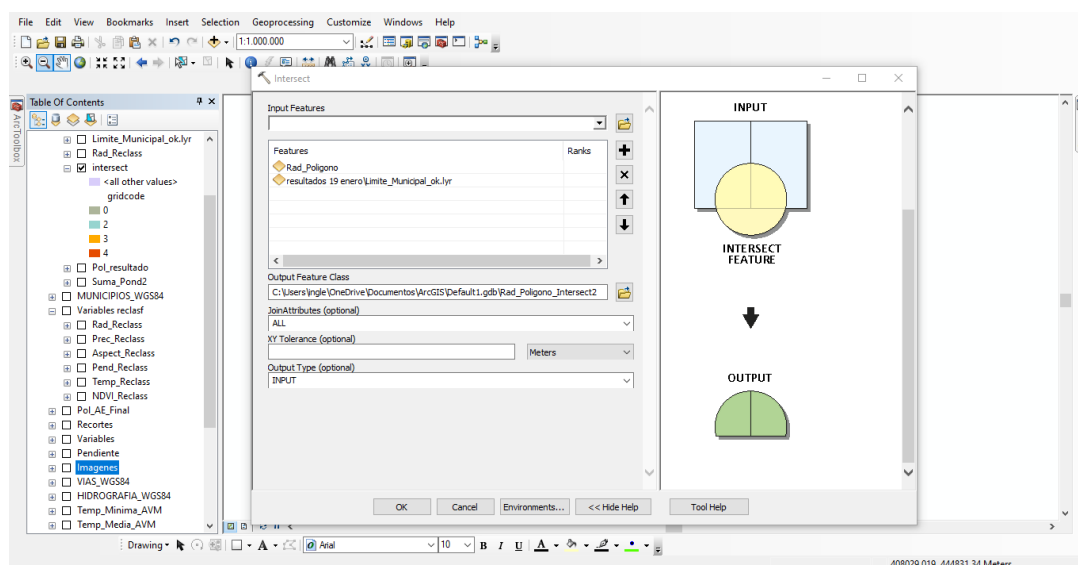
Fuente: (IDEAM, 2017)

Se realizó la reclasificación de dicha variable a través de un Sistema de Información Geográfica, tomando 4 categorías de 4,0 KWh/m²/día a 6,0 KWh/m²/día teniendo en cuenta que es el rango que se presenta en la zona de estudio.

7.7.1.4. Intersección de la radiación con la capa de municipios

Se toma la capa de los municipios de Colombia y se realiza una intersección con la radiación en el software Arcgis por medio de la herramienta intersect, esto con el fin de obtener una nueva capa donde se evidencie en que zonas se presenta mayor radiación solar dentro de la categoría 5.0 KWh/m²/día a 6,0 KWh/m²/día.

Ilustración 5 Intersección capa de municipios y radiación



Fuente: Elaboración propia

7.7.2 Objetivo 2

Para determinar las áreas aptas donde se puede implementar un sistema de paneles solares se realizaron una serie de procesos con diferentes plataformas y software con el fin de obtener una capa donde se integren todas las variables procesadas.

7.7.2.1 Obtención y procesamiento digital de imágenes satelitales del área de estudio

Se trabajó con imágenes satelitales Sentinel – 2 que fueron descargadas de la página EarthExplorer, en este proceso se tuvo en cuenta el rango de nubosidad y el año en que fueron tomadas, con el fin de obtener una mejor visibilidad de la zona y una buena resolución espacial.

Ilustración 6 Delimitación del Área de estudio en la plataforma EarthExplorer

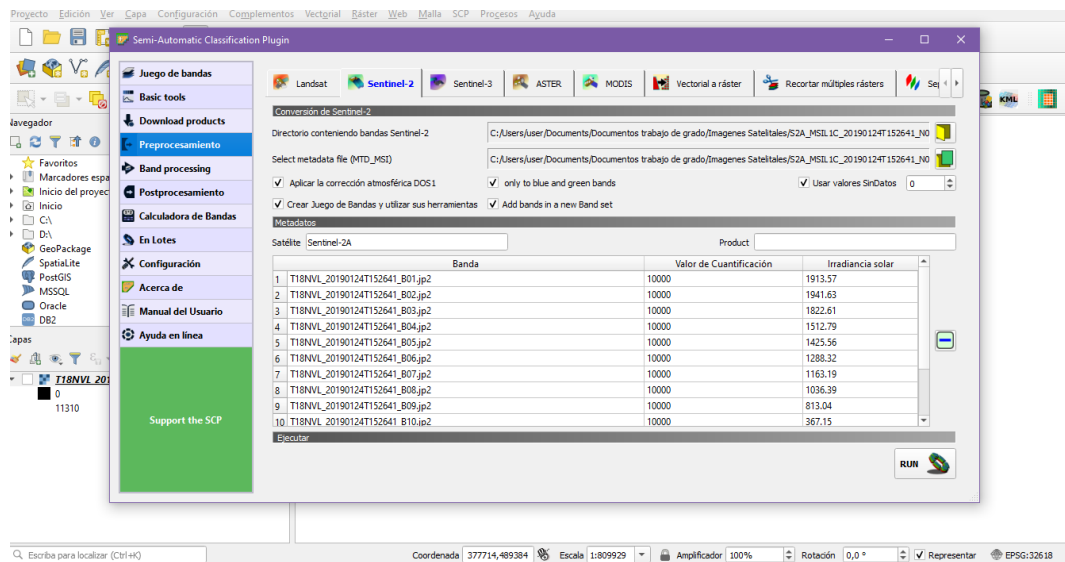


Fuente: EarthExplorer (USGS)

Se descargaron 7 escenas que lograban cubrir el área de estudio específica y para obtener una mayor eficacia se realizó una corrección atmosférica a cada imagen mediante el software QGIS. La corrección atmosférica es un proceso que se aplica a las imágenes digitales, con el propósito

de eliminar el efecto de los aerosoles y la radiancia intrínseca que se introduce en el sensor y se ve reflejado en la imagen, como producto de la interacción del sensor con la atmosfera. Con este proceso se logra mejorar la calidad visual de la imagen; así como, eliminar el componente intrusivo de la atmosfera.

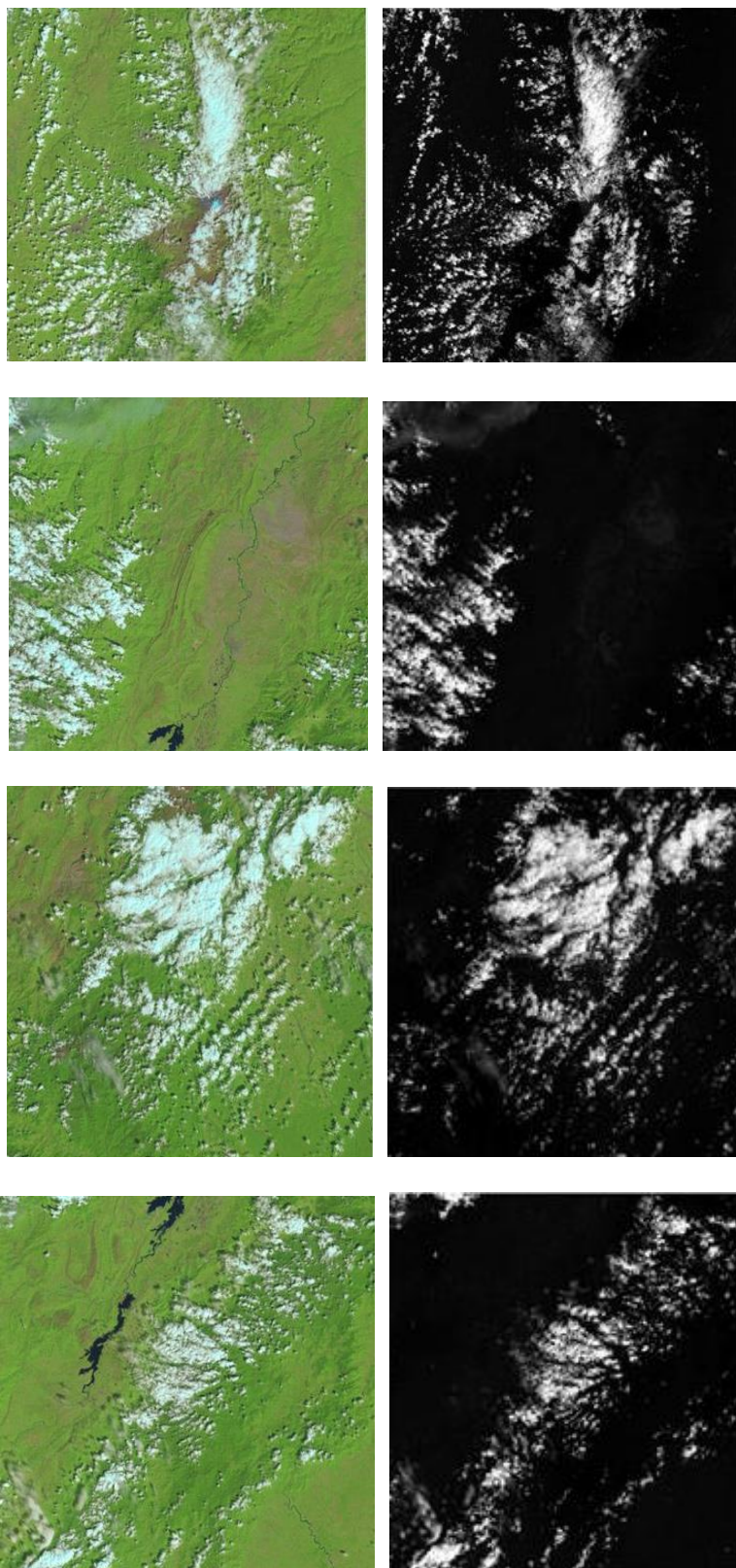
Ilustración 7 Software ARGIS – Corrección atmosférica

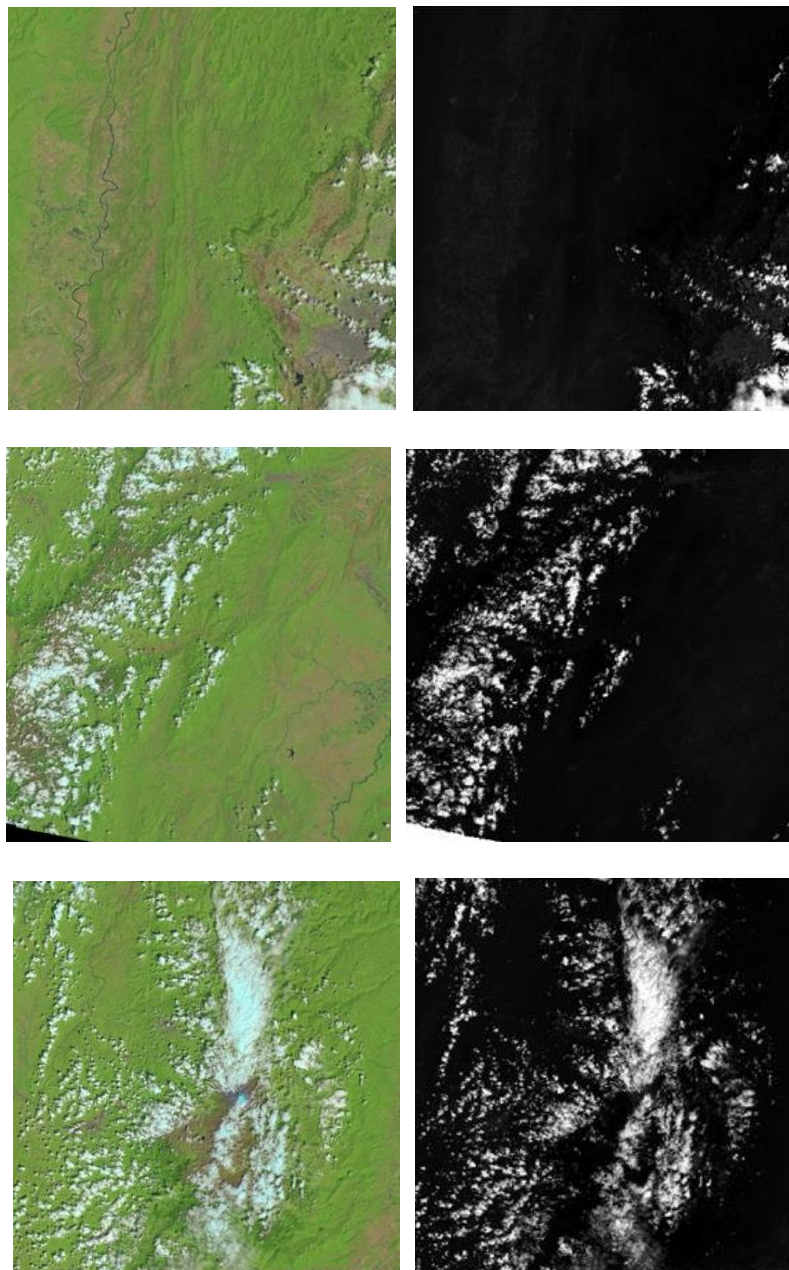


Fuente: Elaboración propia

Luego de esto, se prosiguió a cargar las escenas al software Arcgis donde se realizaron los mosaicos del área de estudio, teniendo en cuenta la cantidad de bandas espectrales, generando en total 13. Al tenerlos, se procede a realizar el recorte de cada uno de los mosaicos (mosaico por banda espectral) con el polígono del área específica.

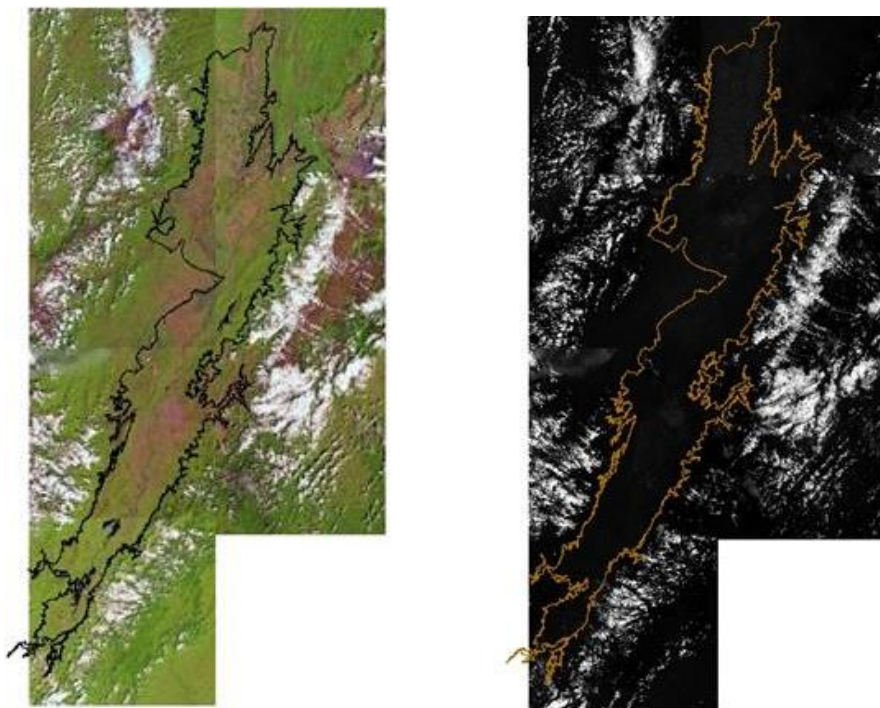
Ilustración 8 Comparación imagen satelital real e imagen con las 13 bandas espectrales





Fuente: EarthExplorer (USGS)

Ilustración 9 Mosaico imágenes satelitales Sentinel 2 con el polígono del área de estudio.



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se pasa a la etapa de transformación de la imagen, en donde se realizaron composiciones de bandas espectrales, empleando diferentes combinaciones de bandas que permiten identificar con mayor facilidad la clasificación de las coberturas de la zona de estudio. En la tabla 3, se muestran las combinaciones que se pueden realizar con las bandas de las imágenes Sentinel -2.

