



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

**TÍTULO**

**“ELABORACIÓN DEL ATLAS SOLAR DE LA CUENCA DEL RÍO AMBI CON  
FINES ENERGÉTICOS, MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE VARIABLES  
ATMOSFÉRICAS CON APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN  
GEOGRÁFICA”**

**Trabajo de Investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión  
Integral de Cuencas Hidrográficas**

**DIRECTOR:**

Ing. Oscar Rosales MSc

**AUTOR:** Ing. Germán Mora Trujillo

IBARRA - ECUADOR

**2017**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Resolución N° 001-073 CEAACES -2013-13

**INSTITUTO DE POSTGRADO**

**H. CONSEJO DIRECTIVO**



Oficio 339 H.C.D.P.

Ibarra, 11 de enero de 2016.

Ingeniero

German Mora Trujillo  
**MESTRANTE**

De mi consideración:

El Honorable Consejo Directivo del Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica del Norte, en sesión realizada el 08 de diciembre de 2015, conoció oficio s/n suscrito por usted, en el que solicita asignación de un tutor para la presentación y aprobación del trabajo de Investigación, previo a la obtención del título de Magister en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, este organismo considerando que es necesario contar con un Tutor desde la formulación hasta la presentación del trabajo de Investigación, y amparados en el Art. 50 literal i) del estatuto Orgánico de la Universidad Técnica del Norte; **RESUELVE:** Designarle como tutor del trabajo de Investigación al Ingeniero Oscar Rosales Docente de la Universidad Técnica del Norte, por tal razón se servirá coordinar con el docente.

Cordialmente

CIENCIA Y TÉCNICA AL SERVICIO DEL PUEBLO

Abg. Vladimir Basantes Rodríguez.

**SECRETARIO JURIDICO**





# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Resolución N° 001-073 CEAACES -2013-13

INSTITUTO DE POSTGRADO

H. CONSEJO DIRECTIVO



Oficio 548 C.D.P.

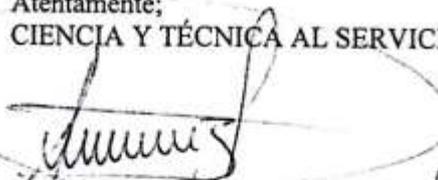
Ibarra, 23 de abril de 2016.

Ingeniero  
German Mora Trujillo  
**MAESTRANTE**  
De mi consideración:

El Honorable Consejo Directivo del Instituto de Postgrado de la Universidad Técnica del Norte, en sesión ordinaria realizada el 14 de abril de 2016, Conoció oficio 018-SD-IP suscrito por la Doctora Carmen Trujillo Subdirectora del IP en el que pone a consideración los anteproyectos revisados y pone a consideración las observaciones realizadas en cada uno de los trabajos de investigación, este organismo considerando que se debe dar trámite a los trabajos de investigación, y amparados el Art. 50 literal i) del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica del Norte; **RESUELVE:** Aprobar el plan de Investigación titulado "*Elaboración del Atlas Solar de la Cuenca del Río Ambi con fines energéticos, mediante la evaluación de variables atmosféricas con aplicación de Sistemas de Información Geográfica*", con las sugerencia detalladas en el mismo a fin de que se considera en la elaboración del trabajo.

Lo que comunico para los fines consiguientes.

Atentamente;  
CIENCIA Y TÉCNICA AL SERVICIO DEL PUEBLO

  
**Abg. Vladimir Basantes Rodríguez.**  
**SECRETARIO JURIDICO IP**





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN**  
**A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>Datos de Contacto</b>	
<b>Cédula de Ciudadanía:</b>	1700823808
<b>Apellidos y Nombres:</b>	Mora Trujillo Germán Alfredo
<b>Dirección:</b>	Río Santiago 1-28 y Ricardo Sánchez
<b>Email:</b>	gamora@utn.edu.ec
<b>Teléfono Fijo:</b>	06 2642676
<b>Datos de la Obra</b>	
<b>Título</b>	“Elaboración del Atlas Solar de la cuenca del río Ambi con fines energéticos, mediante la evaluación de variables atmosféricas con aplicación de Sistemas de Información Geográfica”.
<b>Autor</b>	Germán Alfredo Mora Trujillo
<b>Fecha:</b>	14 de octubre de 2017
<b>Solo para trabajos de grado</b>	
<b>Programa:</b>	Posgrado
<b>Título por el que opta:</b>	Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas
<b>Asesor/Director:</b>	Oscar Rosales

## 2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Germán Alfredo Mora Trujillo con cédula de identidad N° 1700823808 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior artículo 144.

## 3. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente investigación es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 27 días del mes de julio de 2017

El Autor:

Aceptación:

(Firma).....

Germán Alfredo Mora Trujillo

C.C.: 1700823808

(Firma).....

Cargo: JEFE DE BIBLIOTECA

Facultado por resolución de Consejo Universitario \_\_\_\_\_



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

### CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Germán Alfredo Mora Trujillo con cédula de identidad N° 1700823808, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4,5 y 6, en calidad de autor del trabajo de grado denominado: *“Elaboración del Atlas Solar de la cuenca del río Ambi con fines energéticos, mediante la evaluación de variables atmosféricas con aplicación de Sistemas de Información Geográfica.”*, que ha sido desarrollado para optar por el título de: Magíster en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los catorce días del mes de octubre del 2017

(Firma).....  
Nombre: Germán Alfredo Mora Trujillo  
Cédula: 1700823808

## RECONOCIMIENTO

Mi eterno agradecimiento al cuerpo de docentes del Instituto de Posgrado de la Universidad Técnica del Norte, que entregaron su valioso aporte de conocimientos para quienes fuimos sus alumnos y con su meritoria experiencia mantuvieron vivo el interés de aprovechar valiosas ilustraciones en diferentes campos de la ciencia y el conocimiento. Es oportuno manifestar mi reconocimiento como maestro y como amigo al Ing. Oscar Rosales MSc. por su valioso aporte en el desarrollo de la investigación, a la Ing. Consuelo Ruiz MSc, mi eterna gratitud por su aporte con su conocimiento y respaldo permanente para lograr concluir con este objetivo.

Igualmente mi reconocimiento al Dra. Carmen Trujillo PhD, Dr. Rolando Lomas PhD y al Dr. José Moncada PhD, miembros del tribunal, mi reconocimiento a cada uno de ellos por su valiosa ayuda prestada en el transcurso del presente trabajo.

A todas aquellas personas, compañero(s/as) de aula de la maestría que a pesar de marcar una diferencia de edad manifestaron una acogida, confianza y apoyo, gesto que permanecerá en mi corazón como una de las mejores etapas de mi vida.

*Germán A. Mora T.*

## DEDICATORIA

A Dios por haberme dado a estas alturas de mi vida la lucidez, el entendimiento y la fortaleza para culminar este propósito.

A mi familia, quienes han sido mí estímulo permanente para el logro de mis objetivos, especialmente a mi esposa Fanny Ayala Váscones y a mis hijos: Margarita, Alfredo, Fanny y Raquel Mora Ayala, quienes con sus oraciones me han apoyado en todo momento. A mis nietos: Johana, Patricio, Michael, Kimberly, María del Pilar y Martín que han mantenido la ilusión de que su abuelo llegue a culminar su meta.

*Germán A. Mora J.*

**UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE**  
**INSTITUTO DE POSGRADO**  
**Maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas**

“ELABORACIÓN DEL ATLAS SOLAR DE LA CUENCA DEL RÍO AMBI CON FINES ENERGÉTICOS, MEDIANTE LA EVALUACIÓN DE VARIABLES ATMOSFÉRICAS CON APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA”

**Autor:** Ing. Germán Mora Trujillo

**Tutor:** MSc. Oscar Rosales

**Año:** 2017

**RESUMEN**

La presente investigación tuvo como objetivo elaborar el atlas solar de la cuenca del Río Ambi con fines energéticos, mediante la evaluación de variables atmosféricas con aplicación de sistemas de información geográfica (SIG). La investigación se desarrolló inicialmente con un marco referencial en el que se describen conceptos importantes sobre el origen de la radiación solar, la acción de los campos electromagnéticos encargados de transportar la energía de un lugar a otro, se especifican las formas de radiación que llega a la tierra. El marco metodológico de este estudio permitió recabar información fehaciente y puntual de las estaciones meteorológicas que se encuentran al interior de la cuenca del Río Ambi. Los datos de heliofanía publicados en los anuarios meteorológicos del INAMHI, se analizaron y se contrastaron con datos satelitales. En el capítulo de resultados y discusión se determina la radiación solar mensual y anual, con información de 17 años, comparando los datos de cada estación año por año y se determinó la radiación solar promedio que incide en el área de estudio. Se elaboró el atlas solar como herramienta importante para identificar las áreas que pueden ser proyectadas para la instalación de parques solares a gran escala par generación eléctrica solar fotovoltaica. El resultado de la investigación indica que este fenómeno de heliofanía máxima se presenta reiteradamente en los meses de julio, agosto y septiembre, asemejándose con la temporada seca en Ecuador y con una potencia de 16,41 KJ/m<sup>2</sup>/día. La baja irradiancia de la cuenca del Río Ambi, se manifiesta en los meses de enero, febrero y marzo con una potencia de 15,70 KJ/m<sup>2</sup>/día. Con base a los resultados del potencial energético del sol, se garantiza la ejecución de proyectos de generación eléctrica con uso de la energía radiante del sol. Finalmente el presente estudio amerita propiciar: seminarios, foros, mesas redondas, dando a conocer las bondades del uso de las energías no contaminantes que contribuyen a disminuir los efectos del cambio climático.

**Palabras claves:** Energía, heliofanía, fotovoltaica, atlas solar, potencia eléctrica.

**NORTH TECHNICAL UNIVERSITY**  
**INSTITUTE OF POSTGRADUATE**  
**MSc in Integral Management of Watersheds**

"DEVELOPMENT OF THE SOLAR ATLAS OF THE AMBI RIVER BASIN WITH ENERGY PURPOSES, BY EVALUATING ATMOSPHERIC VARIABLES WITH APPLICATION OF GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS"

**Author:** Ing. Germán Mora Trujillo

**Tutor:** MSc. Oscar Rosales

**Year:** 2017

**SUMMARY**

The objective of this research was to elaborate the solar atlas of the Ambi River basin for energy purposes, by means of the evaluation of atmospheric variables with application of geographic information systems (GIS). The research was initially developed with a frame of reference that describes important concepts about the origin of solar radiation, the action of electromagnetic fields in charge of transporting energy from one place to another, specify the forms of radiation that reaches the earth. The methodological framework of this study allowed us to gather reliable and timely information on the meteorological stations that are located in the interior of the Ambi River basin. The heliophania data published in the INAMHI meteorological yearbooks were analyzed and contrasted with satellite data. In the chapter on results and discussion, the monthly and annual solar radiation, with information of 17 years, is determined by comparing the data of each season year by year and determined the average solar radiation that affects the study area. The solar atlas was developed as an important tool to identify the areas that can be projected for the installation of large-scale solar parks for photovoltaic solar electric generation. The result of the research indicates that this phenomenon of maximum heliofanía appears repeatedly in the months of July, August and September, resembling the dry season in Ecuador and with a power of 16.41 KJ / m<sup>2</sup> / day. The low irradiance of the Ambi River basin is manifested in the months of January, February and March with a power of 15.70 KJ / m<sup>2</sup> / day. Based on the results of the sun's energy potential, the execution of electric generation projects with the use of radiant energy from the sun is guaranteed. Finally, the present study merits promoting: seminars, forums, round tables, showing the benefits of the use of non-polluting energies that contribute to diminish the effects of climate change.

**Key words:** Energy, heliophany, photovoltaic, solar atlas, electric power.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN .....	iv
IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA.....	iv
AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD.....	v
CONSTANCIAS.....	v
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	vi
RECONOCIMIENTO.....	vii
DEDICATORIA .....	viii
RESUMEN .....	ix
SUMMARY .....	x
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
ÍNDICE DE IMÁGENES .....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	xviii
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>1</b>
1. EL PROBLEMA .....	1
1.1. Antecedentes .....	1
1.2. Planteamiento del problema .....	2
1.3. Formulación del problema.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos de la investigación .....	4
1.5.1. Objetivo General .....	4
1.5.2. Objetivos Específicos .....	5
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>6</b>
2. MARCO TEÓRICO .....	6
2.1. Energías renovables.....	6
2.2. Energía Solar .....	7
2.3. Energía solar que llega a la tierra .....	7
2.4. Constante solar .....	8
2.5. Horas pico solar (HPS).....	9
2.6. Posición del sol en la zona de estudio .....	11

2.7.	Tipos de radiación solar .....	12
2.8.	Energía solar fotovoltaica.....	13
2.9.	Energía solar en Ecuador.....	14
2.9.1.	Uso de la radiación solar en el Ecuador .....	16
2.9.2.	Proyectos de energía solar en Ecuador .....	17
2.9.2.1.	Central Fotovoltaica Paragachi .....	17
2.9.2.2.	Planta fotovoltaica y almacenamiento de energía Isla Baltra.....	18
2.9.3.	Concesiones de proyectos fotovoltaicos en el Ecuador.....	19
2.9.3.1.	Ley De Régimen Del Sector Eléctrico Capítulo I .....	19
2.10.	Estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca del Río Ambi .....	20
2.11.	Marco legal.....	21
2.11.1.	Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015).....	21
2.11.2.	Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017.....	22
2.12.	Sistema de información geográfica - SIG en la investigación .....	23
2.13.	Sistemas de información satelital .....	24
2.14.	Generación del atlas solar de la cuenca del Río Ambi .....	25
<b>CAPITULO III.....</b>		<b>27</b>
3.	METODOLOGÍA .....	27
3.1.	Descripción del área de estudio.....	27
3.1.1.	Características generales de la cuenca del Río Ambi.....	27
3.1.2.	Ubicación y límites de la cuenca.....	27
3.1.3.	División política-administrativa de las localidades asentadas en la cuenca del Río Ambi.....	29
3.1.4.	Geología de la cuenca.....	29
3.1.5.	Composición de los suelos de la cuenca .....	30
3.1.6.	Identidad cultural.....	30
3.2.	Diseño de la Investigación .....	31
3.2.1.	Investigación bibliográfica .....	31
3.2.2.	La investigación de campo .....	31
3.3.	Diseño y Tipo de la investigación .....	32
3.3.1.	Materiales y equipos.....	32
3.4.	Metodología usada para analizar la radiación solar en la cuenca del Río Ambi.....	32
3.4.1.	Fase de campo .....	33

3.4.2.	Fase de laboratorio .....	33
3.4.3.	Análisis de Radiación Solar con Datos de la Estación Meteorológica Inguincho, año 1995 .....	36
3.4.4.	Análisis de radiación solar con datos de la estación meteorológica Ibarra. ....	37
3.4.5.	Registros Solares de la Estación Meteorológica San Gabriel, año 1995.....	38
3.4.6.	Análisis de radiación solar registrada en la estación Inguincho, año 2012.....	39
3.4.7.	Análisis de la radiación solar con datos de la estación meteorológica Otavalo, año 2012.....	41
3.4.8.	Registro de radiación solar global estación automática de la UTN .....	42
3.5.	Trayectoria del sol.....	44
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>46</b>
4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>46</b>
4.1.	Análisis de la radiación solar promedio en la cuenca del Río Ambi.....	46
4.1.1.	Radiación Promedio Año 1995 .....	46
4.1.2.	Radiación solar promedio año 2000.....	47
4.1.3.	Radiación solar promedio año 2010.....	49
4.1.4.	Radiación solar promedio año 2012.....	50
4.2.	Análisis de radiación solar con datos satelitales .....	51
4.3.	Resultados del análisis de radiación solar en la cuenca del Río Ambi.....	53
4.4.	Atlas de radiación solar en la cuenca del Río Ambi.....	55
4.5.	Atlas de energía solar fotovoltaica en la cuenca del Río Ambi.....	59
4.6.	Análisis de equivalencias de la energía solar en la cuenca del Río Ambi.....	60
4.7.	Mapas de apoyo en el estudio de variables atmosféricas en la cuenca del Río Ambi. .....	61
4.7.1.	Mapa de temperatura media anual de la cuenca del Río Ambi.....	61
4.7.2.	Mapa Altitudinal de la Cuenca del Río Ambi .....	62
4.7.3.	Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Ambi .....	64
4.7.4.	Mapa de Orientación de la Cuenca del Río Ambi.....	66
4.8.	Proyectos estratégicos con energía solar en la cuenca del Río Ambi .....	68
<b>CAPITULO V.....</b>		<b>69</b>
5.	<b>PROPUESTA.....</b>	<b>69</b>
5.1.	Presentación de la propuesta .....	69