Tabla 3 Combinaciones de bandas con imágenes Sentinel - 2

Resultado de la Combinación	R	G	B
Color Natural	4	3	2
Agricultura	11	8	2
Vegetación saludable	8	11	2
Tierra y Agua	8	11	4

Análisis de vegetación	11	8	4
Falso color infrarrojo	8	4	3
Falso color urbano	12	11	4
Infrarrojo de onda corta	12	8	4
Penetración atmosférica	12	11	8 ^a
Colores naturales con eliminación atmosférica	12	8	3

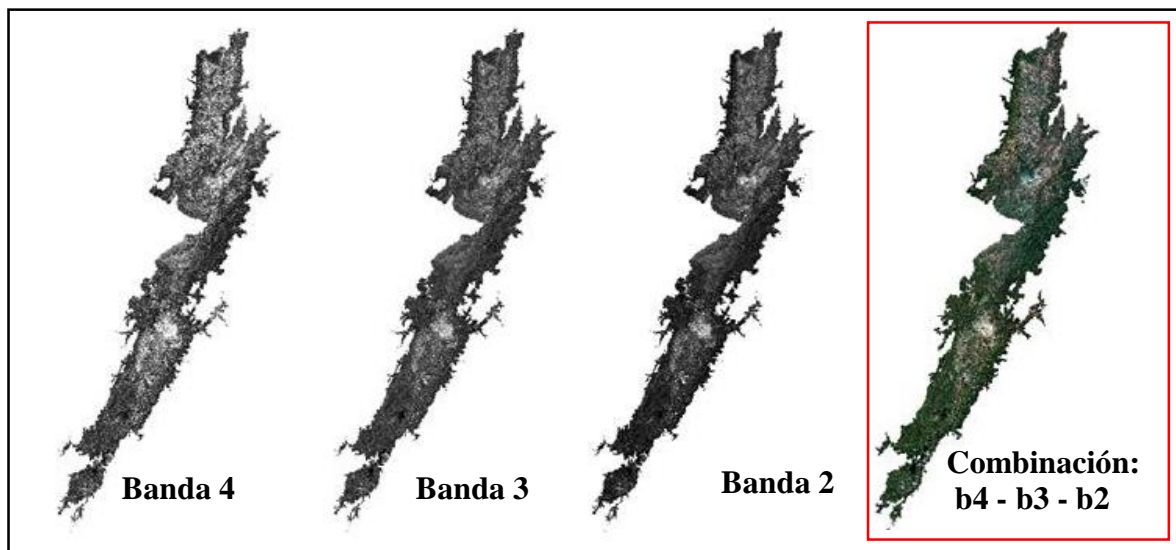
Fuente: (Frank, 2019)

7.7.2.2 Combinación de bandas espectrales

Posteriormente en la etapa de procesamiento y transformaciones a la imagen, se realizaron composiciones de bandas espectrales. Cabe resaltar que al realizar las combinaciones favorece que las imágenes satelitales posean un porcentaje de nubes menor del 20% y que sean re proyectadas, de tal manera que se encuentren georreferenciadas en el sistema local en el cual se está trabajando, para este caso, las imágenes fueron re proyectadas al Sistema de Proyección de UTM - Universal Trasversal Mercator (WGS_1984_UTM_Zone_18N).

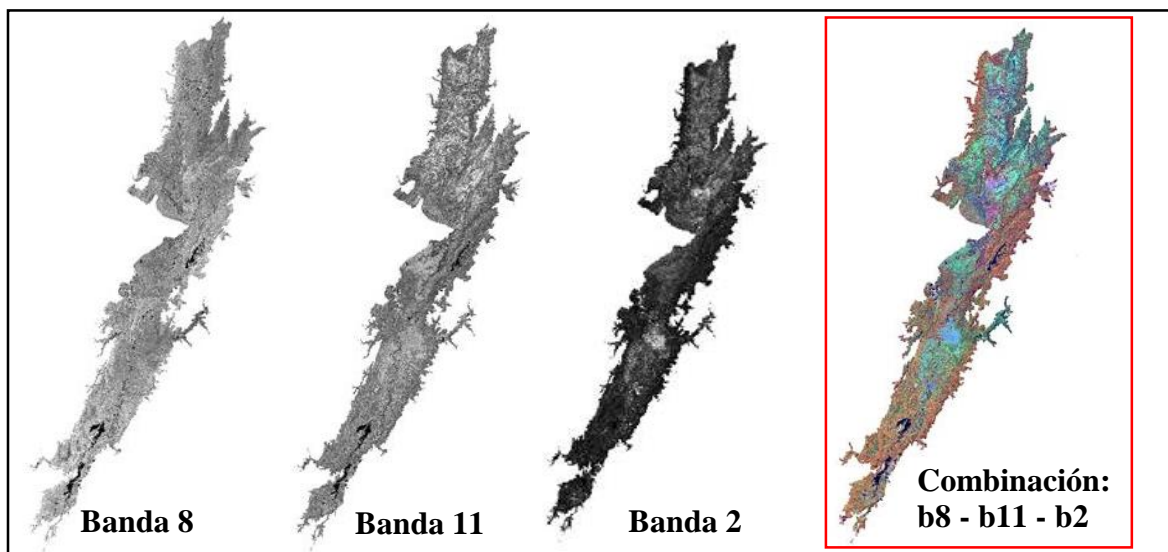
A continuación, se muestran algunas de las combinaciones que se tuvieron en cuenta en el desarrollo del proyecto.

Ilustración 10 Esquema de banda espectral Color Natural



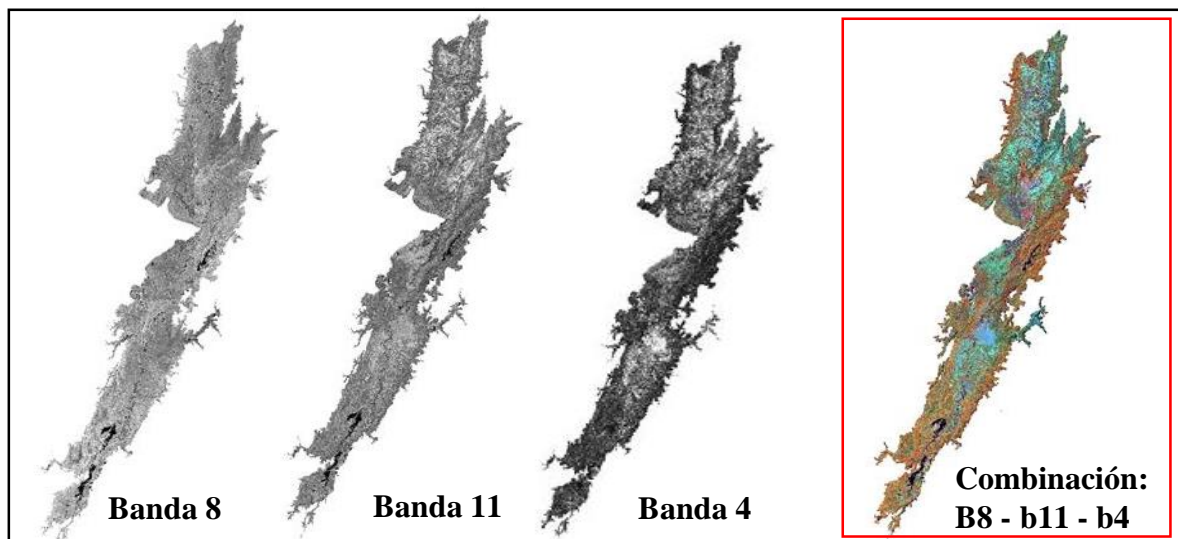
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 11 Esquema de banda espectral Vegetación saludable



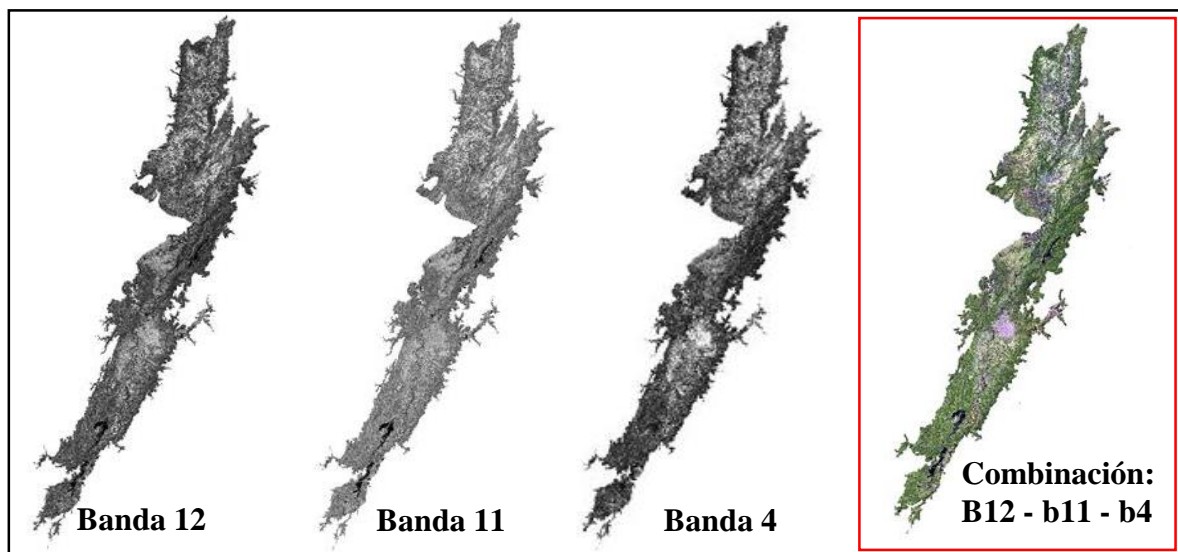
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 12 Esquema de banda espectral Tierra y Agua



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 13 Esquema de banda espectral Falso color urbano



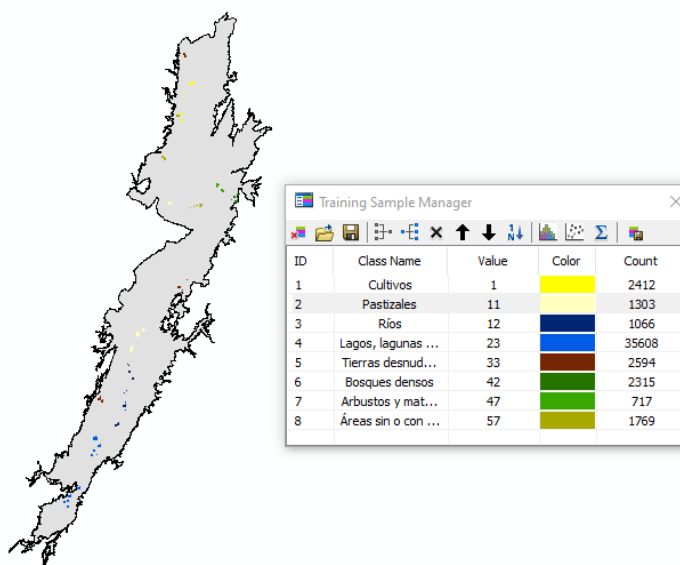
Fuente: Elaboración propia

7.7.2.3 Clasificación de Coberturas de la tierra según la Metodología Corine Land

Cover

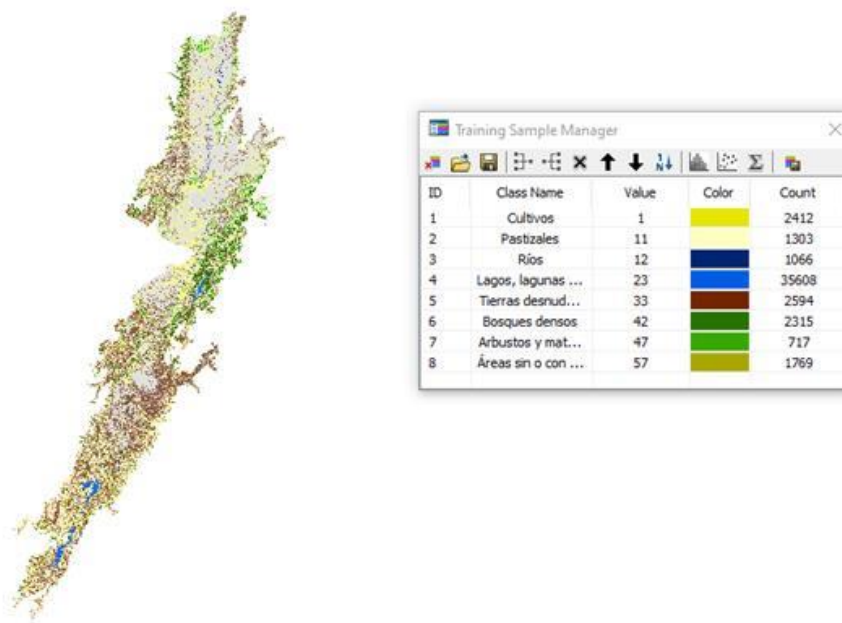
La zona del alto valle del Magdalena, cuenta con una mayor proporción de tierras desnudas, cultivos, lagos y ríos; sin embargo, se encuentran otras categorías de coberturas de la tierra como las áreas con poca vegetación, pastizales y bosques densos. Para llevar a cabo la clasificación de las coberturas se utilizó la metodología Corine Land Cover homologada para Colombia (IDEAM, IGAC, ONF ANDINA, & CORMAGDALENA, 2008), en donde se realizó la identificación e interpretación de la zona creando una cantidad representativa de polígonos para cada tipo de cobertura, de tal manera que permitieran obtener un mayor grado de precisión a la hora de clasificarlas, generando como resultado una capa temática a escala 1:3.000.000. La clasificación se llevó a cabo de forma manual, lo cual implica delimitar y clasificar los polígonos o zonas por medio del uso de la combinación de bandas ya mencionadas.

Ilustración 14 Área de estudio con los polígonos para cada tipo de cobertura



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 15 Área de estudio clasificada por tipos de coberturas



Fuente: Elaboración Propia

7.7.2.4 Reclasificación de variables espaciales



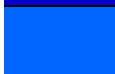






Para tener una base de las variables más representativas a la hora de implementar este tipo de sistemas, se realizó una encuesta virtual a expertos a través de la herramienta formularios de Google, con el fin de conocer su opinión acerca del nivel de importancia que según su experiencia tienen las diferentes variables espaciales que se van a utilizar en la ejecución de este proyecto. En esta encuesta se solicitó asignar valores en una escala porcentual de 0 a 100% para cada una de las variables. Por lo tanto, a las que consideraran más importantes le asignarían un mayor porcentaje.

Para llevar a cabo este análisis es importante definir cuáles son las variables y los criterios a evaluar, teniendo en cuenta las mejores condiciones para la implementación de un sistema de paneles solares.

A continuación, se muestra una breve explicación de cada una de ellas y su respectivo proceso.

Radiación: Es la principal variable que se debe tener en cuenta a la hora de instalar un Sistema de paneles solares, ya que estos sistemas requieren una buena exposición al sol, para obtener una mejor eficiencia, por lo que se recomienda que la zona no tenga árboles u objetos que bloqueen la incidencia de los rayos solares. Cabe resaltar que a pesar de que a veces se presenten días nublados, la radiación se verá afectada por las nubes, pero va a seguir existiendo; las nubes lo que hacen es que la reflejan, la absorben y la difuminan, pero no impiden que gran parte de esa radiación alcance la superficie de la tierra. Lo importante es que no exista objetos encima del panel que dificulten el proceso. La unidad de medida de esta variable son los Kilowatt hora (KWh), la cual es una medida de energía que equivale a 1,000 watt consumidos en un periodo de una hora.

Tabla 4 Clasificación general de la Radiación

Color	Intensidad (KWh/m²*h)	Tipos de Radiación
	1,5 – 2,0	Radiación muy baja
	2,0 – 2,5	Radiación Baja
	2,5 – 3,0	Radiación tenue
	3,0 – 3,5	Radiación leve
	3,5 – 4,0	Radiación moderada
	4,0 – 4,5	Radiación alta
	4,5 – 5,0	Radiación muy alta
	5,0 – 5,5	Radiación fuerte
	5,5 -6,0	Radiación muy fuerte

	6,0 -6,5	Radiación intensa
	6,5 – 7,0	Radiación muy intensa

Fuente: (IDEAM, 2017)

Precipitación: Es un fenómeno natural que al ser de intensidad moderada o ligera no genera efectos negativos en los sistemas solares, al contrario, las precipitaciones moderadas son beneficiosas para una instalación solar, ya que limpian la superficie de los paneles, quitando el polvo y la suciedad que por la exposición a la intemperie pueden recoger, lo que podría disminuir su rendimiento. Adicional, también ayudan a disminuir la temperatura del panel, logrando que la producción del sistema aumente luego de pasar la precipitación. Cabe resaltar que hay que tener precaución y realizar un constante mantenimiento, para evitar que se generen acumulaciones de agua en los paneles, ya que, se podrían ocasionar corrosiones. A esta variable se le realizó una reclasificación teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la zona y que categorías estarían incluidas dentro de ella. La precipitación se mide en milímetros (mm) de agua, teniendo en cuenta que 1mm equivale a $1 L/m^2$.

A continuación, se muestra la categorización de las precipitaciones de acuerdo a su intensidad.

Tabla 5 Clasificación general de la precipitación.

Color	Intensidad (mm/h)	Tipo de precipitación
	0'4 a 1	Lluvia muy débil
	1 a 2'5	Lluvia débil
	2'5 a 6'5	Lluvia ligera
	6'5 a 16	Lluvia moderada
	16 a 40	Lluvia fuerte

	40 a 100	Lluvia muy fuerte a torrencial
	100 a 250	Torrencial
	Mayor a 250	Torrencial y granizo
	Mayor a 300	Granizo de gran tamaño

Fuente: (MeteoLobios, 2013)

Temperatura: Esta variable hace referencia a la cantidad de calor que debe estar presente en la zona, para una mejor eficiencia de estos sistemas; La temperatura optima de funcionamiento se encuentra entre los 25°C a los 35°C. Por encima de esa temperatura, el rendimiento se comienza a reducir, entonces hay que tener en cuenta que no siempre los lugares con las temperaturas más altas son los ideales para implementar este tipo de energía, pues a 40 °C el rendimiento del panel solar suele pasar del 100% al 80%. Teniendo en cuenta esto, es necesario realizar una reclasificación a esta variable para asegurar que el sistema sea instalado en una zona donde el rango de temperatura sea el adecuado.

Tabla 6 Clasificación general de la Temperatura

Color	Intensidad (°C)	Tipo de Temperatura
	8°C – 16°C	Frío
	16°C – 24°C	Templado
	24°C – 28°C	Tropical
	28°C – 30°C	Cálido
	Mayor a 30°C	Seco

Fuente: (Köppen, s.f.)

Pendientes: Hace referencia al grado de inclinación del terreno, teniendo en cuenta el objetivo de este proyecto, las zonas en donde sería más eficiente un sistema de paneles, son aquellas donde la pendiente no es tan pronunciada, esto debido a que, a la hora de instalar el panel, es necesario tener en cuenta el grado de inclinación y si el terreno presenta una pendiente fuertemente inclinada, sería difícil obtener el ángulo óptimo de inclinación. Además, se debe tener en cuenta la dirección de la pendiente, puesto que, si el terreno inclinado, está orientado hacia el norte, probablemente generara una rentabilidad muy baja, ya que, para captar el sol es necesario que los paneles puedan orientarse hacia el sur, que es la dirección en la cual se va a generar una mayor incidencia de luz solar.

En cuanto a la pendiente, esta se puede reclasificar de dos maneras, en grados y porcentaje según diferentes autores, para este proyecto se utilizó la reclasificación en porcentaje según como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 7 Clasificación general de la Pendiente

Color	Intensidad (%)	Tipos de Pendiente
	0% – 3%	A nivel
	3% - 5%	Ligeramente inclinada
	5% - 12%	Moderadamente inclinada
	12% - 25%	Fuertemente inclinada
	25% - 50%	Fuertemente quebrada
	50% - 75%	Moderadamente escarpada
	75% - 100%	Fuertemente escarpada

Fuente: (Rodriguez, 2019)

Coberturas: Las plantas fotovoltaicas, se asientan habitualmente en terrenos con un relieve llano u ondulado, que coincide en muchas ocasiones con terreno agrícola de alta capacidad de soporte de vegetación (ambiNor, 2019), por lo tanto, una implementación de estos sistemas puede generar un impacto ambiental, pero, teniendo en cuenta la zona de estudio, en este caso existen zonas que se ven afectadas por la erosión y por ende son poco cultivables, por ende, se debe tener en cuenta la calidad agronómica del suelo, la cual, varía de unos terrenos a otros. Las mejores zonas para implementar esta energía son los terrenos planos que han sido degradados por actividades antrópicas, con el fin de evitar la afectación a suelos de mayor calidad. Para esta variable se utilizó la Metodología Corine Land Cover mencionada anteriormente.

Tabla 8 Clasificación general de las Coberturas

Color	Tipos de cobertura	Clasificación	Subclasificación
		Zonas urbanizadas	-Tejido urbano continuo
			-Tejido urbano discontinuo
		Territorios artificializados	-Zonas industriales o comerciales
			-Red vial, ferroviarias y

Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	terrenos asociados -Zonas portuarias -Aeropuertos -Obras hidráulicas
Zonas de extracción minera y escombreras	-Zonas de extracción minera -Escombreras y vertederos
Zonas verdes artificializadas, no agrícolas	-Zonas verdes urbanas -Instalaciones recreativas
Cultivos anuales o transitorios	-Otros cultivos anuales o transitorios -Algodón Arroz -Papa

Territorios agrícolas	Cultivos permanentes	-Otros cultivos permanentes	
		-Caña de azúcar	
		-Caña panelera	
		-Banano y plátano	
		-Café	
		-Cacao	
		-Palma africana	
		-Frutales	
		-Cultivos confinados	
		<hr/>	
		Pastos	-Pastos limpios
			-Pastos arbolados
			-Pastos enmalezados o enrastrados
			<hr/>
		-Mosaico de cultivos	
		-Mosaico de pastos y cultivos	

	Áreas agrícolas heterogéneas	<ul style="list-style-type: none"> -Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales -Mosaico de pastos con espacio de naturales
	Bosques	<ul style="list-style-type: none"> -Bosque natural denso -Bosque natural fragmentado -Bosque de galería y/o ripario -Bosque de mangle -Bosque plantado
	Bosques y áreas seminaturales	<ul style="list-style-type: none"> -Pastos naturales y sabanas -Arbustos y matorrales

	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	-Vegetación esclerófila y/o espinosa
		-Vegetación de paramo y subparamo
		-Vegetación rupícola
		-Playas, arenales y dunas
		-Afloramiento rocosos
		-Tierras desnudas o degradadas
	Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	-Zonas quemadas
		-Zonas glaciales y nivales
		-Zonas pantanosas
	Áreas húmedas continentales	-Turberas -Esteros

Áreas húmedas	-Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	-Marismas
	Áreas húmedas costeras
	-Salinas
	-Zonas intermareales
	-Ríos
	-Lagunas, lagos y ciénagas naturales
	Aguas continentales -Canales
	-Embalses y cuerpos de agua
	-Lagunas costeras
Superficies de agua	-Estuarios
	Aguas marítimas -Mares y océanos
	-Estanques para acuicultura

Fuente: (IDEAM, IGAC, ONF ANDINA, & CORMAGDALENA, 2008)

Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada(NDVI): Es un índice de vegetación que se utiliza para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Para este cálculo, es necesaria la información que se encuentra en las bandas roja e infrarroja del espectro electromagnético (Alonso, MappingGIS, 2018). Los resultados que arroja este cálculo, son importantes para determinar las mejores zonas, ya que este índice indica los lugares donde hay suelos desnudos, con poca vegetación, con vegetación arbustiva y con vegetación densa; Siendo las zonas más aptas para implementar estos sistemas, las de suelos desnudos o con poca vegetación, es decir, el NDVI debe estar en un rango de 0,1 a 0,33 que indicara los lugares más aptos para implementar esta energía.

Para llevar a cabo el cálculo del NDVI es necesario realizar la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{(NIR - VIS)}{(NIR + VIS)}$$

Es decir, el NDVI es igual a la diferencia entre la reflectancia de las bandas 4 (infrarrojo cercano) y 3 (visible – rojo) dividido por la suma de estas dos bandas de reflectancia (Alonso, MappingGIS, s.f.).

Tabla 9 Clasificación general del Índice de Vegetación Normalizada

Color	Intensidad	Tipos de NDVI
	-1 a 0	Zonas sin vegetación u objetos
	0,1 a 0,33	Suelos desnudos o con poca vegetación
	0,34 a 0,66	Vegetación sana
	0,67 a 1	Vegetación densa

Fuente: (Toribio, 2019)

Aspecto del terreno: esta variable identifica la dirección de la pendiente a la que apunta la superficie; se mide en sentido de las agujas del reloj en grados. En otras palabras, calcula la dirección de la iluminación solar para cada ubicación en una región determinada. Su clasificación es la siguiente:

Tabla 10 Clasificación aspecto del terreno

Color	Intensidad	Tipos de Pendiente
	Sin pendiente	Plano
	0° - 22,5°	Norte
	22,5° - 67,5°	Noreste
	67,5° - 112,5°	Este
	112,5° - 157,5°	Sureste
	157,5° - 202,5°	Sur
	202,5° - 247,5°	Suroeste
	247,5° - 292,5°	Oeste
	292,5° - 337,5°	Noroeste
	337,5° - 360°	Norte

Fuente: (esri, s.f.)

Teniendo en cuenta los criterios descritos anteriormente, implícitamente se da a entender las características de las zonas no aptas para la implementación de este tipo de energía, como lo son las zonas donde hay poca o nula radiación solar, donde se presentan constantemente precipitaciones prolongadas y zonas que cuentan con una temperatura entre los 5°C y 20°C.

7.7.2.5 Análisis Multicriterio

Se utiliza cuando se analiza un solo objetivo, en el que intervienen diversos atributos que ayudan a lograr el resultado final, como en este caso. Este análisis consiste en normalizar la escala valorativa, para que todos los criterios pueden evaluarse de la misma forma y posteriormente aplicar un peso de importancia relativa para cada criterio (Cobos , Solano, Vera , & Monge).

Para llevar a cabo este análisis se asignaron puntajes normalizados a cada categoría de las variables espaciales, teniendo en cuenta que las de mayor importancia tendrán un grado elevado de impacto en el desarrollo del análisis (Ver tabla 11).

Tabla 11 Rangos de la ponderación

Ponderación	Significado
1	No aceptable
2	Aceptable
3	Muy aceptable
4	Optimo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Variables y ponderaciones para el análisis multicriterio

CRITERIOS	CLASIFICACIÓN	PONDERACIÓN ASIGNADA
Radiación	4.0 – 4.5 KWh/m2/día	1
	4.5 – 5.0 KWh/m2/día	2
	5.0 – 5.5 KWh/m2/día	3
	5.5 – 6.0 KWh/m2/día	4

	Lluvia muy fuerte y granizo (200mm – 300mm)	2
Precipitación	Lluvia fuerte (100mm – 200mm)	3
	Lluvia moderada (0 mm – 100 mm)	4
Temperatura	Temperaturas altas (36°C – 42°C)	4
	Temperaturas medias (24°C – 30°C)	2
	Temperaturas bajas (13°C - 19°C)	1
Pendiente	Plano	4
	Ligeramente inclinada	3
	Moderadamente inclinada	2
	Fuertemente inclinada	1
	Fuertemente quebrada	1
	Moderadamente escarpada	1
	Fuertemente escarpada	1
Coberturas	Cultivos	1
	Pastizales	4
	Lagos, lagunas y ciénagas	1
	Tierras desnudas o degradadas	4

	Bosques densos	1
	Arbustos y matorrales	1
	Áreas sin o con poca vegetación	4
	Ríos	1
	Zonas sin vegetación	4
Índice de vegetación Normalizada	Suelos con poca vegetación	3
	Vegetación sana	1
	Vegetación densa	1
Aspecto del terreno	Plano	4
	Norte	4
	Noreste	3
	Este	3
	Sureste	1
	Sur	1
	Suroeste	1
	Oeste	2
	Noroeste	2
	Norte	4

Fuente: Elaboración propia

7.7.2.6 Método Directo

Con este método los elementos de decisión son valores asignados entre 0- 100%. La sumatoria debe dar 100%. Dicho de otra manera, los pesos de cada variable serán ponderados en

una escala porcentual de 0% a 100% teniendo en cuenta su grado de importancia para la implementación de un sistema de paneles solares. Es decir, a la(s) variable(s), cada experto puede considerar más importante(s) le asignara un mayor porcentaje. La suma de los pesos deberá sumar 100%. Dos o más variables pueden tener el mismo peso.

7.7.2.7 Comparaciones de Pairwise (Pares de Saaty)

Es un proceso que se lleva a cabo a través del análisis jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty, el cual está diseñado para resolver problemas complejos de criterios múltiples. Las comparaciones pareadas son la base fundamental del AHP, el cual utiliza una escala subyacente con valores de 1 a 9 (ver tabla 5) para calificar las preferencias relativas de las variables utilizadas teniendo en cuenta los resultados de cada uno de los expertos. Teniendo como finalidad hacer evaluaciones subjetivas de acuerdo a la importancia de cada criterio, en donde el resultado obtenido es básicamente una jerarquización con prioridades.

Tabla 13 Análisis jerárquico de Tomas Saaty

$$\text{AHP} = \text{Tabla: } \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}$$

a_{ij} vale	Cuando el criterio i , al compararlo con el j , es:
1	Igualmente importante
3	Ligeramente más importante
5	Notablemente más importante
7	Demostrablemente más importante
9	Absolutamente más importante

Fuente: Barba-Romero y Pomerol (1997). Nota: pueden utilizarse las cifras intermedias 2, 4, 6 y 8 para valores correspondientes.

7.7.2.8 Ponderación de criterios

Es un proceso que se lleva a cabo luego de calcular los métodos anteriores, esta ponderación consiste en combinar los resultados finales de cada método con el objetivo disminuir el error de cada uno. Al realizar este análisis el resultado final fue el peso total de cada una de las variables que se tuvieron en cuenta para crear el modelo, este proceso ayuda a mejorar la veracidad y coherencia de los resultados.

7.7.2.9 Análisis de superposición de las variables espaciales

En la superposición de rásteres, cada celda de cada capa hace referencia a la misma ubicación geográfica. Esto la hace apta para combinar las características de varias capas en una sola capa. Generalmente, se asignan valores numéricos a cada característica, lo que le permite combinar matemáticamente las capas y asignar un nuevo valor a cada celda en la capa de salida.

En el software Arcgis con la herramienta weighted overlay se realiza la superposición de las 7 variables reclasificadas para obtener un raster final donde se evidencia cuáles son las zonas idóneas para implementar un sistema de paneles solares, ya que gracias a esta herramienta se puede identificar donde se concentran las clases más adecuadas y que generarían un eficaz funcionamiento de este sistema.

7.7.3 Objetivo 3

Para identificar los impactos positivos y negativos que puede dejar este proyecto, se realizó una búsqueda bibliográfica, con el fin de mostrar los beneficios que podrían llegar a obtener traer una comunidad mediante el uso de alternativas renovables, que hoy en día no se tienen en cuenta. Finalizada la búsqueda, se procede a realizar una interpretación de los resultados obtenidos en el proyecto, para identificar y plasmar los impactos que dejarían en la zona de estudio la implementación de un sistema de paneles solares.