5.2.	Justificación de la propuesta.....	69
5.3.	Objetivos de la propuesta .....	69
5.4.	Objetivos específicos de la propuesta .....	69
5.5.	Beneficiarios e impacto de la propuesta.....	70
5.6.	Descripción de la propuesta .....	70
5.6.1.	Descripción de las características de la estructura en forma de árbol.....	70
5.7.	Descripción del diseño del sistema fotovoltaico del árbol solar .....	72
5.7.1.	Coordenadas de ubicación del proyecto.....	72
5.7.2.	Dimensionado de la Instalación Solar Fotovoltaica Aislada.....	72
5.7.3.	Cálculo del banco de baterías.....	73
5.7.4.	Calculo de número de paneles solares.....	74
<b>CAPITULO VI.....</b>		<b>75</b>
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	75
6.1.	Conclusiones .....	75
6.2.	Recomendaciones.....	76
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>77</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>83</b>
ANEXO N° 1 Atlas solar y mapas .....		84
ANEXO N° 2 Luz visible.....		88
ANEXO N° 3 Tablas.....		89
ANEXO N° 4 Figuras .....		92
ANEXO N° 5 Imágenes .....		95

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla N° 1</b> Proyectos de energía solar fotovoltaica concesionados a diferentes empresas por el Consejo Nacional de Electricidad .....	19
<b>Tabla N° 2</b> Estaciones meteorológicas consideradas para analizar la radiación solar .....	21
<b>Tabla N° 3</b> Materiales, equipos y software utilizados para el análisis de radiación solar en la cuenca del Río Ambi.....	32
<b>Tabla N° 4</b> Registro de heliofanía en la estación meteorológica Inguincho, publicado en el anuario del INAMHI, año 2006 .....	34
<b>Tabla N° 5</b> Irradiancia en la cuenca del Río Ambi transformada a Kwh/m <sup>2</sup> y MJ/m <sup>2</sup> , estación Inguincho, año 2006 .....	35
<b>Tabla N° 6</b> Registro de heliofanía, estación Inguincho, año 1995 .....	36
<b>Tabla N° 7</b> Datos de heliofanía de la estación meteorológica Ibarra, año 1995 .....	37
<b>Tabla N° 8</b> Datos de radiación solar de la estación meteorológica San Gabriel, año 1995 ...	38
<b>Tabla N° 9</b> Datos de radiación solar de la estación Inguincho, año 2012.....	40
<b>Tabla N° 10</b> Registro de radiación solar, con datos de la estación Otavalo, año 2012.....	41
<b>Tabla N° 11</b> Registro de radiación solar diaria estación UTN, enero 2012 .....	43
<b>Tabla N° 12</b> Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 1995 .....	46
<b>Tabla N° 13</b> Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 2000 .....	48
<b>Tabla N° 14</b> Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 2010 .....	49
<b>Tabla N° 15</b> Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 2012 .....	50
<b>Tabla N° 16</b> Registro de radiación solar promedio en la Cuenca del Río Ambi.....	54
<b>Tabla N° 17</b> Interpretación de la radiación solar en potencia, presentado en el Atlas Solar .	60
<b>Tabla N° 18</b> Estimación de consumo de energía eléctrica, instalación aislada.....	72
<b>Tabla N° 19</b> Datos estación San Gabriel radiación de 15 años .....	89
<b>Tabla N° 20</b> Ángulo de elevación del sol Cuenca Río Ambi-año 2016.....	90
<b>Tabla N° 21</b> Radiación Estación Ibarra años: 1965-1966-1977.....	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura N° 1</b>	Incidencia de radiación solar en Wm-2.....	9
<b>Figura N° 2</b>	Horas Pico Solar.....	11
<b>Figura N° 3</b>	Posición del sol en la Cuenca del Río Ambi.....	12
<b>Figura N° 4</b>	Tipos de radiación solar.....	13
<b>Figura N° 5</b>	Altas Solar del Ecuador.....	16
<b>Figura N° 6</b>	Central fotovoltaica Paragachi en Imbabura.....	17
<b>Figura N° 7</b>	Parque solar en la Isla Baltra en Galápagos.....	18
<b>Figura N° 8</b>	Heliógrafo.....	20
<b>Figura N° 9</b>	Mapa base de la Cuenca del Río Ambi.....	28
<b>Figura N° 10</b>	Radiación solar estación Inguincho año 1995.....	36
<b>Figura N° 11</b>	Radiación solar estación Ibarra año 1995.....	38
<b>Figura N° 12</b>	Radiación solar estación San Gabriel año 1995.....	39
<b>Figura N° 13</b>	Radiación solar estación Inguincho-año 2012.....	40
<b>Figura N° 14</b>	Radiación solar estación Otavalo - año 2012.....	42
<b>Figura N° 15</b>	Radiación solar estación meteorológica UTN-enero de 2012.....	44
<b>Figura N° 16</b>	Ángulo de elevación del sol, programa Sunn Seeker.....	45
<b>Figura N° 17</b>	Energía solar promedio 1995.....	47
<b>Figura N° 18</b>	Energía solar promedio - año 2000.....	48
<b>Figura N° 19</b>	Energía solar promedio estaciones Inguincho y Otavalo 2010.....	49
<b>Figura N° 20</b>	Energía solar promedio- año 2012.....	51
<b>Figura N° 21</b>	Energía solar diaria con datos satelitales- año 2000.....	52
<b>Figura N° 22</b>	Energía solar diaria con datos satelitales- año 2005.....	52
<b>Figura N° 23</b>	Energía solar diaria con datos satelitales- año 2010.....	53
<b>Figura N° 24</b>	Análisis General de Radiación Solar promedio en la Cuenca del Río Ambi...54	
<b>Figura N° 25</b>	Atlas radiación solar media - cuenca del Río Ambi.....	56
<b>Figura N° 26</b>	Atlas solar de máxima insolación- cuenca del Río Ambi.....	57
<b>Figura N° 27</b>	Atlas solar de baja insolación- cuenca del Río Ambi.....	58
<b>Figura N° 28</b>	Atlas Energía Solar Fotovoltaica - Cuenca del Río Ambi.....	59
<b>Figura N° 29</b>	Mapa Cuenca Río Ambi - Temperatura Media anual.....	61
<b>Figura N° 30</b>	Mapa Altitudinal – Cuenca del Río Ambi.....	63
<b>Figura N° 31</b>	Mapa de Pendientes – Cuenca del Río Ambi.....	65
<b>Figura N° 32</b>	Mapa de Orientación. - Cuenca del Río Ambi.....	67

<b>Figura N° 33</b> Base del árbol solar con tomacorrientes de 110 voltios, para recarga de equipos portátiles y teléfonos celulares. ....	71
<b>Figura N° 34</b> Árbol solar con 4 paneles fotovoltaicos, sujetos a una rótula que permite giros de orientación.....	71
<b>Figura N° 35</b> Energía eléctrica fotovoltaica, almacenada en acumuladores para uso de iluminación nocturna. ....	71
<b>Figura N° 36</b> Atlas Solar Cuenca del Río Ambi-radiacion solar promedio.....	84
<b>Figura N° 37</b> Atlas solar de baja insolación cuenca del Río Ambi.....	84
<b>Figura N° 38</b> Atlas de alta Insolación Cuenca del Río Ambi .....	85
<b>Figura N° 39</b> Atlas de Insolación Promedio Cuenca del Río Ambi.....	85
<b>Figura N° 40</b> Atlas de alta Insolación Cuenca del Río Ambi .....	86
<b>Figura N° 41</b> Atlas de Baja Insolación Cuenca del Río Ambi.....	86
<b>Figura N° 42</b> Mapa Altitudinal Cuenca del Río Ambi.....	87
<b>Figura N° 43</b> Mapa de Pendientes Cuenca del Río Ambi.....	87
<b>Figura N° 44</b> Luz visible que incide sobre las placas solares .....	88
<b>Figura N° 45</b> Ángulo de elevación del sol, enero-2016.....	92
<b>Figura N° 46</b> Ángulo de elevación el sol, junio-2016.....	92
<b>Figura N° 47</b> Ángulo de elevación el sol, diciembre-2016.....	93
<b>Figura N° 48</b> Irradiación solar Estación Ibarra 1965 .....	93
<b>Figura N° 49</b> Irradiación solar estación Sam Gabriel 1988 .....	94
<b>Figura N° 50</b> Irradiación solar estación Otavalo 1988.....	94

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen N° 1</b> Cuenca Río Ambi 1.....	95
<b>Imagen N° 2</b> Cuenca Río Ambi 2.....	95
<b>Imagen N° 3</b> Cuenca Río Ambi 3.....	96
<b>Imagen N° 4</b> Cuenca Río Ambi, Laguna Yahuarcocha .....	96
<b>Imagen N° 5</b> Cuenca Río Ambi- nevado Cotacachi.....	97

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio se inscribe dentro del proyecto “Valoración Ecológico-Económica de los servicios Ecosistémicos Hídricos en Condiciones de Cambio Climático en los Ecosistemas Sub-tropicales y Andinos del Ecuador (V5E)”. Por lo que el estudio contribuirá al desarrollo de los recursos solares en la cuenca del río Ambi que permitan el uso de las energías renovables como políticas de Estado. Por otra parte el presente estudio, permitirá implementar proyectos a nivel de gobiernos autónomos descentralizados, en los cantones Ibarra, Atuntaqui, y Santa Ana de Cotacachi.

El Proyecto V5E tiene un convenio suscrito entre la UTN y el GAD de Cotacachi para su ejecución, por lo tanto, contribuirá con el apoyo de las instituciones. La dirección externa académica dentro del proyecto estará a cargo de la doctora Leonith Hinojosa Valencia, Prometeo de la SENESCYT y directora del Proyecto V5E. 2014 (Aprobado por el HCD el 24 abril del 2014).

El trabajo se desarrolla en 6 capítulos en el orden siguiente:

**Capítulo I:** Se expone el problema que fundamenta el trabajo investigativo.

**Capítulo II:** El marco Referencial contiene la revisión de trabajos antes realizados sobre la energía radiante del sol, conceptos y definiciones.

**Capítulo III:** El marco metodológico donde se describen las técnicas utilizadas para la clasificación de la energía radiante del sol y de esta manera cumplir con los objetivos planteados.

**Capítulo IV:** Los resultados y discusión, en esta fase se obtuvieron la clasificación de la energía solar promedio anual de la heliofanía en la cuenca del Río Ambi.

**Capítulo V:** Propuesta de diseño de un prototipo de árbol solar, para generar electricidad de 110 voltios, para ser instalado en parques públicos de las ciudades de: Ibarra, Otavalo, Atuntaqui y Cotacachi, que se localizan al interior de la cuenca.

**Capítulo VI:** En esta fase se describen las conclusiones y recomendaciones del trabajo, determinando la potencia de energía disponible del sol y la distribución geoespacial en la cuenca del Río Ambi.



## CAPITULO I

### 1. EL PROBLEMA

#### 1.1. Antecedentes

El Ecuador, un país ubicado en la mitad del mundo y por cruzar la cordillera de los Andes lo transforme en un país rico en energías renovables: solar, eólica, hídrica, geotérmica, entre otras. A pesar de poseer estas grandes riquezas naturales el Ecuador no ha experimentado cambios que afecten a los niveles de vida tanto económico como social de los ecuatorianos.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) que se encuentran ubicados al interior de la cuenca del Río Ambi por desconocimiento de los múltiples usos de las energías renovables, no han emprendido en proyectos de desarrollo sustentable que permitan aprovechar el potencial de la radiación del sol como fuente de energía limpia.

El presente trabajo tiene importante respaldo de información por cuanto al interior de la cuenca del Río Ambi se encuentran instaladas cuatro estaciones meteorológicas emplazadas por el Instituto Nacional de Meteorología e hidrología (INAMHI) cuya información registrada en los anuarios meteorológicos de radiación del sol no se ha utilizada con fines energéticos en proyectos como los de energía solar fotovoltaica para ser aplicada en sistemas de riego en la agricultura o para iluminación de parque y avenidas en los poblados.

Existe además un amplio desarrollo en proyectos con aplicación energía solar térmica para climatizar piscinas y como agua caliente sanitaria (ACS).

Considerando que el uso de energías radiante del sol, contribuyen al cambio de la matriz energética como política de estado y favorece el amortiguamiento de gases de efecto invernadero, causantes directos del cambio climático.

## 1.2. Planteamiento del problema

Para REN21 (2016) las energías renovables se han establecido en todo el mundo como una importante fuente de energía. Su rápido crecimiento, particularmente en el sector eléctrico, es impulsado por diversos factores, incluyendo el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables; iniciativas de política aplicada; un mejor acceso al financiamiento; seguridad energética y cuestiones de medio ambiente; demanda creciente de energía en economías en desarrollo y emergentes; y la necesidad de acceso a una energía modernizada. En consecuencia, en los países en desarrollo están surgiendo mercados nuevos, tanto para la energía renovable centralizada como para la distribuida (p. 6).

Es importante destacar que Ecuador se convierte en un país privilegiado en fuentes de energías renovables por su ubicación en la mitad del mundo y no solamente es un país megadiverso, sino también un país megaenergético por disponer de abundantes recursos como: energía solar, eólica, hídrica, geotérmica; además la Cordillera de los Andes que cruza el Ecuador forma valles en los que se concentran abundante radiación solar durante todo el año, tal como es el caso del valle del Chota cercano a la cuenca en estudio.

A pesar de disponer de este abundante recurso energético en la Provincia de Imbabura y en especial en la cuenca del Río Ambi no se han desarrollado investigaciones que demuestre el potencial energético del sol, la ubicación de sectores de mayor heliofanía y sobretodo la cantidad en Kilovatios hora por metro cuadrado disponible ( $Kwh/m^2/mes$ ).

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) que se encuentran ubicados al interior de la cuenca del Río Ambi por inexperiencia en el uso de las energías alternativas, no han emprendido en proyectos de desarrollo sustentable que permitan aprovechar el potencial de la radiación del sol como fuente de energía limpia.

El estado ecuatoriano ha puesto a disposición de los organismos públicos y privados una amplia legislación de políticas energéticas para facilitar la implementación de proyectos encaminados al uso de la energía radiante del sol; no ha tenido un efecto inmediato por lo que podemos afirmar que el desarrollo del uso de la potencia solar está en sus inicios, por lo tanto es urgente promover el desarrollo de las energías renovables por ser consideradas a nivel mundial como fuentes de energías inagotables.

### **1.3. Formulación del problema**

¿Cuál es la distribución espacial y temporal de la radiación solar en la cuenca del Río Ambi?

### **1.4. Justificación**

El desarrollo de esta investigación se enmarca dentro de la línea de investigación 3 del Reglamento de la Universidad Técnica del Norte - Posgrado que dice: Biotecnología, energía, y recursos naturales renovables; además se cumple con el perfil de egreso de la maestría en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas con los acápites que enuncian lo siguiente: el maestrante egresa: Con una visión multidisciplinaria capaces de equilibrar eficazmente la conservación de la capacidad productiva de los ecosistemas, la valoración y aprovechamiento de las externalidades, la equidad y el mejoramiento de la calidad de vida; Con habilidades desarrolladas para el manejo de herramientas técnicas, sociales y económicas inherentes al ámbito de cuencas y micro cuencas hidrográficas incluyendo herramientas SIG, desde la perspectiva de planificación y principios del desarrollo territorial.

Además, Según el Directorio del Consejo Nacional de Electricidad (2008), en el Art. 63 de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico establece que: el Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas.

Considerando que las energías renovables según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático del acuerdo de París 2015, en el que Ecuador es firmante, se consideró que la rápida expansión de las energías renovables y su penetración en el desarrollo energético será la clave del cumplimiento del acuerdo de lucha contra el cambio climático.

El análisis de la energía solar en la cuenca de río Ambi permitirá identificar los nichos de mayor insolación anual y su localización puntual georreferenciada que se especificara en un Atlas Solar con escala 1:100.000. Por otra parte esta información permite ubicar sectores estratégicos para la implantación de parque solares.

La elaboración del atlas solar además de suministrar la información de localización de radiación en el área de estudio, indicará el potencial disponible de energía en kilovatios hora por metro cuadrado ( $\text{Kwh/m}^2$ ), datos importantes para el proyectar la cantidad de energía eléctrica que se puede generar con sistemas solares fotovoltaicos.

Es importante destacar que organismos internacionales interesados en apoyar el desarrollo de energías renovables necesitan disponer de estudios que garanticen técnicamente la disponibilidad de recurso solar, su ubicación y energía utilizable. Por lo tanto el atlas solar objetivo principal de este estudio será una herramienta eficaz para demostrar el potencial del recurso solar en la cuenca del Río Ambi.

## **1.5. Objetivos de la investigación**

### **1.5.1. Objetivo General**

Evaluar la intensidad, distribución temporal y espacial de la energía radiante del sol que incide en la cuenca del Río Ambi con fines energéticos, mediante la evaluación de variables atmosféricas con aplicación de Sistemas de Información Geográfica.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- Analizar la distribución, la temporalidad y la intensidad de radiación solar en la cuenca del Río Ambi.
- Generar el atlas solar a escala 1:100.000 de energía disponible procedente del sol, en la cuenca del Río Ambi.
- Plantear criterios para la elaboración de proyectos estratégicos con energía solar en poblaciones ubicadas en la cuenca del Río Ambi.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Energías renovables

Las energías renovables, al ser originadas por la naturaleza, no se extinguen, al contrario, se generan continuamente hasta la perpetuidad y son amigables con el ambiente. En la actualidad, las energías renovables se han establecido en todo el mundo como una importante fuente de energía. Su rápido crecimiento particularmente en el sector eléctrico es impulsado por diversos factores, incluyendo el aumento de la rentabilidad de las tecnologías renovables (Kevin Nassiep, 2016).

Pese al incremento progresivo en el uso de la energía, por primera vez en cuatro décadas, las emisiones de carbono mundiales relacionadas con el consumo energético se mantuvieron estables en 2014, en paralelo al crecimiento de la economía mundial. Esta estabilización se ha atribuido parcialmente a un aumento de la penetración de la energía renovable y a las mejoras en materia de eficiencia energética, aspectos ambos que se han intensificado drásticamente en los últimos años. (Crónica, ONU, 2015, pág. 1)

Dentro de este marco de necesaria evolución y desarrollo de nuevos procesos y sistemas generadores de energía, respetuosos con el ambiente, conviene no olvidar que estudios elaborados por la Unión Europea han puesto de manifiesto que no se podría llegar a una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> actuando únicamente sobre la producción de energía, por lo que resulta fundamental orientar las políticas de ahorro energético y conservación del ambiente a la sensibilización de la demanda.

En este sentido y tal como subraya el Convenio Marco de Cambio Climático, resulta

necesario involucrar y responsabilizar a los ciudadanos en la gestión de la energía. Este planteamiento de “abajo – arriba” implica una descentralización funcional, desde los niveles inferiores hasta los niveles más elevados, es decir, desde las necesidades de los consumidores hasta las capacidades de los productores, así como un cambio de mentalidad hacia un consumo responsable basado en los principios de prevención, ahorro y eficiencia (Juana, 2003, pág. 8).

## **2.2. Energía Solar**

La Energía solar es la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear. El aprovechamiento de la energía solar se puede realizar de dos formas: por conversión térmica de alta temperatura y por conversión fotovoltaica (Miñaro J. , 2015).

## **2.3. Energía solar que llega a la tierra**

Para conocer la energía solar que llega a la superficie de la tierra es necesario tener en cuenta algunas consideraciones desarrolladas por los científicos ( Stefan- Boltzmann, (1835-1893)) que se aplicaron bajo los estudios siguientes:

- Analizar la constante solar universal
- Analizar la irradiación promedio universal

Según (Franco, 2013) la Ley de Stefan-Boltzmann considera la existencia de una esfera en el vacío y que tuviera como su centro al Sol y con un radio igual a la distancia entre el Sol y la Tierra, con un valor de 150 millones de kilómetros.

## 2.4. Constante solar

La potencia con que el sol irradia hacia todos lados fue analizada por Stefan- Boltzmann expresada en la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia del sol que llega a la tierra (Pots)} = \sigma \cdot \epsilon \cdot Ss \cdot Ts^4 \quad (1)$$

- Donde  $\sigma$  es la constante de Stefan-Boltzmann (también Stefan constante);
- Donde  $\epsilon$  es el coeficiente de emisión.
- Donde  $Ss$  es la superficie del Sol que en este caso es  $5,64 \times 10^{18} \text{ m}^2$ .
- $Ts$  es la temperatura de la superficie solar que como cualquiera sabe vale 5.900 grados kelvin.

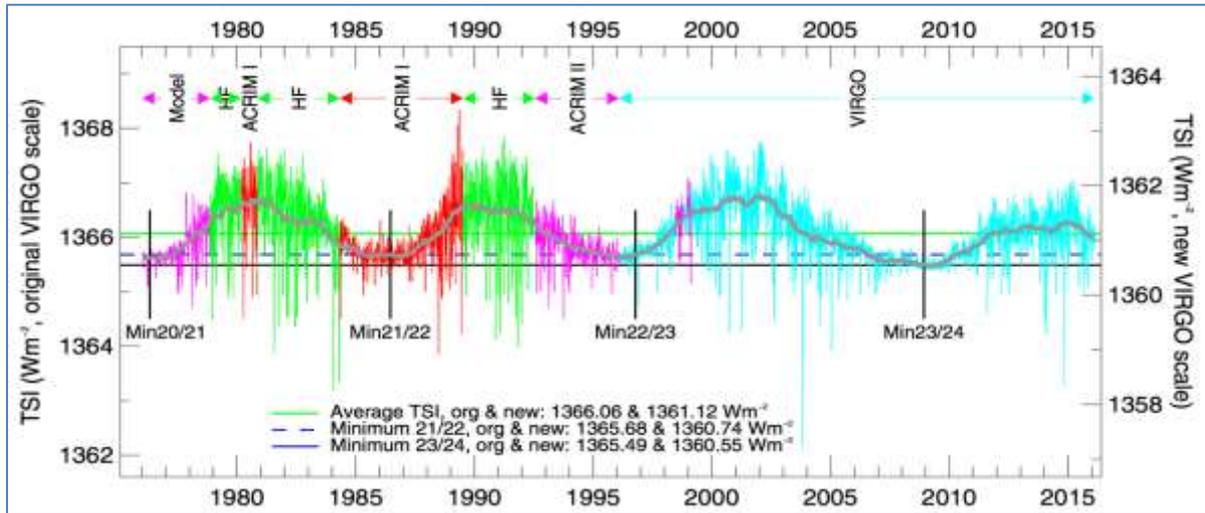
La constante de Stefan-Boltzmann ( $\sigma$ ) dentro de la radiación térmica como mecanismo básico de la transmisión de calor es:  $\text{Pot}_s = 5,67 \times 10^{-8} (\text{W/m}^2 \text{ K}^4)$ .

Se considera que toda esa energía que sale del Sol se reparte en toda la superficie incidente, la mayor parte se extravía en el espacio y una parte capturamos cuando ilumina la Tierra funcionamos como una pantalla para capturar la luz solar. (Franco, 2013).

La variación de la energía solar que incide sobre el Planeta Terra tiene varios ciclos de importancia, algunos ciclos pueden tener miles de años debido a las características de la órbita y la rotación de la tierra (Miranda, Reducción atmosférica de la radiación solar en la Península de Baja California, 2016).

“La variación de la radiación solar se calcula para un plano normal de la dirección Sol-Tierra, con una distancia aproximada de 149,6 millones de Km. conocida como unidad astronómica” (Miranda, 2016).

Tomado de (AU; Iqbal, 1983). La variación de la radiación solar se puede determinar con mediciones de diferentes satélites, a lo largo de casi cuarenta años (Figura 1) por medio de la construcción de un compuesto de radiación solar total, con un promedio de  $1367 \text{ Wm}^2$  (Miranda, 2016)



**Figura N° 1** Incidencia de radiación solar en  $\text{Wm}^{-2}$

Fuente: file:///C:/Users/Admin/Downloads/tesis

“En la figura 1 se especifica las mediciones de la constante solar en incidencia normal para la tierra ( $1361,12 \text{ Wm}^{-2}$ ). Cada color indica una serie de medidas del mismo satélite, como lo afirma” (Miranda, 2016).

## 2.5. Horas pico solar (HPS)

La emisión solar es un conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. Como es lógico en un sistema de captación solar fotovoltaico no necesitamos todo el espectro de esta radiación, que va desde el ultravioleta hasta el infrarrojo. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia, que mide la energía que por unidad de tiempo y área alcanza a la tierra. Su unidad es el  $\text{W/m}^2$  (...) La hora solar pico (HPS), podríamos definirla como una unidad encargada de medir la irradiancia solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiancia solar constante de  $1.000 \text{ W/m}^2$ .

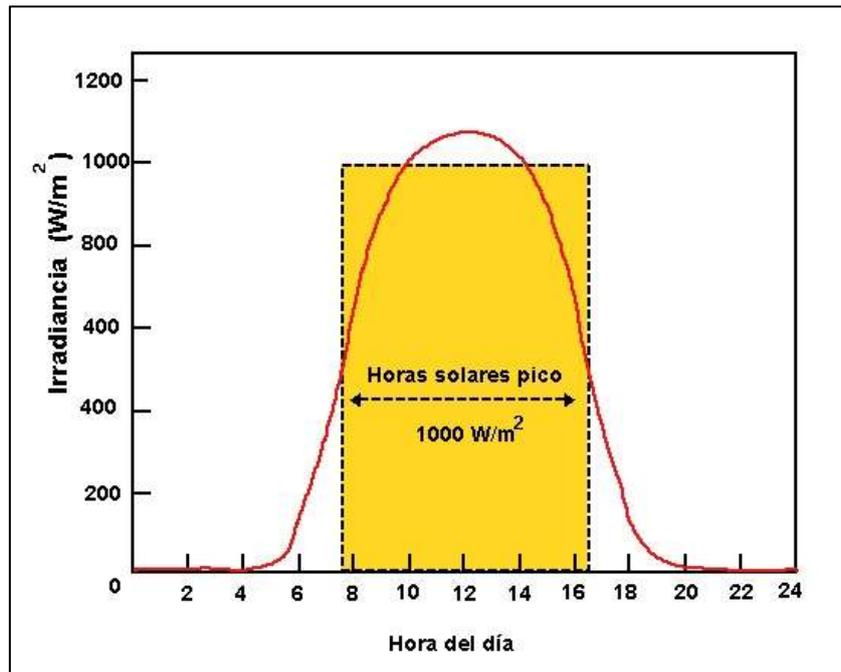
Es importante conocer cómo calcular HSP pues de ello depende el éxito de la instalación de un proyecto solar fotovoltaico, puesto que la irradiancia no será la misma en ningún mes del año y para instalaciones donde su uso sea anual es imposible obtener un resultado satisfactorio calculando en los meses de más alta irradiancia pues de este modo en los meses de más baja irradiancia la instalación no cubriría las necesidades reales (Grupo Elektra, 2014).

Para la implementación de un proyecto solar fotovoltaico en primer lugar hay que definir el sitio de ubicación de la parcela solar. Seguidamente calcular las Horas Pico Solar (HPS) puesto que de ello depende la garantía del rendimiento energético del proyecto, considerando que la irradiación no será la misma en ningún mes del año; unos meses serán de alta irradiación, mientras otros serán de baja irradiación.

Por estas razones y para garantizar el suministro de energía eléctrica durante todo el año, es necesario diseñar la cantidad de paneles fotovoltaicos con datos de los meses de baja heliofanía.

Es significativo destacar que la ubicación de la Cuenca del Río Ambi se encuentra alrededor de la línea ecuador (latitud  $0^{\circ}$ ) que favorece una irradiación solar cenital durante la mayor parte del año. Por lo tanto es significativo considerar que la inclinación de los módulos solares estará con valores cercanos al plano horizontal con la orientación de pacas solares en dirección noreste.

Teniendo en cuenta que la ubicación del estudio, que corresponde a latitud  $0^{\circ}$ , el valor de corrección K (adimensional) es igual a 1.02 con una inclinación de  $5^{\circ}$  K que es un factor correctivo aplicado a la latitud del lugar de la instalación y con inclinación del captador solar específica (Patiño, 2008).



**Figura N° 2 Horas Pico Solar**

Fuente: <http://www.http://calculationsolar.com/blog/>

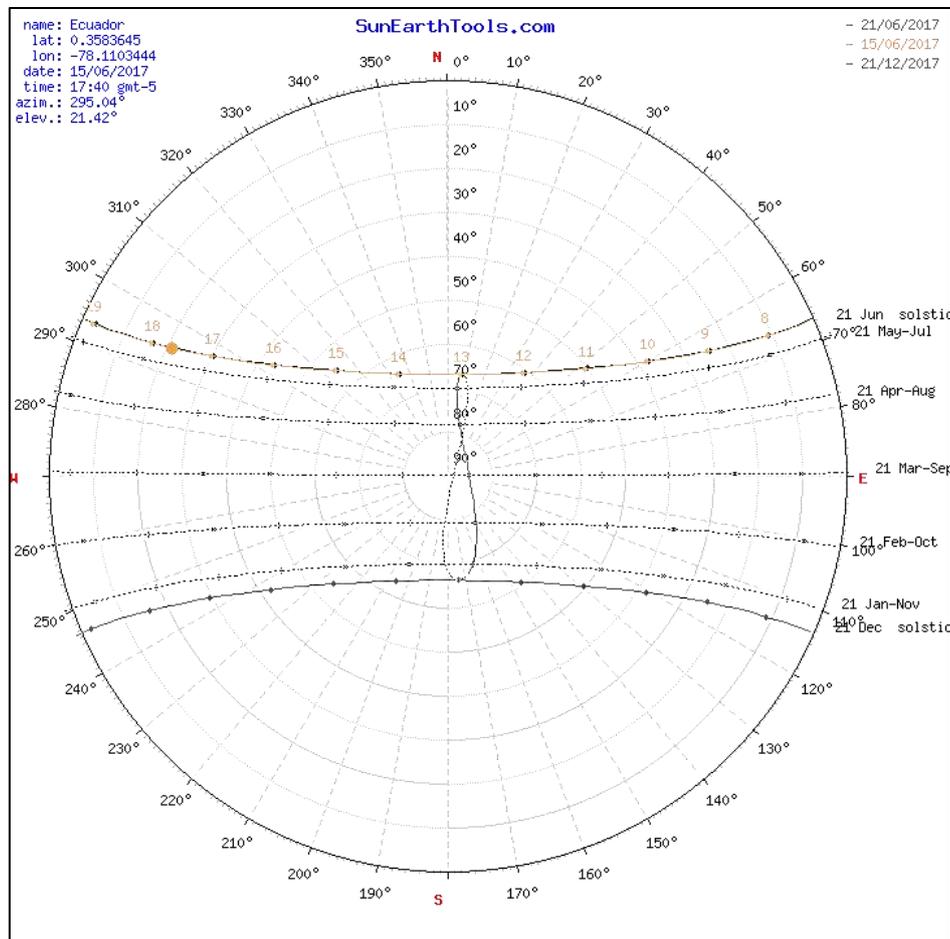
En la figura 2 se detalla las horas pico solar (HPS) corresponde a la máxima heliofanía durante un día normal, en este caso se ubican entre las 8:00 y las 16:00 horas.