7.7.3.1 Método de evaluación ambiental

Para estudiar los impactos ambientales se requiere de métodos que aportan elementos importantes para la organización y evaluación de las actividades sobre el medio en que se presenta el proyecto. Dentro de las metodologías que se encuentran para la elaboración de una evaluación de impacto ambiental, se realizó la selección que más se ajusta a las necesidades del proyecto; la identificación e interpretación de las consecuencias ambientales del proyecto se llevó a cabo por el método matricial de Gómez Orea, el cual permitió identificar las acciones y el medio a ser impactado, las posibles alteraciones y valorar las mismas.

Tabla 14 Parámetros de medición del método matricial

	Benéfico	+
	Perjudicial	-
1. Signo	Previsible, pero difícil de calificar Sin estudios de detalle	x
	Baja	1
2. Intensidad	Media	2
	Alta	3
	Puntual	1
3. Extensión	Parcial	2
	Extenso (todo el ámbito)	3
	Inmediato	3
	Medio	2

4. Momento en que se produce	Largo plazo	1
	Temporal	1
5. Persistencia	Permanente	3
	Imposible	4
6. Reversibilidad del efecto	Largo plazo	3
	Mediano plazo	2
	Corto plazo	1
7. Posibilidad de introducir medidas correctivas	Proyecto	P
	Obra	O
	Funcionamiento	F
	No es posible	N
8. Importancia	La matriz la presenta, junto con el signo y la posibilidad de introducir medidas correctivas	

Fuente: (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018)

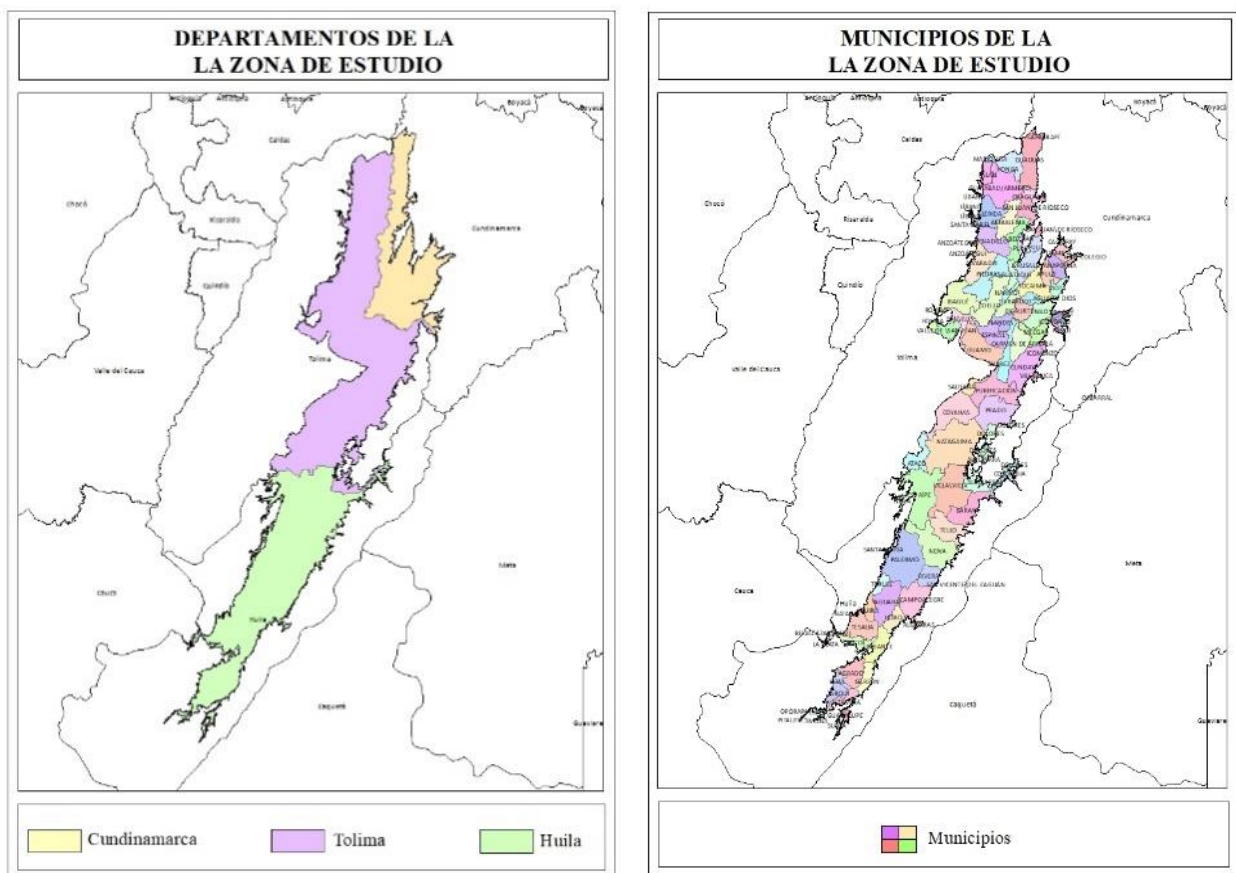
Teniendo en cuenta el método matricial de Gómez Orea, se procedió a la elaboración de la matriz en donde se realizó la valoración de los impactos ambientales del uso de energía solar por medio de paneles fotovoltaicos, durante las fases de adecuación, operación y ciclo final; Los impactos ambientales negativos en el sistema de paneles fotovoltaicos se manifiestan a partir de la terminación de la vida útil de este, al cumplirse entre 25 a 30 años de servicio.

8. RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron con la ejecución de este trabajo están encaminados a mejorar la calidad de vida de los habitantes de las diferentes zonas del alto valle del Magdalena, que aún no cuentan con energía eléctrica o que sufren continuamente por falencias en la prestación del servicio, ya que, con esta zonificación es posible determinar qué lugares del área de estudio podrían ser potenciales generadores de energía solar.

A continuación, se muestran los departamentos, municipios y ríos que conforman la zona de estudio.

Mapa 4. Departamentos - Municipios zona



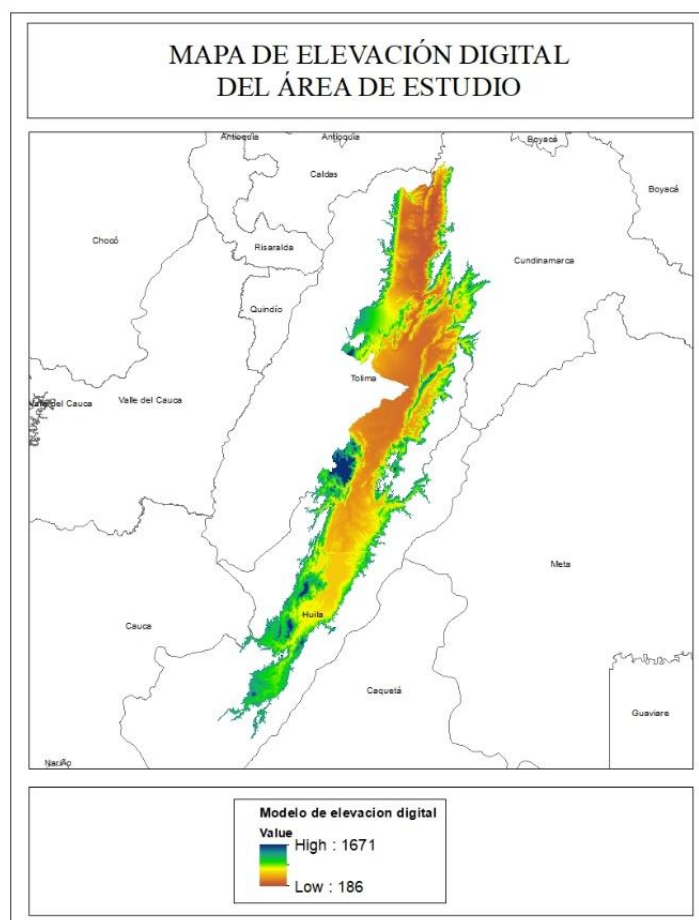
Fuente: Elaboración propia

La zona de estudio está conformada por los departamentos de Cundinamarca, Tolima y Huila, de los cuales abarca un área de 2128.91 Km², 6072.87 Km² y 4379.53 Km² respectivamente en cada uno; siendo la zona del Tolima la de mayor extensión; A su vez está integrada por un total de 95 municipios, en donde 34 hacen parte del Tolima, 32 del Huila y 29 de Cundinamarca. En cuanto a la hidrografía, esta zona esta bañada por diferentes ríos y quebradas, en donde se encuentran algunos de los principales ríos de Colombia, como el río Bogotá, el río Magdalena, el río Apulo, río Sumapaz, río Calandaima, río Coello y de más vertientes.

Como base fundamental para el análisis espacial que se llevó a cabo, se utilizó un modelo de elevación digital, con él que se identificó la altura de la zona de estudio en la que se realiza el proyecto, lo que sirvió de base para dar claridad a las condiciones climáticas que se encuentran en el área. Esta zona cuenta con terrenos que llegan a una altura máxima de 1671 msnm y una mínima de 186 msnm.

A continuación, se muestra el DEM del área de estudio específica, en donde se evidencia que la mayor parte de esta zona está conformada por lugares de poca altitud.

Mapa 5. Mapa de elevación digital



Fuente: Elaboración propia.

Las variables espaciales utilizadas para identificar las zonas óptimas en donde se podrían implementar paneles solares fueron la radiación, precipitación, temperatura, pendiente, aspecto del terreno, Índice de vegetación normalizada y coberturas. Al tener en cuenta estas variables, es posible determinar los lugares que cuentan con las características más idóneas para la instalación de un sistema fotovoltaico, ya que estas se encuentran clasificadas por unas categorías que permiten distinguir las condiciones de una zona y otra.

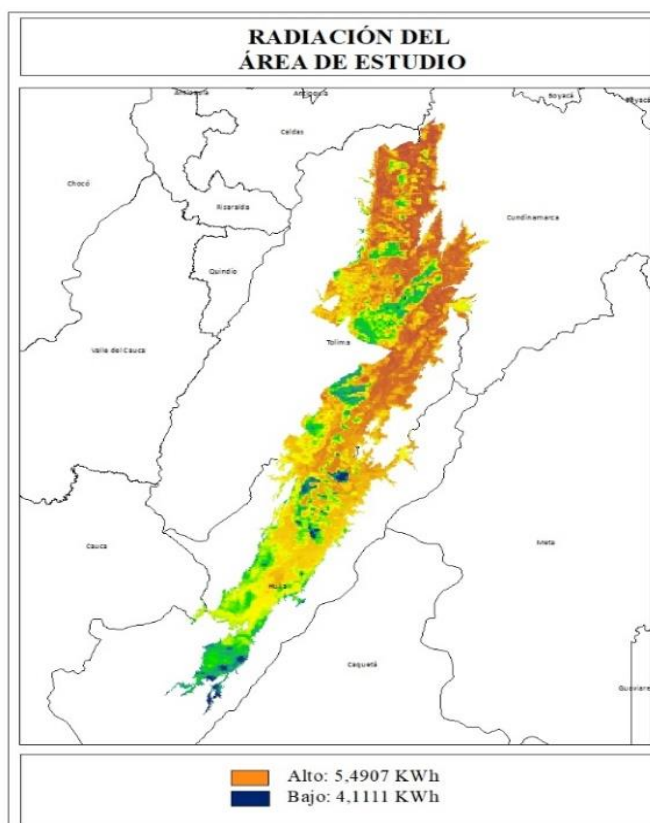
A continuación, se muestra el área de estudio específica con cada una de las variable y sus respectivas clasificaciones por categorías, las cuales fueron seleccionadas teniendo en cuenta las características de la zona de estudio:

- Radiación:

Tabla 15 Clasificación de la Radiación de acuerdo al área de estudio

Clasificación	Categorías
Radiación Bajas	7 °C – 19° C
Radiación Medias	19 °C – 30 °C
Radiación Altas	30 °C – 42 °C

Mapa 6. Radiación del área de estudio



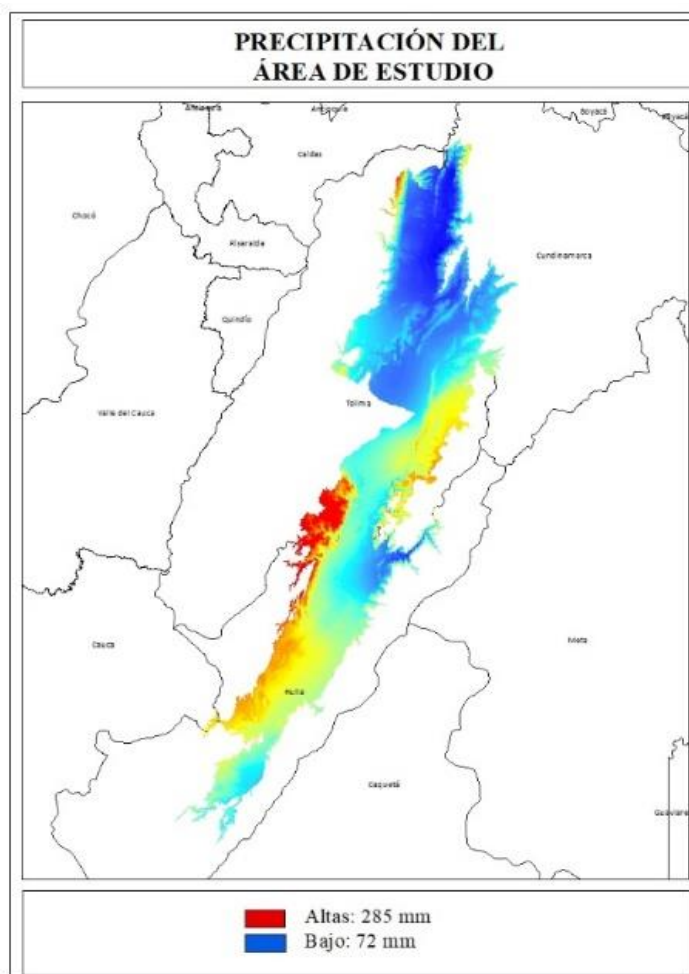
Fuente: Elaboración propia.

- Precipitación:

Tabla 16 Clasificación de la Precipitación de acuerdo al área de estudio

Clasificación	Categorías
Precipitaciones Bajas	0 – 100 mm
Precipitaciones Medias	100 mm – 200 mm
Precipitaciones Altas	200 mm – 300 mm

Mapa 7. Precipitación área de estudio



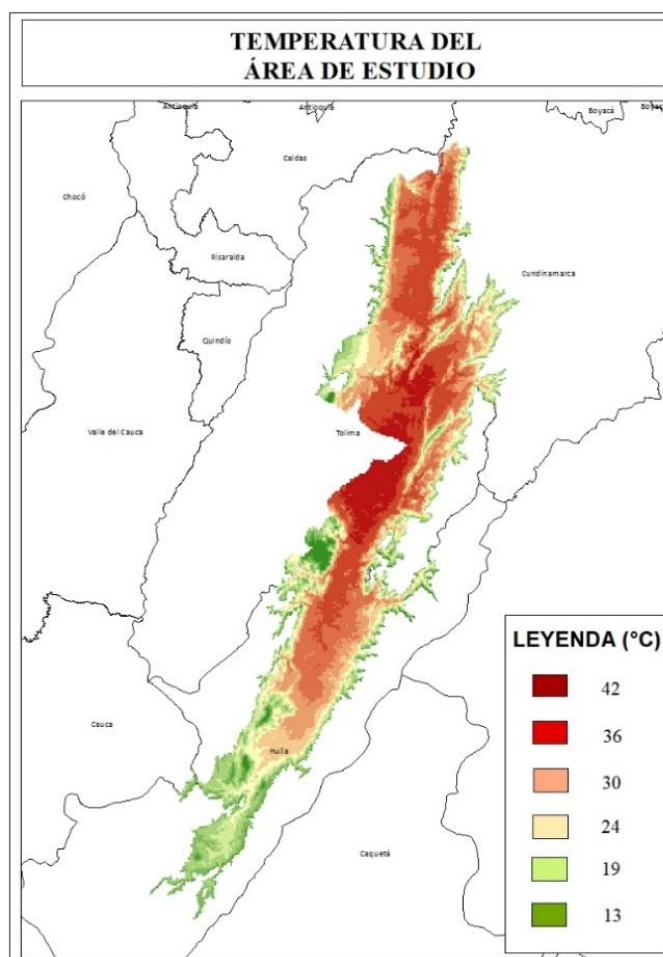
Fuente: Elaboración propia.