## 2.6. Posición del sol en la zona de estudio

La tierra como los demás cuerpos celestes no se encuentra en reposo, sino que están sujetas a más de diez movimientos. La tierra cada 24 horas, exactamente cada 23 h 56 minutos, da una vuelta completa alrededor de un eje ideal que pasa por los polos en dirección Oeste-Este en sentido directo (contrario a las agujas del reloj), produciendo la impresión de que es el cielo el que gira alrededor de nuestro planeta.

A este movimiento denominado rotación, se debe la sucesión de días y noches. Siendo el día el tiempo en que nuestro horizonte aparece iluminado por el Sol y de noche cuando el horizonte permanece oculto a los rayos solares (...). En su movimiento de rotación, los distintos continentes pasan del día a la noche y de la noche al día. (Vicente, 2017, pág. 1).

En la figura 3 se especifica la posición del sol en el cielo en el área de la cuenca del Río Ambi, en coordenadas (Latitud: 0,3563645; Longitud: -78,1103444).



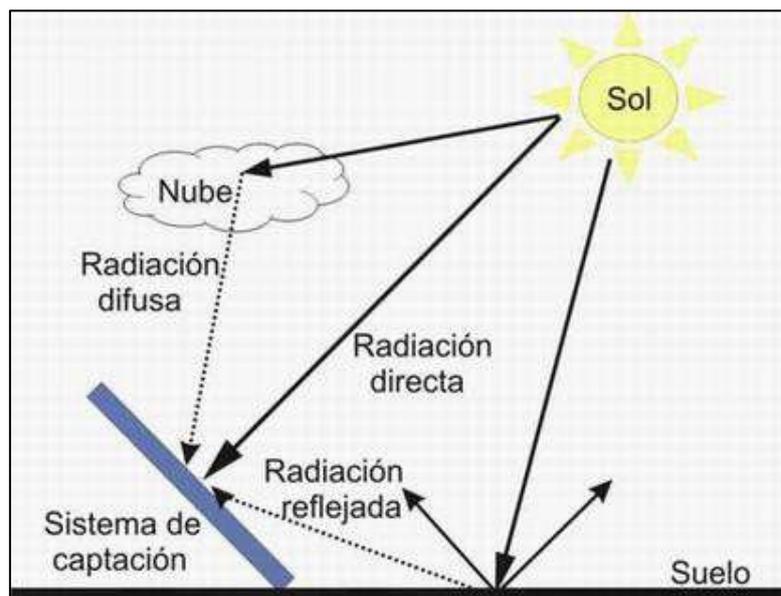
**Figura N° 3** Posición del sol en la Cuenca del Río Ambi

Fuente: [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=es](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es)

## 2.7. Tipos de radiación solar

Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones como consecuencia de las reflexiones y absorciones que no sólo es de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad.

La radiación reflejada es como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben. La radiación global, es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones (Sanz, 2010)



**Figura N° 4** Tipos de radiación solar

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos-pdf5/>

La figura 4 detalla los tipos de radiación más importantes que atraviesan al atmosfera, los más importantes para uso en sistemas energéticos son los de radiación directa.

## 2.8. Energía solar fotovoltaica

La Red de Políticas de Energías Renovables afirma que el mercado de la energía solar fotovoltaica se incrementó un 25% con respecto al 2014, rompiendo un récord de 50 GW y aumentando el total mundial a 227 GW. La capacidad mundial de energía solar FV en el mercado anual del 2015 fue 10 veces mayor a la de hace una década. Una vez más, China, Japón y Estados Unidos reportaron la mayor parte de la capacidad añadida; sin embargo los

mercados emergentes en todos los continentes contribuyeron de manera significativa al crecimiento mundial, impulsados en gran medida por el aumento de la competitividad de los costos de energía solar FV.

A fines de 2015, aproximadamente unos 22 países tenían suficiente capacidad para cumplir con más del 1% de la demanda en electricidad; incluso en algunos países se presentaban cuotas mucho más altas (Italia 7,8%, Grecia 6,5% y Alemania 6,4%).

China alcanzó el 100% de electrificación, en parte gracias a la energía solar FV instalada fuera de la red desde 2012; sin embargo, para la energía conectada a la red, la limitación de la generación solar empezó a convertirse en un grave desafío para el sector de la energía solar FV de China (Red de Políticas de Energías Renovables;, 2016).

En los últimos años la recuperación de la industria se fortaleció aún más debido a la aparición de nuevos mercados y a la fuerte demanda mundial. Asimismo, en 2015 la mayoría de las empresas de primer nivel estaban de vuelta. Se presenció una baja demanda record para proyectos a gran escala de energía FV, tanto en América Latina como en el Medio Oriente y la India. La distribución de techos de energía solar (FV) continuó encareciéndose más que los proyectos de gran escala, sin embargo, los primeros han seguido trayectorias similares a los últimos en cuestiones de precios, e incluso en varios lugares se muestran competitivos con los precios de venta al por menor (Kevin Nassiep, 2016).

## **2.9. Energía solar en Ecuador**

EL Ecuador un privilegiado en radiación solar puesto que el efecto de insolación está presente en todos los días del año. La cordillera de los Andes a su vez lo transforme en un país rico en energías renovables: solar, eólica, hídrica, geotérmica, entre otras.

Con respecto a la energía solar, en el año 2008 el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), publicó el Atlas Solar del Ecuador, que incluye la cuantificación del potencial solar disponible y sus posibilidades de generación eléctrica. A través de un convenio regional suscrito en el 2006 entre la Unión Europea y 8 países de Latinoamérica, Ecuador entre ellos, nace el programa “Euro-Solar”. Este programa tiene entre sus metas mejorar las condiciones de vida en los aspectos de salud, educación y telecomunicaciones de 91 comunidades rurales del país, mediante el acceso a una fuente de energía eléctrica renovable.

Las 91 comunidades están localizadas en las provincias de Guayas, Morona Santiago, Pastaza, Orellana, Napo, Sucumbíos y Esmeraldas. Por medio de programas como Euro-Solar y el Fondo de Energización Rural y Urbano Marginal (FERUM), se impulsó el aprovechamiento solar para generación de energía eléctrica en zonas rurales alejadas de las redes de distribución. Así mismo y gracias al interés que han generado las regulaciones de inversión privada, se encuentran en construcción tres proyectos solares fotovoltaicos, con potencia cercana a 1 MW cada uno, en las zonas de Malchinguí, Paragachi y Escobar; mientras que cinco proyectos de generación solar fotovoltaica y termoeléctrica han presentado su solicitud ante él (CONELEC, 2008).

Las fuentes renovables de energía, como la solar se constituye hoy en día en una alternativa por ser un recurso más limpio que los originados en las fuentes de combustibles fósiles (gasolina, diésel, carbón). Estos recursos alternos son cada vez más competitivos en especial si se toma en consideración que permiten beneficiar un desarrollo más sostenible.

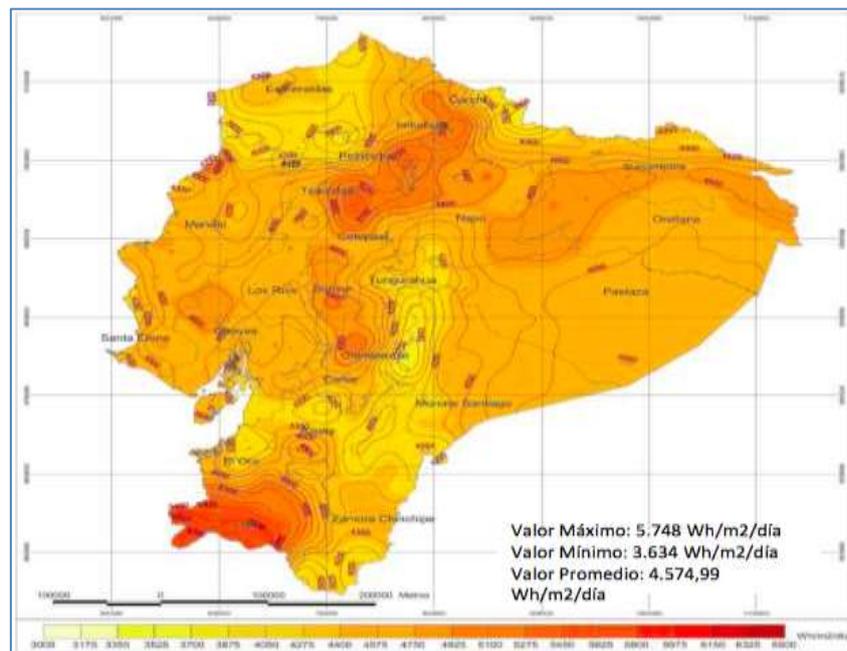
Todas estas reflexiones hacen que las energías renovables están siendo consideradas como una alternativa para el cambio del modelo energético convencional. El costo del Kwh producido con energía renovable especialmente con solar está disminuyendo paulatinamente gracias a los avances tecnológicos, nuevos diseños, uso de nuevos materiales, lo que ha mejorado ampliamente la eficiencia, disminuyendo costos

unitarios de fabricación, costos de operación y costos de mantenimiento (Mora, 2013, pág. 4).

El costo de producción de electricidad mediante sistemas solares fotovoltaicos se mejora continuamente y se optimizan los materiales para la fabricación de placas solares así como los colectores para agua caliente sanitaria (ACS). Por lo indicado, se hace necesario poner énfasis en la utilización de fuentes de energía renovable, contribuir al cambio de la matriz energética que propicia el estado ecuatoriano y sobretodo ayuda a la mitigación del cambio climático que afecta a todo el planeta.

### 2.9.1. Uso de la radiación solar en el Ecuador

El Consejo Nacional de Electricidad presenta el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, el cual ha sido elaborado por la Corporación para la Investigación Nacional Renewable Energy Laboratory - NREL de los Estados Unidos, cuyas acciones están orientadas a la investigación y desarrollo de energías renovables y Eficiencia Energética, CIE (CONELEC, 2008).



**Figura N° 5** Altas Solar del Ecuador

Fuente: <http://www.carlosstjames.com/renewable-energy>

La figura 5, detalla las regiones del Ecuador con mayor incidencia de radiación solar en Wattios hora por metro cuadrado por día ( $WH/m^2/día$ ), con valores máximos, mínimos y promedio.

## **2.9.2. Proyectos de energía solar en Ecuador**

### **2.9.2.1. Central Fotovoltaica Paragachi**

La primera central fotovoltaica de Ecuador inició funciones con 4.160 paneles solares. Este proyecto generó una inversión de 2'200.000 dólares financiados por el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (BIESS) y prevé un ahorro de 2.5 millones de dólares diarios en importación de combustibles y energía. El principal objetivo de esta central es aprovechar la energía solar y transformarla en electricidad, con lo que se prevé aportar 998 kilowatts de electricidad a la red estatal contribuyendo a la diversificación de la matriz energética del país. La obra que ocupa aproximadamente 3.5 hectáreas está ubicada en la provincia de Imbabura, en una de las zonas con mayor irradiación solar en el país. La vida útil de esta central está estimada en 25 años (Agencia de Noticias Andes., 2013, pág. 1).



**Figura N° 6** Central fotovoltaica Paragachi en Imbabura

Fuente: <http://www.andes.info.ec/co>

La figura 6 se indica el parque solar fotovoltaico instalado en una extensión de 3, 5 hectáreas en la Comunidad de Paragachi en el Municipio de Pimampiro de la Provincia de Imbabura.

### **2.9.2.2. Planta fotovoltaica y almacenamiento de energía Isla Baltra**

La planta fotovoltaica y almacenamiento de energía Baltra está ubicada en la isla del mismo nombre (Ilustración 7) tiene dos componentes, el primero es la planta fotovoltaica de 67 Kwp la cual entrega aproximadamente 111 MWh de electricidad por año que están distribuidos en el sistema eléctrico Danta Cruz – Baltra. El segundo componente son dos conjuntos de bancos de baterías de plomo – ácido de descarga profunda que tiene capacidad de almacenamiento hasta 4 KWh de energía proveniente del parque eólico, así optimizando la generación del parque. La planta fotovoltaica y almacenamiento no produce contaminación por vertidos en el aire, suelo y agua, ni contaminación acústica. Este proyecto es parte de la iniciativa de Cero Combustibles Fósiles para Galápagos que impulsa el Gobierno Nacional del Ecuador, y que en la parte eléctrica la dirige el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER, 2013).



**Figura N° 7** Parque solar en la Isla Baltra en Galápagos

Fuente: <https://elproductor.com/2014/12/23/ecuador-30-de-la-energia-en-galapagos-es-renovable/>

### 2.9.3. Concesiones de proyectos fotovoltaicos en el Ecuador

#### 2.9.3.1. Ley De Régimen Del Sector Eléctrico Capítulo I

Art. 2.- Concesiones y Permisos.- El Estado es el titular de la propiedad inalienable e imprescriptible de los recursos naturales que permiten la generación de energía eléctrica. Por tanto, sólo el, por intermedio del Consejo Nacional de Electricidad como ente público competente, puede concesionar o delegar a otros sectores de la economía la generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. (CONELEC, 2011).

**Tabla N° 1** Proyectos de energía solar fotovoltaica concesionados a diferentes empresas por el Consejo Nacional de Electricidad

No	COMPAÑÍA	PROYECTO	UBICACIÓN	CAPACIDAD (MW)
1	DESARROLLOS FOTOVOLTAICOS DEL ECUADOR S.A.	SHIRI I	Distrito Metropolitano de Quito	50
2	CONDORSOLAR S.A.	CONDORSOLAR	Cayambe y Tabacundo, Pichincha	30
3	SOLARCONNECTION S.A.	SOLARCONNECTION	Cayambe y Tabacundo, Pichincha	20
4	ECUADOR ENERGÉTICO S.A.	IMBABURA -PIMÁN	Ibarra, Imbabura	25
5	GUITARSA S.A.	VAIANA	Guayas, Guayas	20
6	ENERGÍA SOLAR S.A.	MANABÍ	Montecristi, Manabí	30
7	ECUADOR ENERGÉTICO S.A.	SANTA ELENA I	Santa Elena, Santa Elena	25
8	ENERCAY S.A.	CENTRO DEL MUNDO	Cayambe, Pichincha	10
9	RACALSER S.A.	CHOTA-PIMAN	Ibarra, Imbabura	8
10	SUPERGALEÓN S.A.	SAN ALFONSO	Ibarra, Imbabura	6
11	GRANSOLAR S.A.	SALINAS	Urcuquí, Imbabura	2
12	ENERGÍAS MANABITAS S.A.	MONTECRISTI	Montecristi, Manabí	12
13	AENORDOR S.A.	LAGARTO	Río Verde, Esmeraldas	20
14	SUN ENERGY ECUADOR S.A.	RANCHO CAYAMBE	Cayambe, Pichincha	8
15	GALÁPAGOS POWER S.A.	ZAPOTILLO	Zapotillo, Loja	16
	TOTAL			282

Fuente: CONELEC (2011)

## 2.10. Estaciones meteorológicas instaladas en la cuenca del Río Ambi

Las cuatro estaciones meteorológicas convencionales que se encuentran al interior de la cuenca del Río Ambi tiene registros de radiación solar superficial a partir año 1985 (Tabla 3). Las estaciones se encuentran equipadas con un heliógrafo que registra la duración de la insolación o brillo solar en horas-día.

El heliógrafo es el aparato más utilizado para medir la insolación o “sol eficaz”, es decir, contar las horas que ha lucido el sol en determinado lugar durante un día. Este registrador de la luz solar consiste básicamente en una bola de vidrio macizo de unos 10 cm. de diámetro que, a modo de lente, concentra los rayos solares en un foco próximo a ella (Figura 8). A medida que el sol se va moviendo en el cielo, este foco va recorriendo una banda o cartulina fijada en un marco metálico paralelo al vidrio, en semicírculo, detrás de la bola. La concentración del foco luminoso y calorífico va trazando por carbonización una línea oscura más o menos acentuada, según la intensidad de los rayos sol (Pelayo, El Heliógrafo de Campbell-Stokes, 2013, pág. 2)



**Figura N° 8 Heliógrafo**

Fuente: <https://www.tiempo.com/ram/1762/el-heliografo-de-campbell-stokes/>

En la figura 8 se aprecia el heliógrafo un instrumento que registra las horas solar directas por día en el sitio de emplazamiento.