- Temperatura:

Tabla 17 Clasificación de la Temperatura de acuerdo al área de estudio

Clasificación	Categorías
Temperaturas Bajas	7 °C – 19° C
Temperaturas Medias	19 °C – 30 °C
Temperaturas Altas	30 °C – 42 °C

Mapa 8. Temperatura del área de estudio



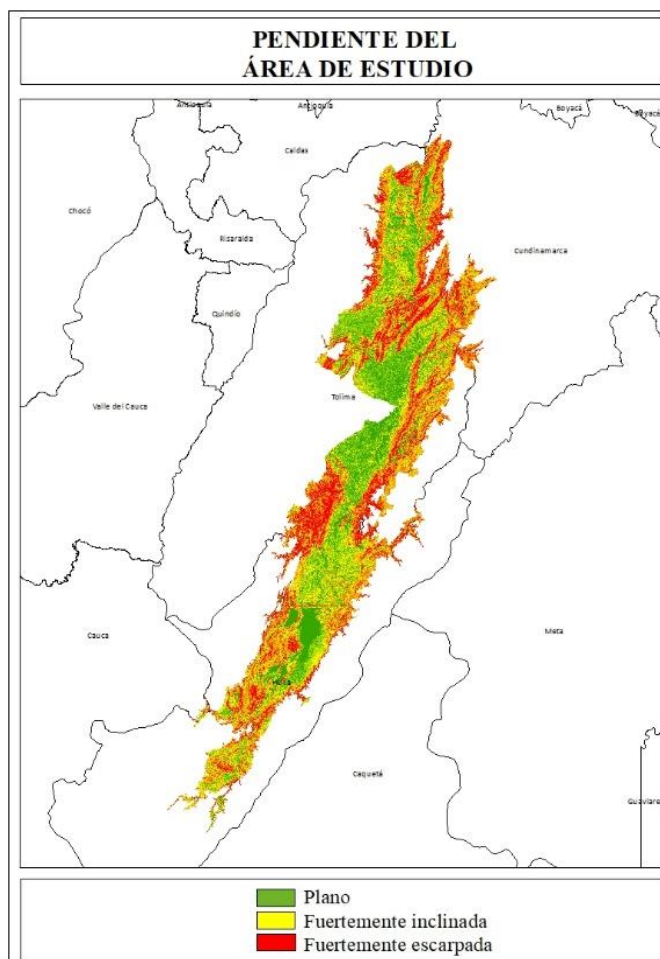
Fuente: Elaboración propia.

- Pendiente:

Tabla 18 Clasificación de las Pendientes de acuerdo al área de estudio

Clasificación	Categorías
Precipitaciones Bajas	0 – 100 mm
Precipitaciones Medias	100 mm – 200 mm
Precipitaciones Altas	200 mm – 300 mm

Mapa 9. Pendientes del área de estudio



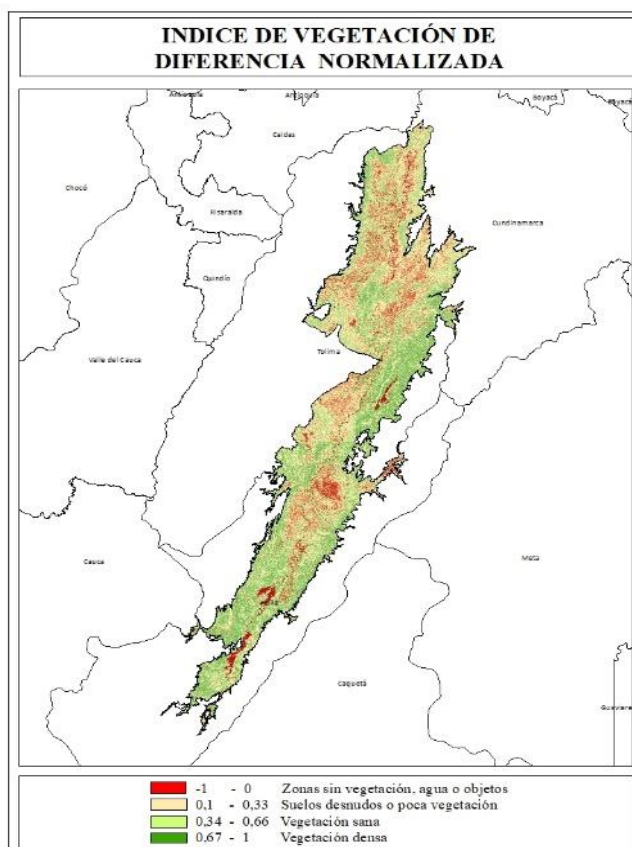
Fuente: Elaboración propia.

- Índice de vegetación normalizada:

Tabla 19 Clasificación del NDVI de acuerdo al área de estudio

Clasificación	Categorías
Zonas sin vegetación u objetos	-1 a 0
Suelos desnudos o con poca vegetación	0,1 a 0,33
Vegetación sana	0,34 a 0,66
Vegetación densa	0,67 a 1

Mapa 10. NDVI del área de estudio



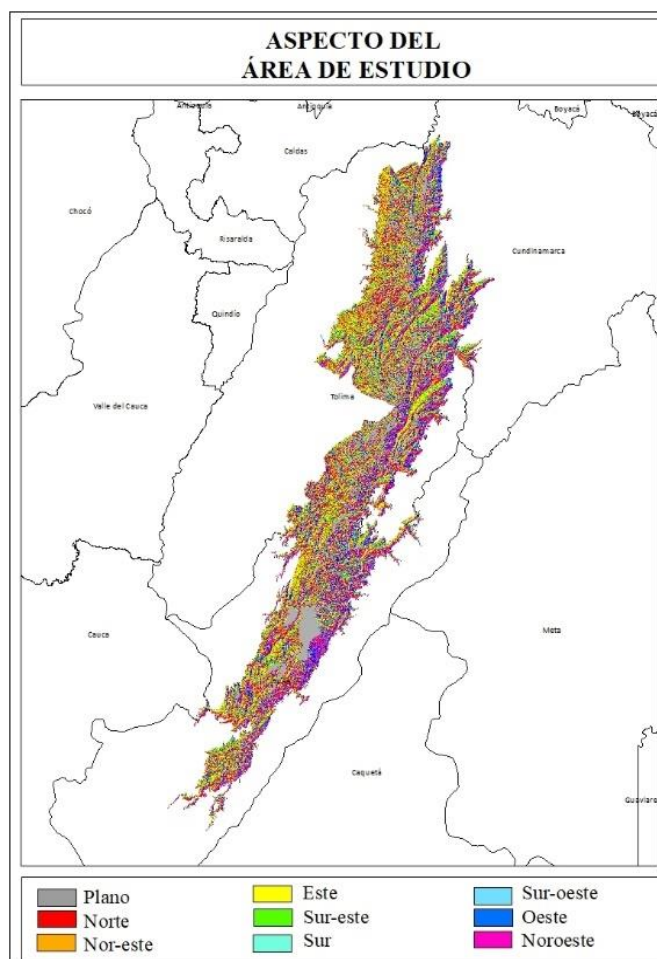
Fuente: Elaboración propia.

- Aspecto del terreno:

Tabla 20 Clasificación del Aspecto de acuerdo al área de estudio

Clasificación	Categoría
Plano	Sin pendiente
Norte	0° - 22,5°
Noreste	22,5° - 67,5°
Este	67,5° - 112,5°
Sureste	112,5° - 157,5°
Sur	157,5° - 202,5°
Suroeste	202,5° - 247,5°
Oeste	247,5° - 292,5°
Noroeste	292,5° - 337,5°
Norte	337,5° - 360°

Mapa 11. Aspecto del área de estudio



Fuente: Elaboración propia

- Coberturas:

Tabla 21 Clasificación de las Coberturas de acuerdo al área de estudio

Tipos de cobertura	Clasificación	Subclasificación
		-Otros cultivos anuales o transitorios

	Cultivos anuales o transitorios	-Algodón -Arroz -Papa
Territorios agrícolas		-Pastos limpios -Pastos arbolados
	Pastos	-Pastos enmalezados o enrastrajados
Bosques y áreas seminaturales		-Bosque natural denso
		-Bosque natural fragmentado
	Bosques	-Bosque de galería y/o ripario
		-Bosque de mangle
		-Bosque plantado
		-Pastos naturales y sabanas

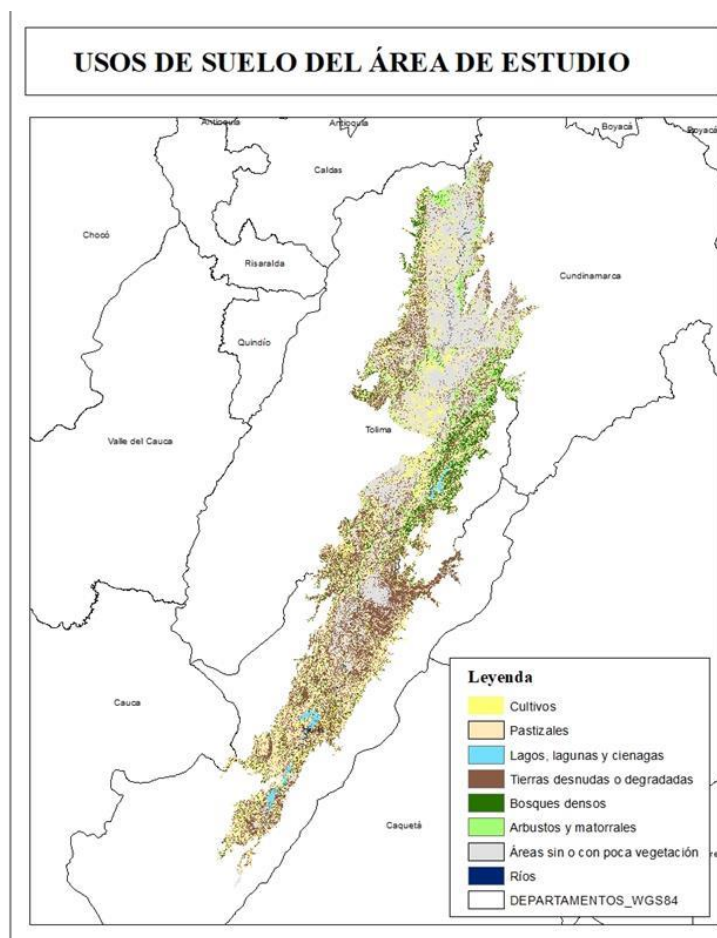
	-Arbustos y matorrales
	-Vegetación esclerófila y/o espinosa
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	-Vegetación de paramo y subparamo
	-Vegetación rupícola

	-Playas, arenales y dunas
	-Afloramiento rocosos
Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	-Tierras desnudas o degradadas
	-Zonas quemadas
	-Zonas glaciales y nivales

	-Ríos
--	-------

Superficies de agua Aguas continentales -Lagunas, lagos
y ciénagas
naturales
-Canales
-Embalses y
cuerpos de agua

Mapa 12. Coberturas del área de estudio

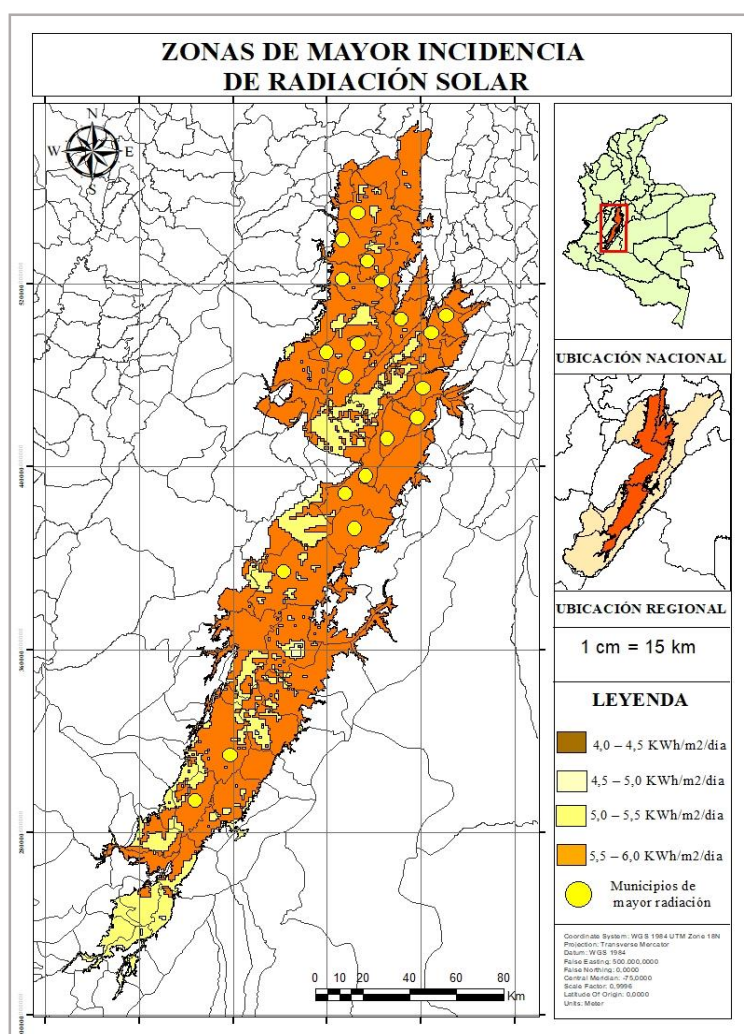


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la clasificación de cada una de las variables, se identificó el rango de importancia de las categorías en las cuales se dividen, esto, teniendo en cuenta el conocimiento de los cinco expertos que compartieron su punto de vista frente al tema. Determinar dicha importancia permitió descartar categorías que no cuentan con las condiciones necesarias para que sea eficiente un sistema de paneles solares.

8.2 Zonas de mayor incidencia de radiación solar

Mapa 13. Intersección Radiación Solar - Municipios



Fuente: Elaboración propia

Al realizar esta intersección se puede evidenciar que la mayoría de municipios del área de estudio específica, presentan una alta incidencia de radiación solar entre los 5,5 – 6,0 KWh/m²/día; resaltando que los únicos municipios que presentan esta radiación al 100% son el Carmen de Apicalá y Suarez, Tolima.

Como se muestra en la leyenda del mapa se tuvieron en cuenta cuatro categorías para clasificar la radiación y en base a estas se determinaron las mejores zonas.