La presente investigación se basa principalmente en categorizar la información de radiación solar registrada por estaciones meteorológicas instaladas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMI) y cuyos registros se publican en los anuarios meteorológicos. No obstante este trabajo se apoyó con la información de radiación solar registrada por la estación automática de la UTN, que se encuentra ubicada al interior de la cuenca del Río Ambi. De igual manera el presente trabajo ha tomado en cuenta la estación meteorológica de San Gabriel, ubicada en la periferia de la cuenca con el fin de contrastar el fenómeno de radiación solar (tabla 2).

**Tabla N° 2** Estaciones meteorológicas consideradas para analizar la radiación solar

<b>Estación Meteorológica</b>	<b>Ubicación</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud(m)</b>
<b>UTN</b>	Imbabura	00°21'28''	78°06'39''	2210
<b>Inguincho</b>	Imbabura	00°15'27''	78°24'28''	3140
<b>Otavalo</b>	Imbabura	00°14'36''	78°15'00''	2550
<b>Ibarra</b>	Imbabura	00°19'47''	78°07'56''	2256
<b>San Gabriel</b>	Carchi	00°36'15''	77°49'10''	2860

Fuente: INAMHI (2000)

## **2.11. Marco legal**

### **2.11.1. Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015)**

La Ley Orgánica del Servicio Público (2015) tiene por objeto: garantizar que el servicio público de energía eléctrica cumpla los principios constitucionales de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad, calidad, sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, para lo cual, corresponde a través del presente instrumento, normar el ejercicio de la responsabilidad del Estado de planificar, ejecutar, regular, controlar y administrar el servicio público de energía eléctrica.

La presente ley regula la participación de los sectores público y privado, en actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica, así como también la promoción y ejecución de planes y proyectos con fuentes de energías renovables y el establecimiento de mecanismos de eficiencia energética.

El Art. 26.- Energías renovables no convencionales.- El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable promoverá el uso de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía. La electricidad producida con este tipo de energías contará con condiciones preferentes establecidas mediante regulación expedida por la Agencia de Relección y Control de Electricidad (Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica, 2015, pág. 13).

Con la expedición de esta nueva Ley, Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) continúa con las responsabilidades de regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses de la ciudadanía. Se encarga de la regulación de los aspectos técnico-económicos y operativos del sector, y continúa elaborando pliegos tarifarios, emitiendo regulaciones y efectuando los controles correspondientes; además, enfatiza su accionar en la emisión de regulaciones para la calidad, confiabilidad, seguridad y alumbrado público; y, estableciendo mecanismos para la protección de derechos de los consumidores finales. (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2015).

### **2.11.2. Plan Nacional del Buen Vivir 2013 – 2017**

El Presente Estudio se enmarca en el objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir que

garantiza los derechos de la naturaleza y promueve la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

Por lo tanto se enfoca claramente en el numeral 7.7 que dice: Promover la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles como medida de prevención de la contaminación ambiental y enfoca particularmente en los respectivos numerales que se detallan a continuación:

- a) Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios, para promover el ahorro y la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía.
- b) Promover investigaciones para el uso y la generación de energías alternativas renovables, bajo parámetros de sustentabilidad en su aprovechamiento.
- c) Reducir gradualmente el uso de combustibles fósiles en el transporte y sustituir los vehículos convencionales, fomentando la movilidad sustentable.
- d) Elaborar un inventario de fuentes y demanda de energías renovables y no renovables, así como de sus emisiones, incorporando alternativas tecnológicas.

Amparado en el Marco Legal, el propósito de esta investigación es, caracterizar la disponibilidad de energía solar en la cuenca del Río Ambi, como base para la elaboración de un Atlas Solar y propiciar la formulación de proyectos de desarrollo sustentable.

## **2.12. Sistema de información geográfica - SIG en la investigación**

Para Del Bosque, Fernández y Pérez (2012) durante décadas los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se han aplicado a problemas de gestión territorial y de recursos naturales, a cuestiones relacionadas con el medio ambiente, la legislación militar o en contextos directamente vinculados a las ciencias de la Tierra, como la geografía, la geología, etc. Solo recientemente se ha empezado a considerar el uso

potencial de los SIG para otros campos y disciplinas relativamente inéditos y en particular en la investigación de Ciencia Humanas y Sociales (p. 13).

### **2.13. Sistemas de información satelital**

En el presente estudio se utilizó información explorada por “WorldClim versión 2” que registra datos de la plataforma MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), siendo un instrumento que viaja a bordo de los satélites de Terra (EOS a.m.) y del Aqua (EOS p.m.). La órbita de Terra alrededor de la tierra viaja del norte al sur cruzando el Ecuador por la mañana, mientras que el Aqua viaja del sur al norte cruzando el Ecuador por la tarde. (CREPAD, Área de Teledetección, 1997-2017).

Esta plataforma utilizando datos de entre 9.000 y 60.000 estaciones meteorológicas. Los datos de estaciones meteorológicas se interpolan utilizando spines de placa delgada con variables, incluyendo elevación, distancia a la costa y tres variables derivadas de los satélites: Temperatura máxima y mínima de la superficie terrestre, así como cobertura de nubes, obtenida con la plataforma satélite MODIS. La interpolación se realiza para 23 regiones (...).

Los datos de la estación meteorológica se interpolaron utilizando spines (pequeños segmentos) de placa delgada con variables, incluyendo elevación, distancia a la costa y tres variables derivadas de los satélites: Temperatura máxima, y mínima de la superficie terrestre, así como también cobertura de nubes obtenida con la plataforma satélite MODIS (Fick & Hijmans, 2017).

Uno de los elementos básicos de cualquier representación digital de la superficie terrestre son los Modelos Digitales de Terreno. Constituyen la base para un gran número de aplicaciones en ciencias de la Tierra, ambientales e ingenierías de diverso tipo. Se denomina Modelos Digitales de Terreno al conjunto de capas (generalmente raster) que representan

distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones.

#### **2.14. Generación del atlas solar de la cuenca del Río Ambi**

En el proceso de construcción del atlas solar se utilizó el programa WorldClim 2.0, que maneja datos satelitales climáticos mensuales, promedios de radiación solar, temperaturas mínimas, media, máximas y precipitaciones en un período comprendido entre los años 1970 a 2000. Para categorizar la variable de intensidad de irradianci fue necesario seguir la siguiente secuencia:

- Descarga de radiación solar en formato raster a nivel mundial en períodos de tiempo por meses, de la página WorldClim versión, en versión 2.0 (<http://worldclim.org/version2>).
- Dentro del programa ejecutar la variable que corresponde a “solar Radiación (kJm-2 day-1)”.
- Se descomprimió el archivo, y cargo las capas raster mundiales de la información correspondiente a 12 meses, al programa ArcGIS 10.4.
- Seguidamente se realizó un corte a cada capa raster en relación al área de estudio (Cuenca del Río Ambi).
- A continuación se realizó un geo procesamiento con la herramienta Map Algebra, sumando todas las capas (12 capas 1/por mes) y dividiendo para 12 se obtuvo la información de radiación solar promedio anual, del período de tiempo 1970 al 2000.
- Con la capa promedio se clasificaron las áreas en función de la radiación solar, teniendo en cuenta 10 intervalos o niveles.
- Seguidamente se elaboró el mapa temático (Atlas Solar), con información base: hídrica, poblados, lacustre, vialidad, etc.
- Finalmente se convirtió el Atlas solar en formato de imagen (JPG), como se presenta en el acápite 4.2.1 de este trabajo

El programa Atlas Solares Globales, Financiado Por World Bank Group, permite descargar mapas de potencial de energía solar y de energía fotovoltaica y los datos de SIG pueden descargarse de esta sección.

La radiación solar y otros parámetros se proporcionan como datos raster (cuadrícula) en dos formatos: GeoTIFF y AAIGRID (Esri ASCII Grid). Los datos en ambos formatos son equivalentes, y se ha seleccionado el de energía solar fotovoltaica. Las capas de datos se proporcionan en una referencia espacial geográfica ( [EPSG: 4326](#) ), resolución (tamaño de píxel) 30 arcsec (nominalmente 1 km).

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA

En este capítulo se describe los diferentes métodos y técnicas utilizadas para cumplir con los objetivos planteados en la presente investigación.

#### 3.1. Descripción del área de estudio

##### 3.1.1. Características generales de la cuenca del Río Ambi

El área de estudio está ubicada en la Provincia de Imbabura. Ibarra es la capital de provincia y sus principales ciudades son: Otavalo, Cotacachi, Atuntaqui, Urcuquí y Pimampiro. Se extiende desde los 3420 msnm en la parte alta y desemboca en el río Ambi a los 2200 msnm, ocupa una extensión de 4.608 Km<sup>2</sup>.

##### 3.1.2. Ubicación y límites de la cuenca

Según indica Araque, (2010), la cuenca del Río Ambi se encuentra en la provincia de Imbabura y se inicia en el sector sur de la parte alta del río Ambi, con un área de 4.608 km<sup>2</sup>, con los siguientes límites:

- Norte: Limita con la Microcuenca del Río Pichiguela y con la microcuenca del río Palacara.
- Sur: Tiene como límite la cuenca del Río Gayllabanba
- Este: Limita con la microcuenca del río Tahuando y
- Oeste: Tiene como límite la cuenca del río Santiago Esmeraldas

Las coordenadas geográficas de los extremos de la cuenca del río Ambi son: 00° 07' 15" Hasta 00° 15' 00" N y 77° 48' 20" Hasta 79° 38' 00" W, como se indica la figura 9.

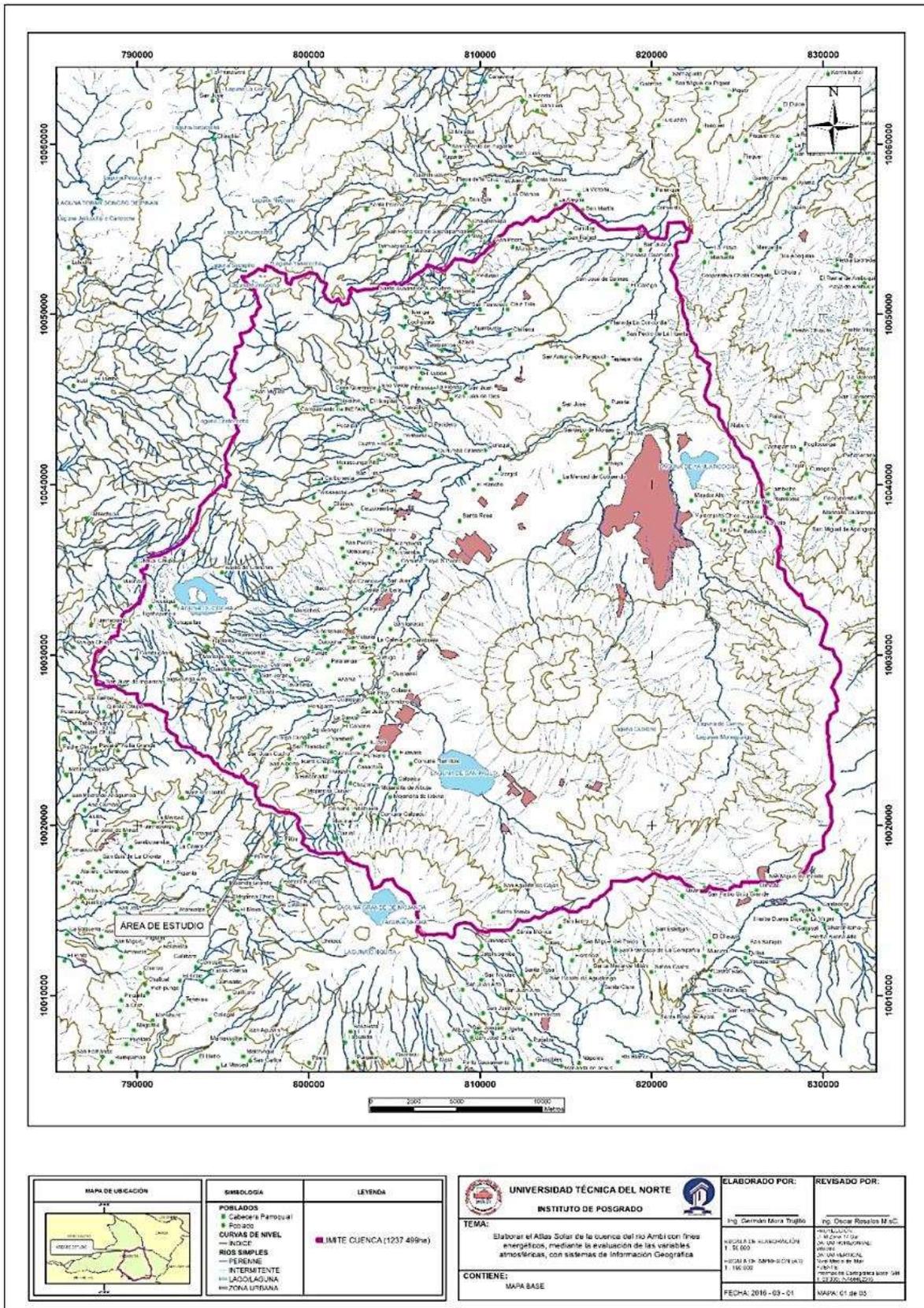


Figura N° 9 Mapa base de la Cuenca del Río Ambi.

### **3.1.3. División política-administrativa de las localidades asentadas en la cuenca del Río Ambi**

El Cantón Ibarra es el más importante y está conformado por las siguientes parroquias rurales: Ambuqui, Angochagua, Carolina, La Esperanza, Lita, Salinas, San Antonio. Parroquias urbanas del Cantón Ibarra son Garanqui, Guayaquil de Alpachaca, Sagrario, San Francisco, La Dolorosa del Priorato. La Cabecera Cantonal es San Miguel de Ibarra.

El Cantón Antonio Ante se divide en las parroquias rurales siguientes: Imbaya, San Francisco de Natabuela, San José de Chaltura, San Roque. Parroquias urbanas del Cantón Antonio Ante son Andrade Marín, Atuntaqui. La Cabecera Cantonal es Atuntaqui. El Cantón Cotacachi consta de las parroquias rurales siguientes: Apuela, Cuellaje, García Moreno, Imantag, Peñaherrera, Plaza Gutiérrez, Quiroga, Vacas Galindo. Parroquias urbanas del Cantón Cotacachi son Sagrario, San Francisco.

Las parroquias rurales del Cantón Otavalo son: Dr. Miguel Egas Cabezas, Eugenio Espejo, González Suárez, Pataqui, San José de Quichinche, San Juan de Ilumán, San Pablo, San Rafael, Selva Alegre. Parroquias urbanas del Cantón Otavalo son Jordán, San Luis. Finalmente el Cantón San Miguel de Urcuquí que lo integran las parroquias rurales siguientes: Cahuasquí, La Merced de Buenos Aires, Pablo Arenas, San Blas, Tumbabiro. (GPI, Planificación, 2013).

### **3.1.4. Geología de la cuenca**

La cuenca del río Ambi está situada en las estribaciones de la cordillera de los Andes y su origen se remonta a la formación de esta gran cadena montañosa. El río Ambi recorre una falla geológica de la cordillera, la misma que se encuentra conformada en su mayoría por rocas metamórficas y en los entornos del río se pueden diferenciar en menor magnitud, una variedad de rocas sedimentarias.

Estudios de la composición interna de la tierra demuestran que, las fallas geológicas son comunes en la provincia de Imbabura, es así que cantones como Urcuquí, Pimampiro, Antonio Ante e Ibarra están situados sobre importantes fallas geológicas, situación que involucra riesgo para la población; hay que tomar en cuenta también que Imbabura tiene peligro por erupciones volcánicas, porque dentro de su territorio se encuentran volcanes como el Cachimbiro, que se encuentra identificado como uno de los más activos de la zona norte de Ecuador. (Araque, 2010).