Tabla 22 Categorías clasificación de la radiación

Categoría	Clasificación
1	4,0 – 4,5 KWh/m ² /día
2	4,5 – 5,0 KWh/m ² /día
3	5,0 – 5,5 KWh/m ² /día
4	5,5 – 6,0 KWh/m ² /día

A continuación, se muestran los 20 municipios más representativos del área de estudio de acuerdo a la mayor incidencia de radiación solar:

Tabla 23 Municipios con mayor incidencia de radiación solar

Municipios	Área Km²	Categoría	Porcentaje
Carmen de Apicalá	190,567219	4	100%
Suarez	189,541018	4	100%
Guataquí	88,956306	4	100%
Apulo	118,843174	4	92%
Anapoima	123,524645	4	91%
Nilo	224,385216	4	88%

Prado	418,096226	4	92%
Melgar	202,651885	4	93%
Armero guayabal	439,257141	3	11%
		4	73%
Ambalema	238,048661	3	8%
		4	92%
Lérida	272,631936	3	4%
		4	76%
Beltrán	177,83997	3	2%
		4	94%
Coello	341,706646	3	8%
		4	92%
Palermo	885,146392	3	23%
		4	52%
Yaguará	333,012406	3	25%
		4	75%
Natagaima	860,677552	3	27%
		4	75%
Purificación	406,236576	3	2%
		4	71%
Piedras	356,60501	3	30%
		4	70%
Jerusalén	223,004278	3	2%

		4	93%
Venadillo	340,896822	3	4%
		4	66%

Fuente: Elaboración propia

8.2 Combinación de bandas espectrales

Una de las potencialidades de la teledetección aplicadas al estudio del medio que nos rodea, es la capacidad de discriminar diferentes cubiertas vegetales, usos de suelo, masas de agua, o la detección de fenómenos naturales o provocados por la actividad humana. Esto puede analizarse gracias a la existencia de las diferentes bandas multiespectrales con las que cuentan los satélites de hoy día (Alonso, MappingGIS, 2018).

Las bandas de las imágenes satelitales se distribuyen a través de tres canales: rojo, verde y azul. El paso de cada banda por estos canales dotará de diferentes tonalidades los elementos dependiendo de la respuesta de los mismos frente a las longitudes de onda (Alonso, MappingGIS, 2018).

Tabla 24 Propiedades de las imágenes Sentinel – 2

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	738 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)

Fuente: (Alonso, MappingGIS, 2018)

Gracias a la resolución de las diferentes bandas se logró obtener imágenes que facilitaron la identificación de las coberturas del terreno, ya que estas composiciones permiten resaltar características específicas de la zona, que hace posible visualizar e interpretar de una mejor manera el área de estudio.

8.3 Método Directo

Los valores porcentuales asignados por los expertos fueron inicialmente analizados a través de una sumatoria lineal, con el fin de identificar que el total correspondiera a un valor de 100, luego de esto se prosiguió a sacar la representatividad de los valores asignados y por último se calculó el peso total, generándose un primer grupo de criterios para cada variable espacial. Este primer grupo es denominado como Método Directo.

Al analizar los resultados de la encuesta, se identificó que la cantidad de expertos que respondieron la encuesta fue un total de cinco (5), los cuales consideran que la variable radiación con un 38% es la de mayor importancia con respecto a las de más, seguida de la temperatura con un 13 %. En cuanto a las variables de precipitación promedio anual y aspecto del terreno consideran que cuentan con el mismo nivel de importancia con un valor de 11% y por último la pendiente, el índice de vegetación normalizada y las coberturas presentaron valores de

importancia relativamente cercanos (10 %, 0,8 y 0.8% respectivamente). Lo anteriormente descrito se puede observar en la tabla 7.

Tabla 25 Resultado Método directo

Variable	Radiación	Precipitación	Temperatura	Pendiente	Índice de vegetación	Aspecto	Coberturas	Total
Experto 1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	1
Experto 2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	1
Experto 3	0,5	0,2	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	1
Experto 4	0,3	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	1
Experto 5	0,5	0,06	0,1	0,1	0,06	0,1	0,08	1
	1,9	0,56	0,65	0,5	0,41	0,55	0,43	5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26 Peso de cada variable por el método directo

Método Directo	
Radiación	0,38
Precipitación	0,112
Temperatura	0,13
Pendiente	0,1
NVDI	0,082
Aspecto	0,11
Coberturas	0,086

Fuente: Elaboración propia

8.4 Comparaciones de Pairwise (Pares de Saaty)

La comparación por pares (AHP) corresponde al segundo grupo o método de evaluación de las respuestas. Los resultados que se obtuvieron del método directo (tabla 26) determinan que la variable con mayor peso corresponde a la radiación, ya que esta obtuvo una prioridad de 0,38. El segundo puesto lo ocupa la variable temperatura promedio anual con una prioridad de 0,13. En tercer lugar la precipitación promedio anual y el aspecto del terreno con un peso de 0,11 de importancia, seguidos de la pendiente del terreno 0,10. Finalmente se encuentran el índice de vegetación normalizada y las coberturas con un rango de 0.8 lo que indica que son las variables

de menor importancia (Ver tabla 26). Al realizar el método combinado o AHP se realizaron comparaciones subjetivas teniendo en cuenta la importancia de cada criterio, este análisis se realizó con los resultados de cada uno de los expertos. Continuando con el proceso se creó una matriz normalizada teniendo en cuenta el resultado de la clasificación para cada criterio, luego se generó un promedio de los resultados, lo que permitió finalmente calcular el peso total de las variables (ver tabla 37).

Tabla 27 Clasificación respuestas Experto 1

	Radiación	Precipitación	Temperatura	Pendiente	NVDI	Aspecto	Coberturas
Radiación	1	7	5	2	2	2	2
Precipitación	0,1	1	2	1	1	1	1
Temperatura	0,2	0,5	1	5	3	3	1
Pendiente	0,5	1	0,2	1	1	1	1
NVDI	0,5	1	0,3	1	1	1	1
Aspecto	0,5	1	0,3	1	1	1	1
Coberturas	0,5	1	1	1	1	1	1
Sumatoria	3,3	12,5	9,9	12	10	10	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28 Matriz normalizada Experto 1

Matriz normalizada							Promedio
0,30	0,56	0,5	0,17	0,2	0,2	0,25	0,31
0,04	0,08	0,20	0,08	0,1	0,1	0,13	0,10
0,06	0,04	0,10	0,42	0,3	0,3	0,13	0,19
0,15	0,08	0,02	0,08	0,1	0,1	0,13	0,09
0,15	0,08	0,03	0,08	0,1	0,1	0,13	0,10
0,15	0,08	0,03	0,08	0,1	0,1	0,13	0,10
0,15	0,08	0,10	0,08	0,1	0,1	0,13	0,11

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29 Clasificación respuestas Experto 2

	Radiación	Precipitación	Temperatura	Pendiente	NVDI	Aspecto	Coberturas
Radiación	1	9	5	5	5	3	5
Precipitación	0,1	1	2	2	2	1	2
Temperatura	0,2	0,5	1	2	2	1	2
Pendiente	0,2	0,5	0,5	1	2	1	2
NVDI	0,2	0,5	0,5	0,5	1	1	2
Aspecto	0,3	1	1	1	1	1	3
Coberturas	0,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	1

Sumatoria	2,2	13	10,5	12	13,5	8,3	17
-----------	-----	----	------	----	------	-----	----

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30 Matriz normalizada Experto 2

Matriz normalizada							Promedio
0,45	0,69	0,48	0,42	0,37	0,36	0,29	0,44
0,05	0,08	0,19	0,17	0,15	0,12	0,12	0,12
0,09	0,04	0,10	0,17	0,15	0,12	0,12	0,11
0,09	0,04	0,05	0,08	0,15	0,12	0,12	0,09
0,09	0,04	0,05	0,04	0,07	0,12	0,12	0,08
0,15	0,08	0,10	0,08	0,07	0,12	0,18	0,11
0,09	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,06	0,05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 Clasificación respuestas Experto 3

	Radiación	Precipitación	Temperatura	Pendiente	NVDI	Aspecto	Coberturas
Radiación	1	7	9	8	9	9	9
Precipitación	0,1	1	4	3	4	4	4
Temperatura	0,1	0,3	1	2	2	2	2
Pendiente	0,1	0,3	0,5	1	1	1	2
NVDI	0,1	0,3	0,5	1	1	2	2
Aspecto	0,1	0,3	0,5	1	0,5	1	2
Coberturas	0,1	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Sumatoria	1,7	9,3	16	16,5	18	19,5	22

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32 Matriz normalizada Experto 3

Matriz normalizada							Promedio
0,58	0,75	0,56	0,48	0,5	0,46	0,41	0,54
0,08	0,11	0,25	0,18	0,22	0,21	0,18	0,18
0,06	0,03	0,06	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08
0,07	0,04	0,03	0,06	0,06	0,05	0,09	0,06
0,06	0,03	0,03	0,06	0,06	0,10	0,09	0,06
0,06	0,03	0,03	0,06	0,03	0,05	0,09	0,05
0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,05	0,04

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33 Clasificación respuestas Experto 4

	Radiación	Precipitación	Temperatura	Pendiente	NVDI	Aspecto	Coberturas
Radiación	1	7	3	5	5	5	5
Precipitación	0,1	1	2	2	2	2	2
Temperatura	0,3	0,5	1	3	3	3	3
Pendiente	0,2	0,5	0,3	1	1	1	1
NVDI	0,2	0,5	0,3	1	1	1	1
Aspecto	0,2	0,5	0,3	1	1	1	1
Coberturas	0,2	0,5	0,3	1	1	1	1
Sumatoria	2,3	10,5	7,3	14	14	14	14

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34 Matriz normalizada Experto 4

Matriz normalizada							Promedio
0,44	0,67	0,41	0,36	0,36	0,36	0,36	0,42
0,06	0,10	0,27	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
0,15	0,05	0,14	0,21	0,21	0,21	0,21	0,17
0,09	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
0,09	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
0,09	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
0,09	0,05	0,05	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35 Clasificación respuestas Experto 5

	Radiación	Precipitación	Temperatura	Pendiente	NVDI	Aspecto	Coberturas
Radiación	1	9	8	8	9	8	7
Precipitación	0,1	1	2	2	1	2	2
Temperatura	0,1	0,5	1	1	2	1	2
Pendiente	0,1	0,5	1	1	2	1	2
NVDI	0,1	1	0,5	0,5	1	2	2
Aspecto	0,1	0,5	1	1	0,5	1	3
Coberturas	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,3	1
Sumatoria	1,7	13	14	14	16	15,3	19

Fuente: Elaboración propia

Tabla 36 Matriz normalizada Experto 5

Matriz normalizada							Promedio
0,57	0,69	0,57	0,57	0,56	0,52	0,37	0,55
0,06	0,08	0,14	0,14	0,06	0,13	0,11	0,10
0,07	0,04	0,07	0,07	0,13	0,07	0,11	0,08
0,07	0,04	0,07	0,07	0,13	0,07	0,11	0,08
0,06	0,08	0,04	0,04	0,063	0,13	0,11	0,07
0,07	0,04	0,07	0,07	0,03	0,07	0,16	0,07

0,08	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,05	0,04
------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37 Resultados del Método de AHP

Método AHP	Experto 1	Experto 2	Experto 3	Experto 4	Experto 5	Total	Peso total
Radiación	0,31	0,44	0,54	0,42	0,55	2,26	0,45
Precipitación	0,1	0,12	0,18	0,14	0,10	0,64	0,13
Temperatura	0,19	0,11	0,08	0,17	0,08	0,63	0,13
Pendiente	0,09	0,09	0,06	0,07	0,08	0,39	0,08
NDVI	0,10	0,08	0,06	0,07	0,07	0,38	0,08
Aspecto	0,10	0,11	0,05	0,07	0,07	0,40	0,08
Coberturas	0,11	0,05	0,04	0,07	0,04	0,31	0,06
						5,01	1,00

Fuente: Elaboración propia

8.5 Ponderación de criterios

Al realizar este análisis el resultado final fueron los pesos totales de cada una de las variables, en donde se determinó que las siete variables son importantes para identificar las zonas más aptas para obtener energía solar, sin embargo, cada método por separado coincide en que la radiación es la variable más importante (42%); las demás variables presentaron valores cercanos entre 13 % (Temperatura), 12% (precipitación), 9% (pendiente y aspecto del terreno), 8% (NDVI) y de menor importancia 7 % (coberturas).

Tabla 38 Peso total de cada variable

	Sumatoria	Método Directo	Método AHP	Total
Radiación	2,26	0,38	0,45	42
Precipitación	0,64	0,112	0,13	12
Temperatura	0,63	0,13	0,13	13
Pendiente	0,39	0,1	0,08	9
NDVI	0,38	0,082	0,08	8
Aspecto	0,4	0,11	0,08	9
Coberturas	0,31	0,086	0,06	7
				100,00

Fuente: Elaboración propia

Tabla 39 Representatividad municipios

Nombre		Área total	Área total AE	Representatividad
Municipios	Clasificación	Municipios (km2)	(km2)	(%)
IQUIRA	No aceptable (1)		0,01	0,00
	Muy aceptable	356,05	0,19	0,05
	(3)			
	Optima (4)		91,20	25,61
AGRADO	No aceptable (1)		0,02	0,01
	Muy aceptable	268,28	3,15	1,18
	(3)			
	Optima (4)		198,61	74,03
AGUA DE DIOS	No aceptable (1)		6,24	7,29
	Muy aceptable	85,67	7,57	8,84
	(3)			
	Optima (4)		71,29	83,21
AIPE	No aceptable (1)		21,99	2,76
	Muy aceptable	796,39	26,38	3,31
	(3)			
	Optima (4)		529,03	66,43
ALGECIRAS	No aceptable (1)		1,48	0,25
	Aceptable (2)	589,39	0,20	0,03

	Muy aceptable		10,93	1,86
	(3)			
	No aceptable (1)		1,75	0,35
ALPUJARRA	Muy aceptable	501,48	0,43	0,09
	(3)			
	Optima (4)		191,97	38,28
	No aceptable (1)		1,88	1,04
ALTAMIRA	Aceptable (2)	181,02	0,05	0,03
	Muy aceptable		100,69	55,63
	(3)			
ALVARADO	No aceptable (1)		24,02	7,11
	Muy aceptable	337,86	21,13	6,26
	(3)			
	Optima (4)		233,09	74,99
AMBALEMA	No aceptable (1)		45,47	19,10
	Muy aceptable	238,05	5,54	2,33
	(3)			
	Optima (4)		186,81	94,53
ANAPOIMA	No aceptable (1)		1,04	0,84
	Muy aceptable	123,52	2,36	1,91
	(3)			
	Optima (4)		111,46	67,25
	No aceptable (1)		0,01	0,01

ANOLAIMA	Muy aceptable (3)	121,61	0,66	0,01
	No aceptable (1)		0,01	0,001
ANZOÁTEGUI	Muy aceptable (3)	469,92	3,46	0,74
APULO	No aceptable (1)		2,00	1,68
	Muy aceptable (3)	118,84	0,40	0,33
	Optima (4)		110,26	60,96
	No aceptable (1)		0,00	0,00
ARBELÁEZ	Muy aceptable (3)	144,32	0,05	0,04
	Optima (4)		14,52	10,06
ARMERO (Guayabal)	No aceptable (1)		46,35	10,55
	Muy aceptable (3)	439,26	7,09	1,61
	Optima (4)		364,72	93,03
	No aceptable (1)		0,01	0,00
ATACO	Muy aceptable (3)	1014,96	0,40	0,04
	Optima (4)		228,14	22,48
	No aceptable (1)		11,62	1,48

BARAYA	Muy aceptable	786,20	4,65	0,59
	(3)			
	Optima (4)		277,08	35,24
BELTRÁN	No aceptable (1)		23,59	13,27
	Muy aceptable	177,84	0,29	0,16
	(3)			
	Optima (4)		143,79	80,85
CACHIPAY	No aceptable (1)		0,00	0,01
	Muy aceptable	52,17	0,16	0,30
	(3)			
	Optima (4)		9,56	18,32
CAMPOALEGRE	No aceptable (1)		18,00	3,90
	Muy aceptable	461,62	14,90	3,23
	(3)			
	Optima (4)		279,28	68,50
CAPARRAPÍ	No aceptable (1)		0,00	0,00
	Muy aceptable	615,85	0,44	0,07
	(3)			
CARMEN DE APICALÁ	No aceptable (1)		7,671	4,02
	Muy aceptable	190,57	1,03	0,54
	(3)			
	Optima (4)		81,70	62,35
	No aceptable (1)		4,62	2,66

CHAGUANÍ	Muy aceptable		0,10	0,06
	(3)			
	Optima (4)	173,87	76,50	44,00
	No aceptable (1)		8,17	2,39
COELLO	Muy aceptable	341,71	3,96	1,16
	(3)			
	Optima (4)		329,23	79,80
	No aceptable (1)		0,67	0,04
COLOMBIA	Muy aceptable	1584,55	3,32	0,21
	(3)			
	Optima (4)		74,52	4,70
	No aceptable (1)		13,95	2,10
COYAIMA	Muy aceptable	663,43	51,02	7,69
	(3)			
	Optima (4)		379,18	78,15
	No aceptable (1)		0,00	0,00
CUBARRAL	Muy aceptable	1156,37	0,00	0,00
	(3)			
	No aceptable (1)		0,31	0,06
CUNDAY	Muy aceptable	507,89	0,12	0,02
	(3)			
	Optima (4)		372,99	2,00
	No aceptable (1)		0,02	0,00

DOLORES	Muy aceptable	652,67	0,23	0,03
	(3)			
	Optima (4)		130,43	19,98
EL COLEGIO	No aceptable (1)		0,02	0,02
	Muy aceptable	117,65	0,44	0,37
	(3)			
ELÍAS	Optima (4)		25,14	21,36
	No aceptable (1)		0,05	0,06
	Muy aceptable	80,77	5,34	6,62
ESPINAL	(3)			
	No aceptable (1)		13,97	6,42
	Muy aceptable	217,43	16,19	7,45
FALAN	Optima (4)		187,05	86,03
	No aceptable (1)		2,73	1,51
	Muy aceptable	181,51	0,10	0,05
FLANDES	(3)			
	Optima (4)		103,65	57,10
	No aceptable (1)		2,69	2,76
FLANDES	Muy aceptable	97,40	26,17	26,86
	(3)			
	Optima (4)		68,45	95,28
	No aceptable (1)		0,04	0,02

FUSAGASUGÁ	Muy aceptable	211,49	0,43	0,20
	(3)			
	Optima (4)		19,59	9,26
GARZÓN	No aceptable (1)		0,02	0,00
	Aceptable (2)	608,24	0,99	0,16
	Muy aceptable		3,60	0,59
	(3)			
	Optima (4)		125,46	20,63
GIGANTE	No aceptable (1)		0,23	0,05
	Muy aceptable	504,38	3,44	0,68
	(3)			
	Optima (4)		194,52	38,57
GIRARDOT	No aceptable (1)		8,04	6,18
	Muy aceptable	129,99	6,63	5,10
	(3)			
	Optima (4)		115,21	68,62
GUADALUPE	No aceptable (1)		0,62	0,25
	Muy aceptable		0,03	0,01
	(3)	250,70		
	Optima (4)		29,03	11,58
GUADUAS	No aceptable (1)		21,10	2,77
	Muy aceptable	762,93	1,52	0,20
	(3)			

	Optima (4)		339,14	44,45
	No aceptable (1)		17,81	3,52
GUAMO	Muy aceptable	505,46	17,31	3,42
	(3)			
	Optima (4)		320,86	63,48
	No aceptable (1)		7,36	8,27
GUATAQUÍ	Muy aceptable	88,96	0,10	0,11
	(3)			
	Optima (4)		81,42	67,65
	No aceptable (1)		0,61	0,31
HOBO	Muy aceptable	194,36	1,80	0,93
	(3)			
	Optima (4)		118,20	60,82
	No aceptable (1)		13,591	4,47
HONDA	Muy aceptable	304,03	0,02	0,01
	(3)			
	Optima (4)		85,09	60,88
	No aceptable (1)		8,19	0,59
IBAGUÉ	Muy aceptable	1377,79	36,24	2,63
	(3)			
	Optima (4)		305,38	22,16
	No aceptable (1)	216,56	0,06	0,03

ICONONZO	Muy aceptable		0,20	0,09
	(3)			
	Optima (4)		43,91	20,27
JERUSALÉN	No aceptable (1)		8,50	3,81
	Muy aceptable	223,00	1,46	0,65
	(3)			
	Optima (4)		192,06	36,12
LERIDA	No aceptable (1)		28,77	10,55
	Muy aceptable	272,63	1,98	0,73
	(3)			
	Optima (4)		213,01	78,13
LÍBANO	No aceptable (1)		0,04	0,01
	Muy aceptable	284,74	18,10	6,36
	(3)			
LA MESA	No aceptable (1)		0,06	0,04
	Muy aceptable	148,52	2,00	1,35
	(3)			
	Optima (4)		74,23	49,98
LA PLATA	No aceptable (1)		0,01	0,00
	Muy aceptable	815,00	0,28	0,03
	(3)			
	Optima (4)		8,24	1,01
	No aceptable (1)	294,38	0,14	0,05

MARIQUITA	Muy aceptable		0,02	0,01
	(3)			
	Optima (4)		26,63	9,04
MELGAR	No aceptable (1)		6,58	3,25
	Muy aceptable		1,04	0,51
	(3)	202,65		
	Optima (4)		161,95	79,91
NATAGA	No aceptable (1)		0,00	0,00
	Muy aceptable		0,02	0,01
	(3)	128,42		
	Optima (4)		3,64	2,84
NARIÑO	No aceptable (1)		1,86	3,37
	Muy aceptable	55,11	0,44	0,81
	(3)			
	Optima (4)		52,76	54,73
NATAGAIMA	No aceptable (1)		17,96	2,09
	Aceptable (2)	860,68	0,00	0,00
	Muy aceptable		9,21	1,07
	(3)			
	Optima (4)		807,78	45,85
NEIVA	No aceptable (1)		12,92	1,08
	Muy aceptable	1197,83	29,65	2,48
	(3)			

	Optima (4)		490,21	69,92
	No aceptable (1)		3,56	1,59
NILO	Muy aceptable	224,39	0,49	0,22
	(3)			
	Optima (4)		189,21	46,32
	No aceptable (1)		0,03	0,00
BELALCÁZAR	Muy aceptable	1796,99	0,16	0,01
(PÁEZ)	(3)			
	Optima (4)		12,39	0,69
	No aceptable (1)		0,27	0,10
PAICOL	Muy aceptable	279,55	0,77	0,28
	(3)			
	Optima (4)		114,76	41,05
	No aceptable (1)		33,60	3,80
PALERMO	Aceptable (2)	885,15	0,00	0,00
	Muy aceptable		14,77	1,67
	(3)			
	Optima (4)		624,15	70,51
PALOCABILDO	No aceptable (1)	65,30	0,00	0,00
	No aceptable (1)		19,77	27,63
PANDI	Muy aceptable	71,54	0,16	0,23
	(3)			
	Optima (4)		0,00	0,00

PIEDRAS	No aceptable (1)		37,09	10,40
	Muy aceptable	356,61	34,57	9,69
	(3)			
	Optima (4)		284,59	96,35
PITAL	No aceptable (1)		0,07	0,04
	Muy aceptable	193,62	54,30	28,04
	(3)			
PRADO	No aceptable (1)		5,70	1,36
	Muy aceptable	418,10	0,24	0,06
	(3)			
	Optima (4)		369,26	56,98
PULÍ	No aceptable (1)		0,24	10,12
	Muy aceptable	197,37	1,33	0,67
	(3)			
	Optima (4)		122,00	61,8
PURIFICACIÓN	No aceptable (1)		25,14	6,19
	Muy aceptable	406,24	0,53	0,13
	(3)			
	Optima (4)		341,54	63,08
QUIPILE	No aceptable (0)		0,00	0,00
	Muy aceptable	127,61	0,08	0,06
	(3)			
	Optima (4)		7,56	5,92

RICAURTE	No aceptable (1)		5,96	4,65
	Muy aceptable	127,95	20,75	16,22
	(3)			
	Optima (4)		101,12	87,04
RIVERA	No aceptable (1)		5,18	1,61
	Muy aceptable	322,35	1,91	0,59
	(3)			
	Optima (4)		142,16	44,10
ROVIRA	No aceptable (1)		0,02	0,00
	Muy aceptable		0,52	0,07
	(3)	739,67		
	Optima (4)		50,59	6,84
SALDAÑA	No aceptable (1)		11,555	5,79
	Muy aceptable		5,47	2,74
	(3)	199,37		
	Optima (4)		9,48	29,84
SAN ANTONIO DE TEQUENDAMA	No aceptable (1)		0,00	91,00
	Muy aceptable	89,51	0,01	0,01
	(3)			
	Optima (4)		2,06	10,08
SAN BERNARDO	No aceptable (1)		0,00	0,00
	Muy aceptable	245,38	0,22	0,09
	(3)			

	No aceptable (1)		10,61	3,40
SAN JUAN DE RIOSECO	Muy aceptable	312,39	0,96	0,31
	(3)			
	Optima (4)		159,00	50,90
	No aceptable (1)		0,80	0,20
SAN LUIS	Muy aceptable	411,44	0,66	0,16
	(3)			
	Optima (4)		132,68	32,25
SANTA ISABEL	No aceptable (1)	269,98	0,34	0,13
	No aceptable (1)		0,00	0,00
SANTA MARÍA	Muy aceptable	338,58	6,48	1,91
	(3)			
	No aceptable (1)		10,49	5,54
SUÁREZ	Muy aceptable		3,00	1,58
	(3)	189,54		
	Optima (4)		175,86	67,78
	No aceptable (1)		1,381	0,32
SUAZÁ	Aceptable (2)	429,94	2,14	0,50
	Muy aceptable		6,80	3,91
	(3)			
	No aceptable (1)		0,63	0,17
TARQUI	Muy aceptable	363,71	114,67	31,53
	(3)			

	No aceptable (1)		14,65	2,76
TELLO	Muy aceptable	531,57	10,96	2,06
	(3)			
	Optima (4)		244,98	46,09
	No aceptable (1)		0,00	0,00
TENA	Muy aceptable	51,28	0,03	0,05
	(3)			
	Optima (4)		11,13	21,71
	No aceptable (1)		0,01	0,00
TERUEL	Muy aceptable	470,16	0,27	0,06
	(3)			
	Optima (4)		92,11	19,59
	No aceptable (1)		0,56	0,15
TESALIA	Muy aceptable	372,82	1,95	0,52
	(3)			
	Optima (4)		261,33	70,10
	No aceptable (1)	84,78	0,01	0,01
TIBACUY	Muy aceptable		0,11	0,13
	(3)			
	Optima (4)		22,66	26,73
	No aceptable (1)		0,02	0,01
TIMANÁ	Muy aceptable	186,29	6,73	3,61
	(3)			

TOCAIMA	No aceptable (1)		7,62	3,08
	Muy aceptable		10,36	4,18
	(3)	247,73		
	Optima (4)		218,69	88,28
VALLE DE SAN	No aceptable (1)		5,12	2,58
JUAN	Muy aceptable	198,36	2,71	1,36
	(3)			
	Optima (4)		110,71	55,82
VENADILLO	No aceptable (1)		36,70	10,77
	Muy aceptable	340,90	1,65	0,48
	(3)			
	Optima (4)		239,73	78,32
VILLAHERMOSA	No aceptable (1)		0,50	0,18
		280,93		
VILLARRICA	No aceptable (1)		0,00	0,00
	Muy aceptable	430,27	0,01	0,00
	(3)			
	Optima (4)		18,12	4,21
VILLAVIEJA	No aceptable (1)		71,46	13,22
	Aceptable (2)	540,54	0,59	0,11
	Muy aceptable		52,61	9,73
	(3)			
	Optima (4)		403,00	95,56

	No aceptable (1)		0,15	0,07
VIOTÁ	Muy aceptable	203,92	0,70	0,34
	(3)			
	Optima (4)		83,35	40,87
	No aceptable (1)		2,80	0,84
YAGUARÁ	Muy aceptable	333,01	4,88	1,47
	(3)			
	Optima (4)		324,88	23,56

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la intercepción de la sumatoria de las variables con la capa de municipios, se obtiene como resultado un mapa con los municipios que presentan las condiciones más adecuadas para implementar este tipo de energía; esto a partir de una clasificación en donde los lugares que tienen un mayor porcentaje de representatividad dentro de la categoría 4 son los más óptimos para este tipo de proyectos.

Al analizar el mapa se identifican 20 municipios de los 95 que conforman el área de estudio, los cuales se dividen por departamentos en:

➤ Departamento del Tolima

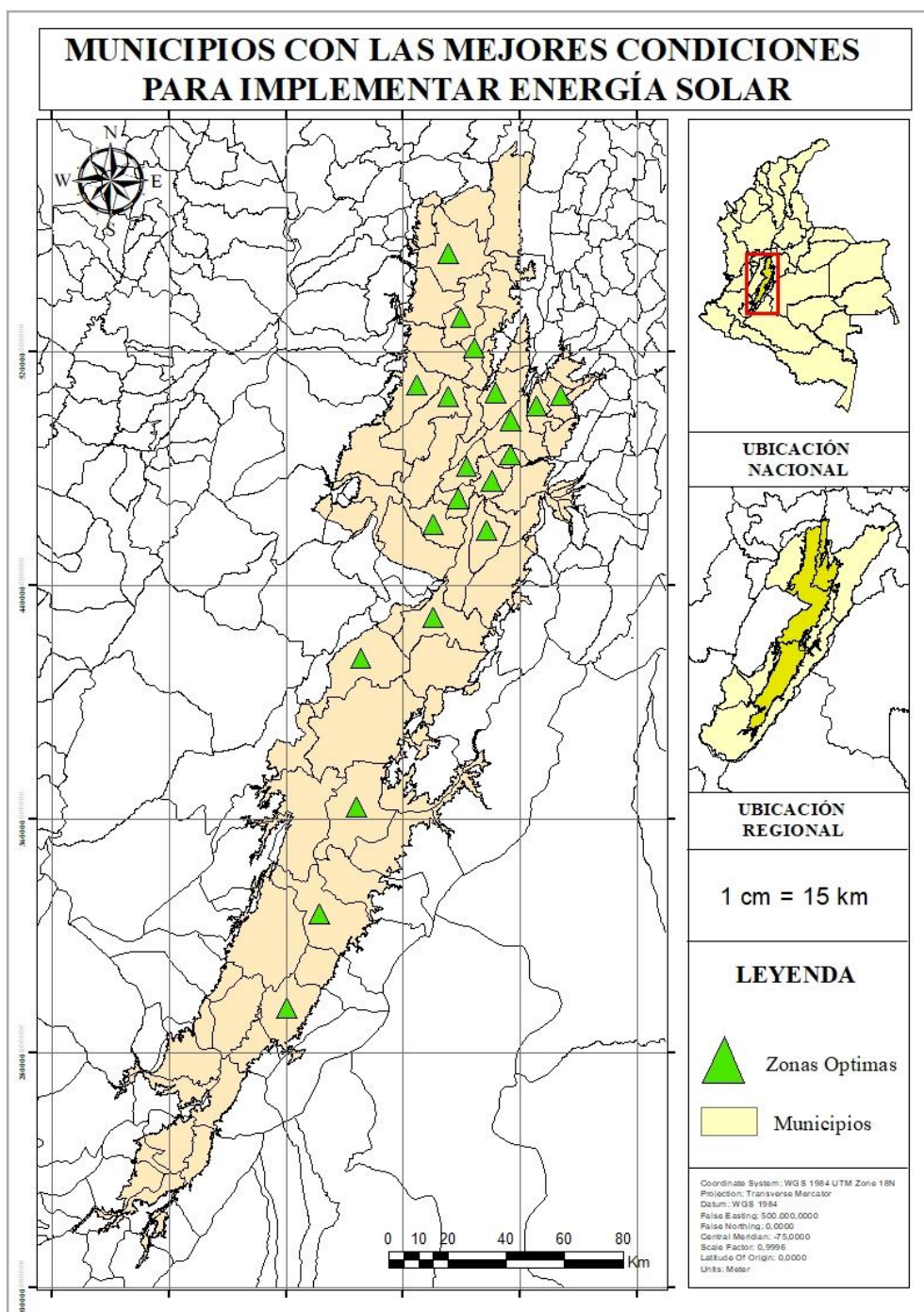
- Flandes
- Armero Guayabal
- Ambalema
- Piedras
- Espinal
- Beltrán

- Alvarado
- Purificación
- Coyaima
- Departamento de Cundinamarca
 - Agua de Dios
 - Tocaima
 - Ricaurte
 - Anapoima
 - Apulo
 - Carmen de Apicala
 - Girardot
 - Jerusalén
- Departamento de Huila
 - Neiva
 - Villa Vieja
 - Campo Alegre

Estos comparten características bioclimáticas y topográficas similares, como temperaturas altas, terrenos planos, pocas precipitaciones, áreas abiertas y de poca vegetación que se prestan para realizar la adaptación de un sistema fotovoltaico.