### **3.1.5. Composición de los suelos de la cuenca**

Los suelos presentes en el área de estudio, provienen de rocas ígneas y sedimentarias de origen volcánico; son suelos de textura arenosa y franco-arenosa en la zona baja, mientras en la zona alta del área de estudio, (páramo) podemos encontrar suelos limosos y limo-arenosos. Sus características de textura y estructura permiten desarrollar la agricultura, son suelos con un índice medio de fertilidad, pero lamentablemente estos suelos han sido sometidos a un acelerado deterioro, siendo el principal factor de destrucción la erosión causada por elementos del ambiente como el viento y en mayor escala por el agua. A más de esto, el hombre es también un factor preponderante en el deterioro del suelo por el desconocimiento o mala utilización de técnicas agrícolas y la utilización de suelos en zonas de pendientes donde no desarrollan labores agrícolas (Flores, 2010)

### **3.1.6. Identidad cultural**

En la mayoría de comunidades indígenas que se encuentran dentro de la zona de estudio se destaca el folklore y música indígena, plasmada en manifestaciones de esta Cultura en aspectos festivos autóctonos destacando las fiestas de San Juan y San Pedro.

Las fiestas más importantes de las comunidades indígenas de las parroquias de San Roque

y Andrade Marín son: el Inti Raymi, la Semana Santa, la Fiesta de los Santos Reyes (*Chaupi Huata*), los matrimonios indígenas (*Ñahui Maillai*), la casa nueva (*Huasi Pichay*), Finados (*Muschuc Huasi*), etc. La mayoría de estas fiestas corresponden a un calendario ritual en el que se nota la simbiosis de la interculturalidad presente en las comunidades.

Las comunidades que forman parte de la zona de estudio están vinculadas a la CCIAA. (Central de Comunidades Indígenas del Cantón Antonio Ante), algunas de estas comunidades no tienen personería jurídica por diferentes motivos.

Las comunidades cuentan con líderes comunitarios o presidentes de las comunas encargados del desarrollo y progreso de sus comunidades, los líderes y presidentes se encuentran en contacto permanente con la dirigencia de la CCIAA, con quienes trazan planes y programas de ayuda y desarrollo social (Terán, 2015).

### **3.2. Diseño de la Investigación**

El trabajo planteado se encuentra dentro de los campos de investigación bibliográfica e investigación de campo con enfoque cuantitativo.

#### **3.2.1. Investigación bibliográfica**

El tipo de investigación bibliográfica ayuda a conocer diferentes orientaciones y enfoques de un determinado tema, se basa en información de libros revistas especializadas o también publicaciones de seminarios, congresos y conferencias.

#### **3.2.2. La investigación de campo**

El trabajo de campo, permitió obtener mediciones reales y fieles de las estaciones meteorológicas que se encuentran al interior de la cuenca. Los datos de heliofanía registrados en los anuarios meteorológicos del INAMHI, se analizaron y se contrastaron con datos satelitales.

### 3.3. Diseño y Tipo de la investigación

El diseño utilizado en esta investigación fue:

- Documental porque se utilizaron anuarios meteorológicos desde 1995 hasta 2013 que actualmente son los últimos que están publicados.
- De campo, se analizó la información de las estaciones meteorológicas instaladas en el área de estudio.
- Tipo descriptivo, porque se caracterizó mensual y anual la radiación solar con uso de hojas de cálculo.

#### 3.3.1. Materiales y equipos

Los materiales que se utilizaron se describen en la siguiente tabla:

**Tabla N° 3** Materiales, equipos y software utilizados para el análisis de radiación solar en la cuenca del Río Ambi.

<b>MATERIALES</b>	<b>EQUIPOS</b>	<b>SOFTWARES</b>
Material de oficina Registros meteorológicos del INAMHI Anuarios meteorológicos del INAMHI Cartas topográficas escala 1:50000 Imágenes satelitales	Solar Radiación Apogee Navegador GPS Computador	ArcGIS 10.4 GorldClim-Global Climate Data Version 2.0 RETScreen Expert Censol50 Sun SEEKER 3D. Versión 5.4.1 SunEarthTools Hojas de cálculo

#### 3.4. Metodología usada para analizar la radiación solar en la cuenca del Río Ambi.

La investigación se realizó en dos fases: de campo y laboratorio. En la fase de campo se reconoció el lugar de las estaciones meteorológicas, in situ, con el fin de registrar las coordenadas de ubicación que se encuentran al interior de cuenca del Río Ambi; esta información fue contrastada con registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

### **3.4.1. Fase de campo**

En la fase de campo se analizó la información de radiación solar de cinco estaciones (tabla 3) a partir del año 1985, hasta el año 2013.

El propósito del trabajo de campo fue extraer la información generada por las estaciones meteorológicas y publicadas en los anuarios del INAMHI, teniendo en cuenta la fidelidad de los datos. Otro aspecto que se tomó en cuenta fue el análisis de datos estadísticos que contienen los archivos de información de heliofanía.

Es importante destacar que los organismos que operan los temas meteorológicos, manejan bases de datos a nivel nacional, por lo que se hizo necesario filtrar la información mensual y anual de los datos de cada estación seleccionada.

### **3.4.2. Fase de laboratorio**

En la fase de laboratorio se analizó la información de radiación solar recolectada, con la ayuda de equipos, hojas de cálculo y softwares (Tabla 4). La información que registran las estaciones meteorológicas está medida en horas de brillo solar por mes. Para determinar la potencia efectiva de la radiación solar se consideró el principio de horas pico solar (HPS) y se transformaron en unidades de uso común:  $\text{Kwh/m}^2$ ,  $\text{KJh/m}^2$  y  $\text{MJh/m}^2$ , como se indica en la tabla 6. De acuerdo con los objetivos planteados, se tomó como eje principal recabar la información de heliofanía que han registran las estaciones meteorológicas (tabla 4). Se consideraron validos los registros secuenciales mes a mes durante un año, descartándose los incompletos, además fue necesario transformar las horas de brillo solar en potencia.

La parte central de la investigación se ha orientado a clasificar la información de radiación solar a partir de 1985 a 2013 (28 años). Es importante destacar que el resultado final de esta investigación es analizar el potencial de la irradiancia promedio que han registrado las

estaciones meteorológicas observadas (Inguincho, Otavalo, Ibarra, UTN y san Gabriel). El propósito de clasificar la información de radiación solar de las cinco estaciones meteorológicas es tener un valor medio de irradiancia que han registrado diferentes estaciones en el mismo año y finalmente analizar el potencial total del brillo solar en la cuenca del Río Ambi.

La potencia definida, es la velocidad a la que se consume la energía, que también se puede especificar como, la energía desarrollada o consumida en una unidad de tiempo (Potencia = Energía / tiempo). La información publicada en los anuarios meteorológicos registra horas de heliofanía mensual (horas sol/mes), siendo necesario transformar a energía (Kwh/m<sup>2</sup>).

**Tabla N° 4** Registro de heliofanía en la estación meteorológica Inguincho, publicado en el anuario del INAMHI, año 2006

<b>CODIGO ANUARIOS</b>	<b>M001. ESTACIÓN. INGUINCHO</b>
<b>MESES</b>	<b>HELIOFANÍA</b> (Horas/mes)
<b>Enero</b>	116,4
<b>Febrero</b>	87,5
<b>Marzo</b>	105,0
<b>Abril</b>	104,8
<b>Mayo</b>	153,9
<b>Junio</b>	158,2
<b>Julio</b>	188,6
<b>Agosto</b>	183,6
<b>Septiembre</b>	177,4
<b>Octubre</b>	160,7
<b>Noviembre</b>	102,6
<b>Diciembre</b>	141,4
<b>Promedio</b>	140,00
<b>Valor anual</b>	1680,1

Fuente: INAMHI

El análisis de los valores de heliofanía/mes determinó que la mayor radiación solar corresponde a julio, agosto y septiembre. El mes de menor heliofanía es febrero. El promedio de Heliofanía en año 2006 es de 140,00 horas/sol, lo que permite considera un año soleado, como se puede apreciar en la tabla 4.

Es necesario puntualizar que una hora de heliofanía es igual a una hora pico solar y según se expresa en acápite 2.2 de este estudio que dice textualmente “La hora solar pico (HSP), podríamos definirla como una unidad encargada de medir la irradiación solar y definirla como el tiempo (en horas) de una hipotética irradiancia solar constante de 1.000 W/m<sup>2</sup>”.

En base al criterio de horas pico solar (HPS), se determinó la intensidad de energía solar recibida en la estación Inguincho, transformando las horas sol por mes en Kwh/m<sup>2</sup> y MJh/m<sup>2</sup>, como se indica en la tabla 5.

**Tabla N° 5** Irradiancia en la cuenca del Río Ambi transformada a Kwh/m<sup>2</sup> y MJ/m<sup>2</sup>, estación Inguincho, año 2006

<b>Año 2006</b>	<b>Horas sol/mes</b>	<b>Kwh/m<sup>2</sup></b>	<b>MJ/m<sup>2</sup></b>
<b>Ene</b>	114,10	3,68	13,25
<b>Feb</b>	92,20	3,29	11,85
<b>Mar</b>	104,80	3,49	12,58
<b>Abr</b>	105,40	3,51	12,65
<b>May</b>	147,60	4,92	17,71
<b>Jun</b>	157,30	5,24	18,88
<b>Jul</b>	180,20	6,01	21,62
<b>Ago</b>	186,20	6,21	22,34
<b>Sep</b>	190,10	6,34	22,81
<b>Oct</b>	162,10	5,40	19,45
<b>Nov</b>	111,10	3,70	13,33
<b>Dic</b>	143,90	4,80	17,27

Fuente: Anuarios meteorológicos INAMHI

La irradiancia en la cuenca del río Ambi, llamada también insolación se ha registrado en Kwh/m<sup>2</sup> y MJ/m<sup>2</sup>, considerando las siguientes transformaciones de unidades de energía solar:

$$1 \text{ Kilowatt-hora} = 1.000 \text{ watt} \times 3.600 \text{ segundos} = 3,6 \times 10^6 \text{ julios}$$

$$1 \text{ Kwh} = 3,6 \times 10^6 \text{ Julios} = 3,6 \text{ MJ (Mega julios).}$$

### 3.4.3. Análisis de Radiación Solar con Datos de la Estación Meteorológica Inguincho, año 1995

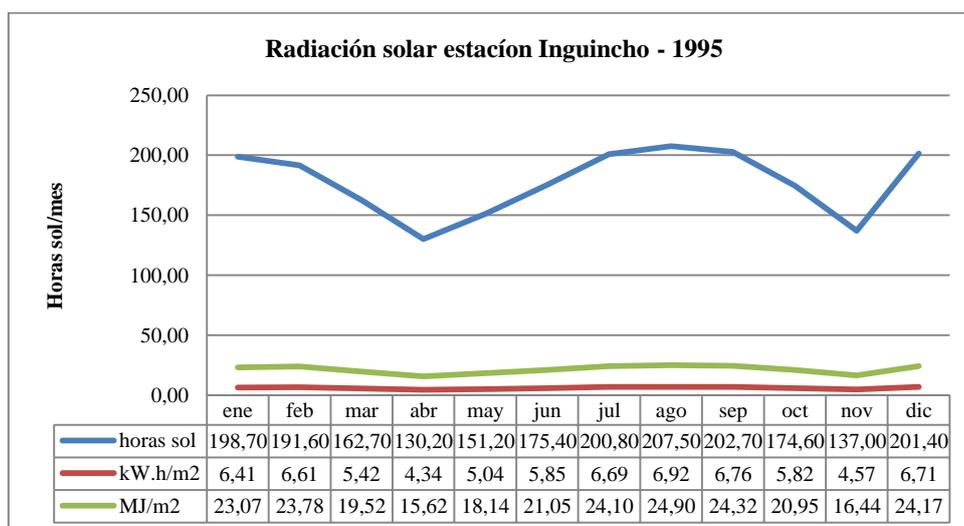
La estación meteorológica Inguincho equipada con un heliógrafo que registra la duración de la insolación o brillo solar en horas mes, como se indica en la tabla 6.

**Tabla N° 6** Registro de heliofanía, estación Inguincho, año 1995

<b>Año 1995</b>	<b>horas sol/mes</b>	<b>kWh/m2</b>	<b>MJ/m2</b>
<b>Ene</b>	198,70	6,41	23,07
<b>Feb</b>	191,60	6,61	23,78
<b>Mar</b>	162,70	5,42	19,52
<b>Abr</b>	130,20	4,34	15,62
<b>May</b>	151,20	5,04	18,14
<b>Jun</b>	175,40	5,85	21,05
<b>Jul</b>	200,80	6,69	24,10
<b>Ago</b>	207,50	6,92	24,90
<b>Sep</b>	202,70	6,76	24,32
<b>Oct</b>	174,60	5,82	20,95
<b>Nov</b>	137,00	4,57	16,44
<b>Dic</b>	201,40	6,71	24,17

Fuente: Anuario meteorológico 1995 INAMHI

Los datos secuenciales de radiación solar en la cuenca del Río Ambi, se manifiestan a partir del año 1995, como se puede apreciar en la tabla 6. Los meses de mayor insidencia de helifanía son julio, agosto y septiembre con valores sobre las 200 horas/ sol/ mes.



**Figura N° 10** Radiación solar estación Inguincho año 1995

La potencia eléctrica máxima que puede generar el sol, se presenta en los meses de julio agosto y septiembre con un valor promedio 6,79 Kwh/m<sup>2</sup>, mientras que los meses de baja potencia solar registran los meses de marzo, abril y mayo, con un valor promedio de 5,27 Kwh/m<sup>2</sup>, como se indica en la figura 10.

#### 3.4.4. Análisis de radiación solar con datos de la estación meteorológica Ibarra.

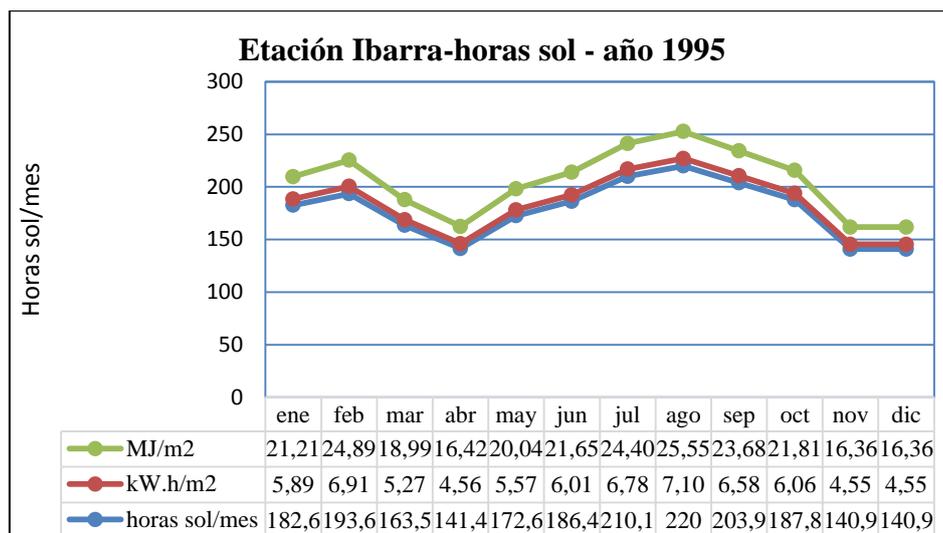
El anuario publicado por el INAMHI correspondiente al año 1995 indica que la estación de Ibarra con coordenada: 00o 19' 47.04'' N; 78o 07' 56.75'' W y 2256 msnm. Es una estación convencional equipada con un heliofanógrafo que registra la insolación mes a mes en (horas sol/mes), cuyos valores se indica en la tabla 7.

**Tabla N° 7** Datos de heliofanía de la estación meteorológica Ibarra, año 1995

<b>Año 1995</b>	<b>Horas sol /mes</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJh/m2</b>
<b>Ene</b>	182,6	5,89	21,21
<b>Feb</b>	193,6	6,91	24,89
<b>Mar</b>	163,5	5,27	18,99
<b>Abr</b>	141,4	4,56	16,42
<b>May</b>	172,6	5,57	20,04
<b>Jun</b>	186,4	6,01	21,65
<b>Jul</b>	210,1	6,78	24,40
<b>Ago</b>	220	7,10	25,55
<b>Sep</b>	203,9	6,58	23,68
<b>Oct</b>	187,8	6,06	21,81
<b>Nov</b>	140,9	4,55	16,36
<b>Dic</b>	213,6	6,89	24,81

Fuente: Anuario meteorologico 1995 INAMHI

La tabla 7 indica el máximo de brillo solar en el mes de agosto con 220 horas de insolación que alcanza una potencia de 25,55 MJ/m<sup>2</sup>. Sin embargo el dato que interesa es mes de menor luz solar directa, siendo en este caso el mes de noviembre con 140,9 horas sol y con una potencia de 16,36 MJ/m<sup>2</sup>. Es importante considerar que el año 1995, en general es un año alta insolación.



**Figura N° 11** Radiación solar estación Ibarra año 1995

La figura 11, indica un máximo de brillo solar en los meses de julio, agosto y septiembre con un máximo de 220 horas de insolación que alcanza una potencia de 25,55 MJ/m<sup>2</sup>.

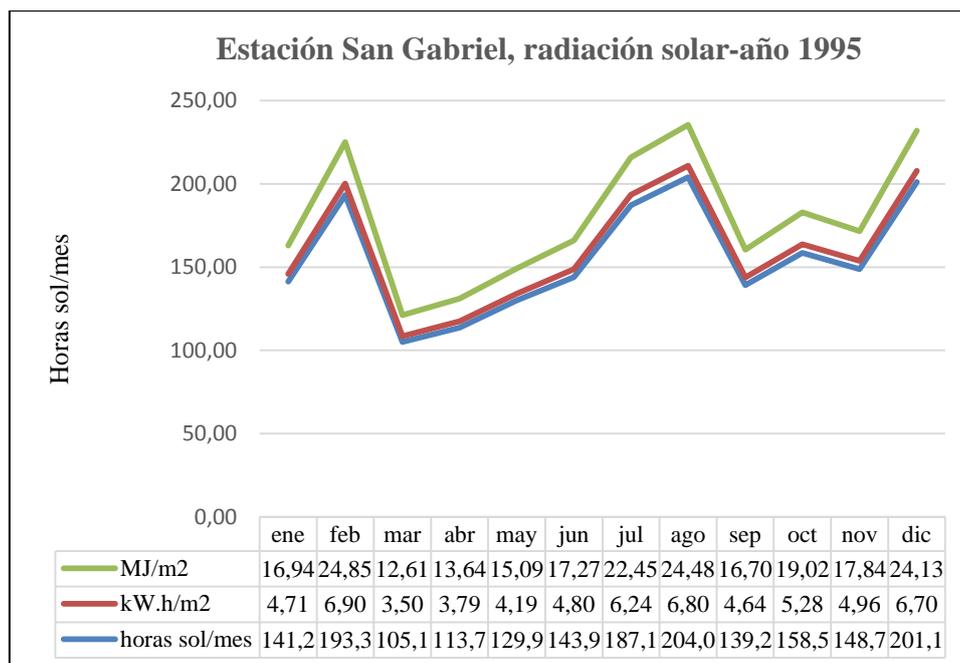
### 3.4.5. Registros Solares de la Estación Meteorológica San Gabriel, año 1995

En el presente estudio se ha tomado datos de heliofanía en la estación de San Gabriel, ubicada en la periferia de la cuenca del río Ambi, esto con el fin de analizar la radiación solar en el entorno del área de estudio. La estación meteorológica San Gabriel con coordenada: 00° 36' 15'' N; 77° 49' 10'' W y 2860 msnm. Es una estación que se encuentra a mayor altitud, considerada también como convencional equipada con un heliofanografo que registra la duración de la insolación o brillo solar en (horas sol/día), como se indica en la tabla 8.

**Tabla N° 8** Datos de radiación solar de la estación meteorológica San Gabriel, año 1995

<b>Año 1995</b>	<b>horas /mes</b>	<b>Kwh/m<sup>2</sup></b>	<b>MJ/m<sup>2</sup></b>
<b>Ene</b>	141,20	4,71	16,94
<b>Feb</b>	193,30	6,90	24,85
<b>Mar</b>	105,10	3,50	12,61
<b>Abr</b>	113,70	3,79	13,64
<b>May</b>	129,90	4,19	15,09
<b>Jun</b>	143,90	4,80	17,27
<b>Jul</b>	187,10	6,24	22,45
<b>Ago</b>	204,00	6,80	24,48
<b>Sep</b>	139,20	4,64	16,70
<b>Oct</b>	158,50	5,28	19,02
<b>Nov</b>	148,70	4,96	17,84
<b>Dic</b>	201,10	6,70	24,13

Fuente: Anuario meteteorológico 2012 INAMHI



**Figura N° 12** Radiación solar estación San Gabriel año 1995

Para este análisis se ha tomado en cuenta una estación cercana a la cuenca del río Ambi, con mayor altura sobre el nivel del mar, con el fin de tener el comportamiento de la heliofanía en el entorno de la cuenca del Río Ambi.

En cuanto a la información que muestra la figura 12, podemos distinguir claramente que el año 1995 se presentan dos rangos de mayor heliofanía tanto en el mes de febrero como en los meses de julio y agosto.

Este fenómeno no se encontró en las estaciones analizadas, que se encuentran al interior de la cuenca estudiada.

### **3.4.6. Análisis de radiación solar registrada en la estación Inguincho, año 2012**

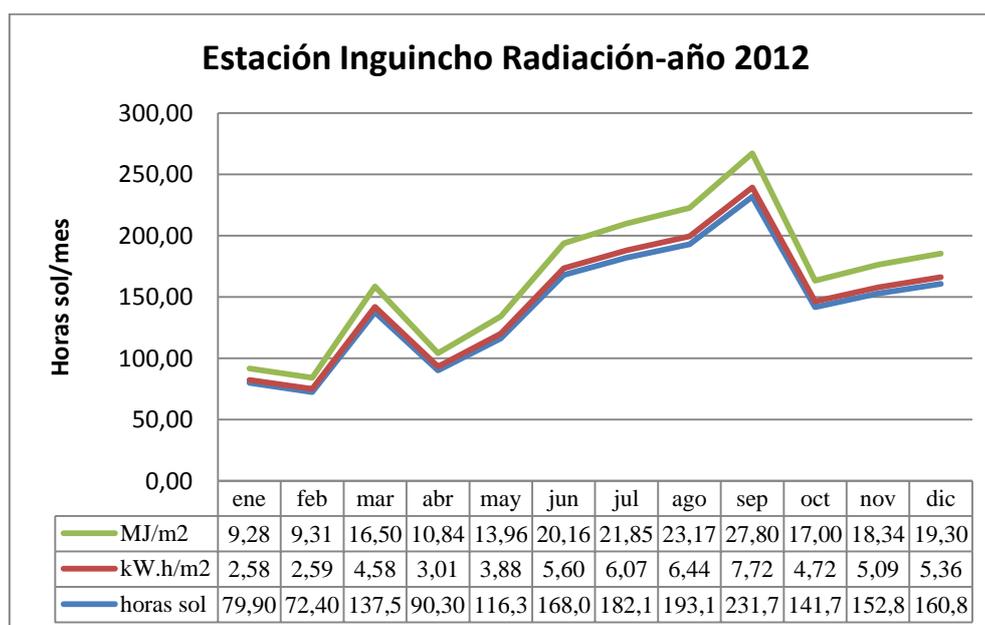
La estación meteorológica Inguincho con coordenada: 00° 15' 27,13'' N; 78° 24' 28,94'' W y 3140 msnm. Es una estación convencional equipada con un heliógrafo que registra la duración de la insolación o brillo solar en horas mes, como se indica en la tabla 9.

**Tabla N° 9** Datos de radiación solar de la estación Inguincho, año 2012

<b>AÑO 2012</b>	<b>horas sol/mes</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJ/m2</b>
<b>Ene</b>	79,90	2,58	9,28
<b>Feb</b>	72,40	2,59	9,31
<b>Mar</b>	137,50	4,58	16,50
<b>Abr</b>	90,30	3,01	10,84
<b>May</b>	116,30	3,88	13,96
<b>Jun</b>	168,00	5,60	20,16
<b>Jul</b>	182,10	6,07	21,85
<b>Ago</b>	193,10	6,44	23,17
<b>Sep</b>	231,70	7,72	27,80
<b>Oct</b>	141,70	4,72	17,00
<b>Nov</b>	152,80	5,09	18,34
<b>Dic</b>	160,80	5,36	19,30

Fuente: Anuario meteteorológico 2012 INAMHI

La información de heliofanía registrada en (horas sol/mes) en el año 2012, se convirtió a  $\text{Kwh/m}^2$  y  $\text{MJ/m}^2$ , unidades que nos permiten medir la potencia el sol al interior de la cuenca del río Ambi. El propósito de este análisis es conocer el mes de menor insolación en el año para calcular las horas pico solar (HPS), que sirven de referencia en diseño de proyectos de energía solar fotovoltaica.



**Figura N° 13** Radiación solar estación Inguincho-año 2012

La figura 13, indica el máximo de radiación solar registrada en el mes de septiembre con 231,70 horas de insolación que alcanza una potencia de 19,30 MJ/m<sup>2</sup>. Sin embargo el dato que interesa para un diseño de uso de energía solar es el mes de menor luz solar directa, siendo en este caso el mes de enero con 79,90 horas sol y con una potencia de 9,28 MJ/m<sup>2</sup>.

### 3.4.7. Análisis de la radiación solar con datos de la estación meteorológica Otavalo, año 2012

La estación meteorológica Otavalo con coordenada: 00° 14' 36'' N; 78° 15' 00'' W y 2550 msnm. Es una estación convencional equipada con un heliofanografo que registra la duración del brillo solar en horas día, como se indica en la tabla 10.

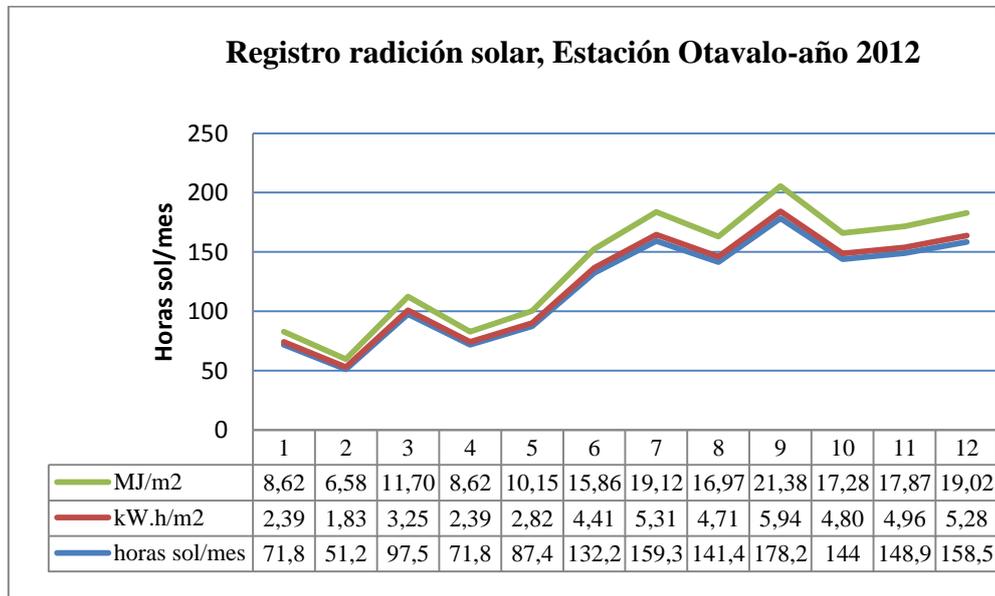
**Tabla N° 10** Registro de radiación solar, con datos de la estación Otavalo, año 2012

<b>Año 2012</b>	<b>horas sol/mes</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJ/m2</b>
<b>Ene</b>	71,8	2,39	8,62
<b>Feb</b>	51,2	1,83	6,58
<b>Mar</b>	97,5	3,25	11,70
<b>Abr</b>	71,8	2,39	8,62
<b>May</b>	87,4	2,82	10,15
<b>Jun</b>	132,2	4,41	15,86
<b>Jul</b>	159,3	5,31	19,12
<b>Ago</b>	141,4	4,71	16,97
<b>Sep</b>	178,2	5,94	21,38
<b>Oct</b>	144	4,80	17,28
<b>Nov</b>	148,9	4,96	17,87
<b>Dic</b>	158,5	5,28	19,02

Fuente: Anuario meteteorológico 2012 INAMHI

La información de heliofanía registrada en (horas sol/mes) en la estación meteorológica Otavalo, el año 2012, es ha transformado a Kwh/m<sup>2</sup> y MJ/m<sup>2</sup>, unidades que nos permiten medir la potencia del sol al interior de la cuenca del río Ambi. La finalidad de este análisis es conocer el mes de menor insolación en el año para calcular las horas pico solar (HPS). El propósito de poseer esta información tiene la finalidad de tener una base de averiguación de

irradiación para diseño de proyectos de energía solar fotovoltaica. Cabe destacar que el mes de mínima insolación corresponde a febrero con un valor de  $6,58 \text{ MJ/m}^2$ , como se indica en la tabla 10.



**Figura N° 14** Radiación solar estación Otavalo - año 2012

Fuente: Anuario meteteorológico 2012 INAMHI

La figura 14, muestra el máximo de brillo solar en el mes de septiembre con 178,2 horas de insolación que alcanza una potencia de  $21,38 \text{ MJ/m}^2$ . Sin embargo el dato que interesa es mes de menor luz solar directa, siendo en este caso el mes de febrero con 51,2 horas sol y con una potencia de  $6,58 \text{ MJ/m}^2$ .

Es importante destacar que conociendo la menor heliofanía, permite diseñar un proyecto de energía solar en condiciones extremas de insolación ya que el diseño proyectara resultados para tener suficiente energía eléctrica fotovoltaica, aún en el mes de menor radiación solar, por lo que el resto del año estaría con abastecimiento de sol radiante de forma garantizada.

### 3.4.8. Registro de radiación solar global estación automática de la UTN

La radiación solar global registrada en el año 2012 en la estación meteorológica digital, instalada en el campus de la Universidad Técnica del Norte, rastrea datos solares, recopilados

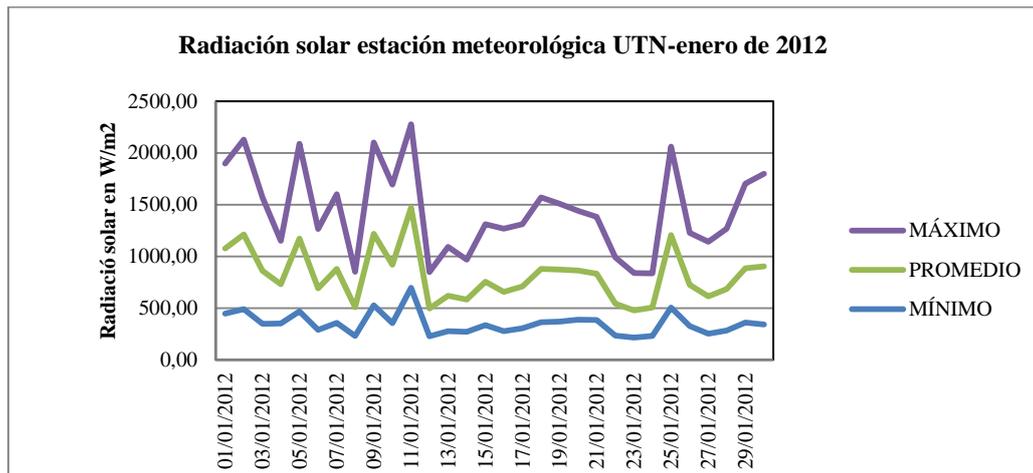
cada diez minutos durante 12 horas. Los datos almacenados son clasificados en valores promedios, máximos y mínimos. Esta información se encuentra registrada en una hoja Excel, como se indica en la tabla 11.