A continuación, se muestra el mapa con los 20 municipios que presentan las características para implementar este tipo de energía renovable.

Mapa 16. Municipios idóneos para implementar paneles solares



Fuente: Elaboración propia

8.7 Efectos positivos de un sistema de paneles solares

- **No contamina**

La energía solar fotovoltaica es una energía limpia y renovable al igual que otras energías amigables con el medio ambiente, esta energía contribuye a mitigar los daños ambientales debido al uso frecuente de combustibles fósiles. Es una fuente inagotable, aporta al autoabastecimiento energético nacional y es menos perjudicial para el medio ambiente, evitando los efectos de su uso directo (contaminación atmosférica, residuos, etc.) y los derivados de su generación (excavaciones, minas, canteras, etc.) (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018).

- **Fuente inagotable**

La energía solar es una fuente inacabable de abastecimiento, contribuye a la mitigación de efectos dañinos al medio ambiente, evitando los efectos del uso directo de combustibles fósiles (contaminación atmosférica y residuos) y los derivados de su extracción (excavaciones, minas, canteras, lavaderos.) (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018).

- **Fácil mantenimiento**

El mantenimiento del sistema solar fotovoltaico con paneles solares es económico y poco dispendioso, el cual al realizarse un mantenimiento de manera constante se puede tener una mayor duración del sistema y un mejor funcionamiento de este. El espacio de instalación del sistema fotovoltaico con paneles solares no necesita modificaciones en la estructura de la vivienda a implementar el sistema alternativo, ya que los paneles solares necesarios para el funcionamiento adecuado del sistema se instalarían en la parte superior de la casa (tejado) a trabajar lo cual no traería ningún impacto a la reducción del espacio en la vivienda a intervenir (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018).

- **Efecto visual**

La instalación de los paneles solares no tiene efectos negativos en la parte visual, ya que el diseño, color, forma de los paneles solares se mimetizan y armonizan con la estructura en la cual se valla a implementar el sistema. Al ser un sistema independiente no genera ninguna intervención en las instalaciones de redes eléctricas convencionales (postes, líneas eléctricas, cables) (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018).

Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, a partir de la arena, elemento muy abundante en la naturaleza, y del que no se requieren grandes cantidades. No se producen daños ni erosiones en el suelo ni en las aguas superficiales o subterráneas, al no producirse contaminantes, ni vertidos ni movimientos de tierras. Constituyen sistemas silenciosos, frente a los generadores con motor de las viviendas aisladas.

8.8. Efectos negativos de un sistema de paneles solares

- **Costo de instalación**

La implementación e instalación del sistema solar fotovoltaico con paneles solares tiene altos costos, debido a la baja comercialización de estos sistemas alternativos en el país. Aun siendo un alto costo la instalación del sistema, se empieza a recuperar la inversión bajando los costos del consumo de energía eléctrica de la vivienda (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018).

- **Residuos del sistema**

Uno de los mayores impactos ambientales se produce a largo plazo, es decir, cuando el sistema cumple con la vida útil y requiere la desinstalación de sus componentes; los paneles se convierten en basura contaminante que contiene componentes peligrosos para la salud de las personas. Estos residuos deben ser reutilizados en nuevos productos, disminuyendo la intensidad contaminante (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018).

En Colombia al no tener una alta acogida a nuevas energías renovables y amigables con el medio ambiente, no cuenta con alguna empresa u organización de reciclaje de paneles o disposición final de estos, por cual se plantean las siguientes estrategias para la disposición de los paneles solares:

- Despiece de los paneles solares para la venta individual de las partes que lo componen, a empresas dedicadas a la fabricación y distribución de estos.
- Reciclar partes del panel solar que estén en buen estado como vidrio y aluminio, haciendo que estas tengan una disposición final adecuada.
- Contactar a empresas nacionales e internacionales dedicadas a la reutilización y disposición final de paneles solares que hayan cumplido su vida útil (Ortiz Chacon & Chacon Rincon, 2018).

8.9 Método matricial de Gómez Orea

Tabla 40 Matriz de Gómez Orea

Medio Ambiente									
Abiótico				Biótico		Social			
Aire	Agua	Suelo	Paisaje	Fauna	Flora	Población			
x 1 1 3 1 1 P	x 1 1 3 1 1 P	(-) 1 1 3 1 2 P	x 2 2 3 1 2 P	(-) 2 1 3 1 2 P	(-) 2 2 1 3 3 P	(+) 2 2 2 1 2 F	Adecuación área de montaje	I m p l e m e n t a c i ó n	P r o y e c t o
x 2 1 3 1 2 P	x 1 1 3 1 2 P	x 2 1 3 3 2 P	x 2 2 1 1 3 F	(-) 2 1 3 1 2 P	(-) 2 1 3 1 2 P	(+) 2 1 2 1 3 F	Montaje de infraestructura		
x 2 1 3 1 2 P	x 1 1 3 1 2 P	(-) 2 1 3 1 2 P	x 2 2 1 1 3 F	(-) 2 1 3 1 2 P	(-) 1 1 3 1 2 P	(+) 2 1 2 1 3 F	Operación		
x 2 1 1 1 3 N	x 2 1 1 1 3 N	(-) 3 2 1 1 3 N	(-) 3 2 1 1 3 N	(-) 3 2 1 1 3 N	(-) 3 2 1 1 3 N	(-) 3 1 1 1 3 N	Ciclo Final (Sistema de paneles fotovoltaicos)		

Fuente: Elaboración propia

Con base en la información obtenida en la matriz se pudo realizar el siguiente análisis:

- Fase de adecuación y montaje: En estas fases del proyecto no se genera un impacto ambiental significativo, pero si se presentan algunas modificaciones en el entorno y en quienes habitan en ellos, debido a las etapas de construcción de este sistema que conlleva a diferentes tipos de contaminación, como el ruido, partículas en suspensión y afectación al paisaje.
- Fase de operación: El funcionamiento de los paneles solares no produce ningún tipo de Contaminación ni afectación al medio ambiente, lo que hace es convertir la energía solar en energía eléctrica que será usada para el funcionamiento del sistema eléctrico de las viviendas. Este proceso no genera ningún tipo de ruido, residuos, partículas o modificaciones en el entorno ya que es un sistema estático que se instala en un lugar determinado.
- Fase de ciclo final: En esta fase si se generan impactos ambientales por los residuos producidos al finalizar la vida útil de los paneles solares que pueden afectar el medio biótico y abiótico.

8.10 Impactos Socioeconómicos

La implementación de este tipo de energía traería un beneficio a las familias que no cuentan con energía eléctrica, mejorando la calidad de vida, ya que tendrían la oportunidad de tener acceso a electrodomésticos, conectividad y mejorar la comunicación con la sociedad.

Otro de los impactos socioeconómicos que traería la ejecución de este tipo de proyectos, es que aumentaría el valor de los predios, ya que estas zonas tienen el privilegio de contar con una fuente de energía inagotable que no tiene impedimento por la lejanía del terreno y que da el mismo rendimiento que una energía convencional, lo que genera que la finca o el terreno adquiera un mayor valor a diferencia de otros predios vecinos.

9. CONCLUSIONES

Al analizar los resultados obtenidos se logró identificar que el departamento del Tolima presenta una mayor cantidad de municipios idóneos donde se podría implementar un sistema fotovoltaico. Esto se debe a que municipios como Flandes, Espinal, Coello, Purificación y Coyaima, presentan una pendiente plana en su mayoría, lo que permite tener una mayor incidencia de radiación solar.

La implementación de energías renovables genera un impacto socioeconómico positivo para las comunidades, ya que estas podrían suplir sus necesidades al contar con energía eléctrica renovable, teniendo la oportunidad de mejorar su calidad de vida y de aprovechar un recurso natural como lo es la luz solar.

Para una mayor eficiencia de un sistema de paneles solares no únicamente se debe tener en cuenta las variables bioclimáticas del lugar donde se desea instalar, sino que también se deben analizar variables como la pendiente, las coberturas y el índice de vegetación normalizada que ayudan a dar una idea más específica de las condiciones en las que se encuentra el terreno y así mismo de los lugares más adecuados para su correcto funcionamiento, ya que un sistema fotovoltaico debe estar en las condiciones adecuadas para lograr su correcto funcionamiento y generar energía suficiente.

10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda no implementar un sistema de paneles en zonas donde la pendiente es pronunciada, porque la incidencia de luz solar solo será recibida por momentos cortos en el día, lo que no hace eficiente el procedimiento. En cuanto a la cobertura del suelo, no es apto diseñar estos sistemas en zonas húmedas, cercanas a fuentes hídricas, ya que esto genera inconvenientes en el funcionamiento del sistema.
- Se recomienda el uso de los sistemas de información geográfica porque son fuentes de gran ayuda en diferentes proyectos de manejo del medio ambiente, adicional a esto aminoran gastos evitando tener que desplazarse hasta los lugares de estudio, gracias a la facilidad y accesibilidad de todas sus herramientas.
- Proponer medidas correctivas para mitigar el impacto generado por los componentes del sistema cuando se termina la vida útil de los paneles solares y que afectan a cada uno de los elementos que conforman el medio ambiente (abiótico, biótico y social). El reciclaje de paneles es una alternativa que se realiza con el fin de mitigar los impactos negativos que pueda generar; al igual que la extracción de materia prima para la realización de nuevos paneles recuperando partes que aun estén adecuadas para su reutilización efectuando los procedimientos necesarios.
- Se recomienda realizar mantenimientos periódicamente a los diferentes componentes del sistema solar fotovoltaico para su correcto funcionamiento y durabilidad.
- Se recomienda incentivar al uso de energías renovables amigables con el medio ambiente, teniendo en cuenta que no solo existe la energía solar si no también la eólica, hidráulica, mareomotriz, térmica, entre otras; que pueden contribuir a un desarrollo

sostenible mejorando las condiciones ambientales y la calidad de vida de personas que carecen de este servicio.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, D. (2018). *MappingGIS*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/#:~:text=Los%20%C3%ADndices%20de%20vegetaci%C3%B3n%20son,iluminaci%C3%B3n%20el%20agua%20etc%E2%80%A6>
- Alonso, D. (s.f.). *MappingGIS*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2015/06/ndvi-que-es-y-como-calcularlo-con-saga-desde-qgis/>
- ambiNor. (2019). *La conservación del suelo en las instalaciones fotovoltaicas*. Obtenido de <https://www.ambinor.com/cat-ambinor/la-conservacion-del-suelo-las-instalaciones-fotovoltaicas>
- ArcGis Resources*. (s.f.). Obtenido de <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm>
- Arroyo, C. (04 de Agosto de 2017). *El Periodico de los Tolimenses El Nuevo Día*. Obtenido de <http://www.elnuevodia.com.co/nuevodia/actualidad/economica/314916-tolima-tiene-potencial-para-uso-de-energias-alternativas>
- Ballesteros, V. B. (2016). Panorama mundial de las energías renovables e importancia de la energía fotovoltaica . *Revista Científica* .
- Camargo Ayala, L. M., & Garzón Rico, P. A. (2018). *EVALUACIÓN DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN LA GANADERÍA SOSTENIBLE EN TOCA, BOYACÁ*. Bogotá D.C.
- Cobos , S., Solano, J., Vera , A., & Monge, J. (s.f.). *Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay*.

Cormagdalena. (2017). *Atlas Cuenca del Río Grande de la Magdalena*. Barrancabermeja: Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena.

Ecuuve. (18 de Octubre de 2019). *Construir America Central y el Caribe*. Obtenido de https://revistaconstruir.com/it_connect/energia-fotovoltaica-un-beneficio-para-la-poblacion-y-la-economia/

ENERGIA SOLAR . (s.f.). Obtenido de <https://solar-energia.net/>

esri. (s.f.). *ArcGIS for Desktop*. Obtenido de <https://desktop.arcgis.com>

Frank. (01 de agosto de 2019). *Blogroll*. Obtenido de <https://acolita.com/lista-de-combinaciones-de-bandas-en-sentinel-2a/>

Galvis Aponte, L. A., & Quintero Fragozo, C. A. (2017). Geografía ecónomia de los municipios ribereños del Magdalena. *DOCUMENTOS DE TRABAJO SOBRE ECONOMÍA REGIONAL Y URBANA*, 265.

Gómez Ramírez, J., Murcia Murcia, J., & Cabeza Rojas, I. (2017). *LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN COLOMBIA: POTENCIALES, ANTECEDENTES Y PESRPECTIVA*. Bogotá-Colombia.

IDEAM. (Noviembre de 2013). *ZONIFICACIÓN Y CODIFICACIÓN DE UNIDADES HIDROGRÁFICAS E HIDROGEOLÓGICAS DE COLOMBIA*. Bogota D.C.

IDEAM. (2015). *Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua*. Bogotá D.C: Instituto de Hidrología, Metodología y Estudios Ambientales de Colombia.

IDEAM. (2017). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/variacion-espacio-temporal1>

IDEAM, IGAC, ONF ANDINA, & CORMAGDALENA. (2008). *Metodología Corine Land cover adaptada para Colombia escala 1:100.000*. Bogota D.C.

Köppen, C. c. (s.f.). *Meteorología y climatología de Navarra*. Obtenido de <http://meteo.navarra.es/koppen>.

Mercado, D. A. (2019). Breve Descripción de la Celdas Fotovoltaicas de Mono Unión y de Banda Intermedia. 10.

MeteoLobios. (2013). Obtenido de <http://www.meteolobios.es/lluvia.htm>

Murcia, H. R. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas . *Revista de Ingeniería* .

Ortiz Chacon, M. L., & Chacon Rincon, D. E. (2018). *EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR (VEREDA LA CECILIA VILLAVICENCIO-META-COLOMBIA)*. Villavicencio.

ORTIZ CHACÓN, M., & CHACÓN RINCÓN, D. E. (2018). *EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR (VEREDA LA CECILIA VILLAVICENCIA-META-COLOMBIA)*. Villavicencio-Meta .

Rodriguez, J. A. (2019). *CLASIFICACION DE PENDIENTES Y SU CARACTERISTICAS*.

Rojas, J. G. (2016). *PROPUESTA DE APROVECHAMIENTO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA LA POBLACION VEREDAL PRINGAMOSAL LOS PASOSGUAMO TOLIMA*. BOGOTA D.C.

- Rondo Florez, N. L., Bedoya Pierro, J. S., & Quitora Mendoza, I. (2017). *Metodología para un proyecto sostenible de energía comunitaria en el resguardo indígena Aico, Departamento del Tolima*. Bogotá .
- Rubio, P. A. (08 de Junio de 2018). *INFRAESTRUCTURA*. Obtenido de <https://www.larepublica.co/infraestructura/instalacion-de-sistemas-de-paneles-solares-en-las-viviendas-2736128>
- Semana Sostenible. (22 de 06 de 2016). *El reto de energizar zonas rurales aisladas*. Obtenido de <https://sostenibilidad.semana.com/opinion/articulo/el-reto-de-energizar-zonas-rurales-aisladas/35443>
- Toribio, G. (25 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- Toribio, G. (2019). *Cursosteledetección.com*. Obtenido de <https://www.cursosteledeteccion.com/ndvi-que-es-y-para-que-sirve/>
- WorldClim. (2020). *WorldClim*. Obtenido de <https://www.worldclim.org/data/index.html>