**Tabla N° 11** Registro de radiación solar diaria estación UTN, enero 2012

<b>FECHA</b>	<b>MÍNIMO (W/m<sup>2</sup>/día)</b>	<b>PROMED (W/m<sup>2</sup>/día)</b>	<b>MÁXIMO (W/m<sup>2</sup>/día)</b>
<b>01/01/2012</b>	447,90	628,92	821,53
<b>02/01/2012</b>	489,16	723,88	916,20
<b>03/01/2012</b>	347,73	513,96	710,41
<b>04/01/2012</b>	349,90	381,67	420,29
<b>05/01/2012</b>	468,18	703,88	918,14
<b>06/01/2012</b>	290,61	399,49	575,22
<b>07/01/2012</b>	358,29	522,10	721,61
<b>08/01/2012</b>	232,16	276,71	343,29
<b>09/01/2012</b>	526,35	691,76	883,49
<b>10/01/2012</b>	355,65	562,57	776,39
<b>11/01/2012</b>	697,16	774,33	807,53
<b>12/01/2012</b>	226,65	269,51	351,57
<b>13/01/2012</b>	277,63	341,78	473,29
<b>14/01/2012</b>	270,14	312,16	384,90
<b>15/01/2012</b>	335,63	419,73	557,47
<b>16/01/2012</b>	277,84	379,94	608,92
<b>17/01/2012</b>	304,71	404,41	600,84
<b>18/01/2012</b>	363,55	516,98	689,24
<b>19/01/2012</b>	369,96	503,88	635,22
<b>20/01/2012</b>	388,55	473,80	577,45
<b>21/01/2012</b>	385,59	446,69	549,04
<b>22/01/2012</b>	235,49	306,73	447,49
<b>23/01/2012</b>	214,61	264,86	360,78
<b>24/01/2012</b>	229,53	275,02	331,47
<b>25/01/2012</b>	505,14	702,57	853,98
<b>26/01/2012</b>	327,71	397,14	504,16
<b>27/01/2012</b>	252,24	360,88	528,71
<b>28/01/2012</b>	283,59	400,20	583,73
<b>29/01/2012</b>	360,80	526,10	817,29
<b>30/01/2012</b>	340,80	563,73	894,71

Fuente: Estación meteorológica UTN (2012)

Analizando los datos de radiación solar emitidos por la estación automática UTN y comparando con la información de estaciones convencionales del INAMHI, encontramos las defenecías siguientes: La información de radiación solar en una estación automática se registra en (W/m<sup>2</sup>), mientras que las estaciones convencionales registran en (Heliofanía/horas/mes).



**Figura N° 15** Radiación solar estación meteorológica UTN-enero de 2012

La información de radiación solar registrada por una estación meteorológica automática (UTN), nos indica exactamente la mínima, media y máxima potencia del sol en (W/m<sup>2</sup>). Es importante destacar que la máxima radiación registrada en cuatro días del mes de enero del año 2012, sobrepasa momentáneamente los 2000 (W/m<sup>2</sup>), como se indica la figura 15.

### 3.5. Trayectoria del sol

Por otra parte es necesario conocer la trayectoria que sigue el sol al interior de la cuenca del río Ambi. Para este análisis se utilizó el programa satelital denominado Sun Seeker que muestra la trayectoria del sol. Proporciona una vista plana con brújula y una realidad vista 3-D aumentada que muestra la trayectoria solar, sus intervalos de una hora, los equinoccio de invierno y verano; salida y puesta del sol, finalmente la dirección solar para cada hora la luz del día (Sunseeker: 3D Augmented Reality Viewer, 2017).



**Figura N° 16** Ángulo de elevación del sol, programa Sunn Seeker

El programa Sunn Seeker, registra el lugar de toma de datos con sus respectivas coordenadas, el día, la hora de salida del sol poniente, hora de culminación cenital y ángulo de elevación máxima. Durante este período de recorrido de la tierra alrededor del sol el programa registra los solsticio de invierno (21-dic. 2016) y solsticio de verano (20 jun. 2016), como se puede apreciar en la figura 16.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Análisis de la radiación solar promedio en la cuenca del Río Ambi

##### 4.1.1. Radiación Promedio Año 1995

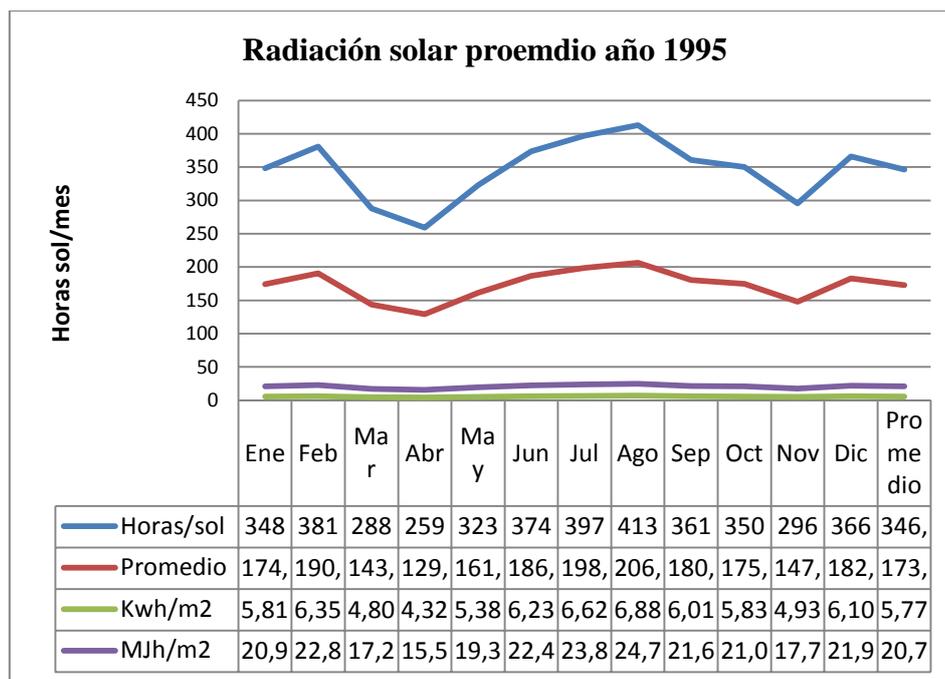
La información de heliofanía (horas/sol) registrada por las estaciones meteorológica ubicadas al interior de cuenca del Río Ambi, fue analizada en valores promedio de heliofanía de las estaciones (Inguincho y Otavalo) del año 1995. El propósito de este estudio es disponer de datos secuenciales (enero-diciembre) que permitan reflejar el potencial de energía solar emitida durante el año integro, como se indica en la tabla 12.

Una de las dificultades encontradas en el período de análisis (1995-2013), fue que las estaciones meteorológicas no disponen de información completa. Por lo que fue necesario clasificar datos de registros fidedignos mes a mes.

**Tabla N° 12** Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 1995

<b>Año 1995</b>	<b>Horas/sol</b>	<b>Promedio/mes</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJ/m2</b>
<b>Ene</b>	348,3	174,15	5,81	20,90
<b>Feb</b>	380,9	190,45	6,35	22,85
<b>Mar</b>	287,7	143,85	4,80	17,26
<b>Abr</b>	258,9	129,45	4,32	15,53
<b>May</b>	322,7	161,35	5,38	19,36
<b>Jun</b>	373,5	186,75	6,23	22,41
<b>Jul</b>	397,2	198,60	6,62	23,83
<b>Ago</b>	413	206,50	6,88	24,78
<b>Sep</b>	360,8	180,40	6,01	21,65
<b>Oct</b>	350	175,00	5,83	21,00
<b>Nov</b>	295,7	147,85	4,93	17,74
<b>Dic</b>	365,87	182,94	6,10	21,95
<b>Promedio</b>	346,21	173,11	5,77	20,77

Fuente: Anuario meteteorológico 1995 INAMHI



**Figura N° 17** Energía solar promedio 1995

Fuente INAMHI

Siendo la heliofanía la medida de las horas de brillo solar directas (sin nubosidad), permite definir las horas pico solar (HPS) de la irradiación del sol. Este análisis admite considerar los meses de mayor o menos insolación en un año específico. En la figura 17, se puede ver claramente que el mes de abril proyecta una menor radiación con 4,32 Kwh/m<sup>2</sup>, mientras que los meses de julio y agosto son los de mayor emisión solar, con 6,64 y 6,89 (Kwh/m<sup>2</sup>) respectivamente.

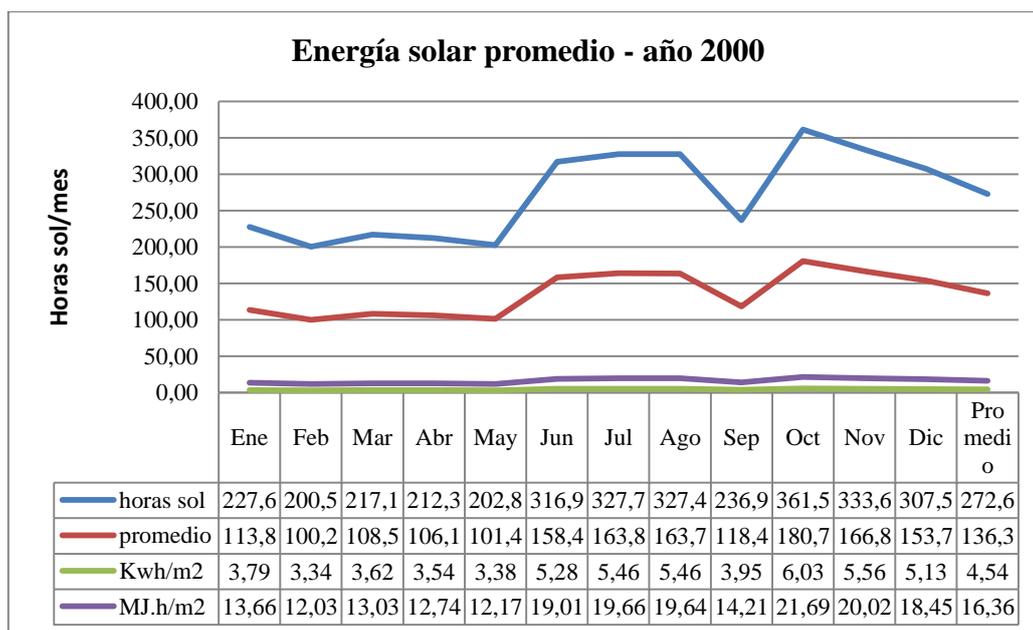
#### 4.1.2. Radiación solar promedio año 2000

La radiación solar promedio del año 2000, fue analizada con los datos emitidos por las estaciones meteorológicas de Inguincho y Otavalo. Durante este período se pudo establecer que existe una variación respecto al análisis anterior (año 1995), año en el cual se presenta una baja heliofanía (enero, febrero, marzo, abril y mayo) y los restantes meses del año con una alta radiación, como se indica en la tabla 13.

**Tabla N° 13** Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 2000

<b>Año 2000</b>	<b>horas sol</b>	<b>promedio</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJ./m2</b>
<b>Ene</b>	227,60	113,80	3,79	13,66
<b>Feb</b>	200,50	100,25	3,34	12,03
<b>Mar</b>	217,10	108,55	3,62	13,03
<b>Abr</b>	212,30	106,15	3,54	12,74
<b>May</b>	202,80	101,40	3,38	12,17
<b>Jun</b>	316,90	158,45	5,28	19,01
<b>Jul</b>	327,70	163,85	5,46	19,66
<b>Ago</b>	327,40	163,70	5,46	19,64
<b>Sep</b>	236,90	118,45	3,95	14,21
<b>Oct</b>	361,50	180,75	6,03	21,69
<b>Nov</b>	333,60	166,80	5,56	20,02
<b>Dic</b>	307,50	153,75	5,13	18,45
<b>Promedio</b>	272,65	136,33	4,54	16,36

Fuente INAMHI



**Figura N° 18** Energía solar promedio - año 2000

Fuente INAMHI

Analizando la figura 18, se puede apreciar una diferencia marcada con el mes más soleado (octubre) con un máximo de 21,6 (MJh/m<sup>2</sup>). Considerando que en el resto de años estudiados los meses de mayor irradiancia son: agosto y septiembre.

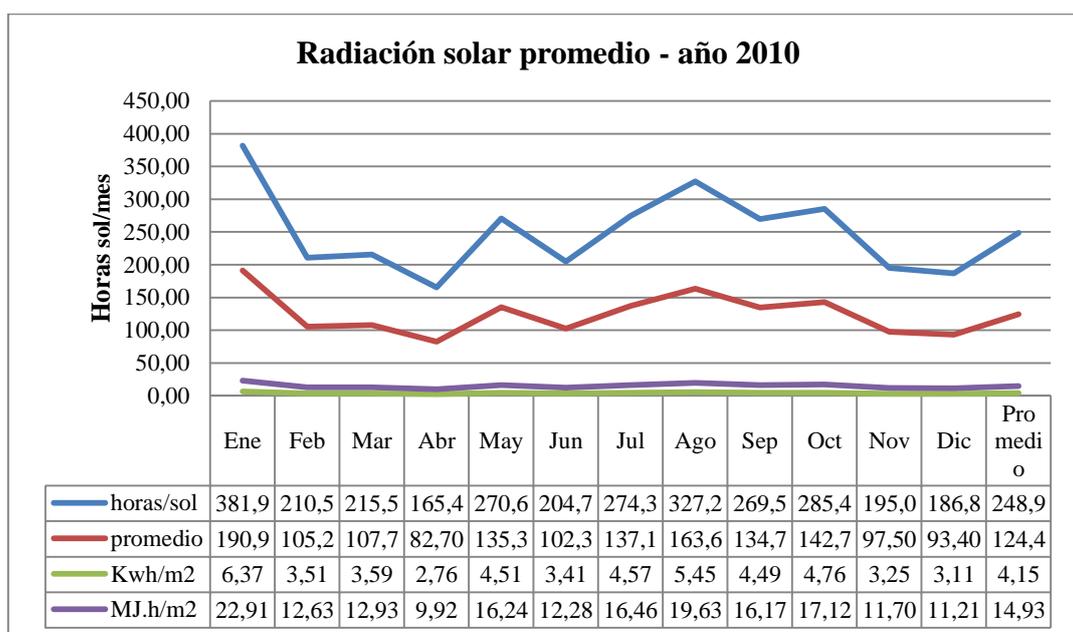
### 4.1.3. Radiación solar promedio año 2010

Durante este período se analizó la radiación que incide en el área de la cuenca, con promedios registrados por las estaciones de Otavalo e Inguincho. Según esta investigación se puede concluir que la irradiación durante el año 2010, es considera similar, como se señala en la tabla 14.

**Tabla N° 14** Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 2010

<b>Año 2010</b>	<b>horas/sol</b>	<b>promedio</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJ./m2</b>
<b>Ene</b>	381,90	190,95	6,37	22,91
<b>Feb</b>	210,50	105,25	3,51	12,63
<b>Mar</b>	215,50	107,75	3,59	12,93
<b>Abr</b>	165,40	82,70	2,76	9,92
<b>May</b>	270,60	135,30	4,51	16,24
<b>Jun</b>	204,70	102,35	3,41	12,28
<b>Jul</b>	274,30	137,15	4,57	16,46
<b>Ago</b>	327,20	163,60	5,45	19,63
<b>Sep</b>	269,50	134,75	4,49	16,17
<b>Oct</b>	285,40	142,70	4,76	17,12
<b>Nov</b>	195,00	97,50	3,25	11,70
<b>Dic</b>	186,80	93,40	3,11	11,21
<b>Promedio</b>	248,90	124,45	4,15	14,93

Fuente: INAMHI



**Figura N° 19** Energía solar promedio estaciones Inguincho y Otavalo 2010

Fuente: INAMHI

La energía radiante del sol que se refleja en la cuenca del río Ambi durante el año 2010, presenta una potencia promedio de 4,5 Kwh/m<sup>2</sup>. Durante este período se muestra uniformidad de heliofanía solar de enero a diciembre, como se señala en la figura 19.

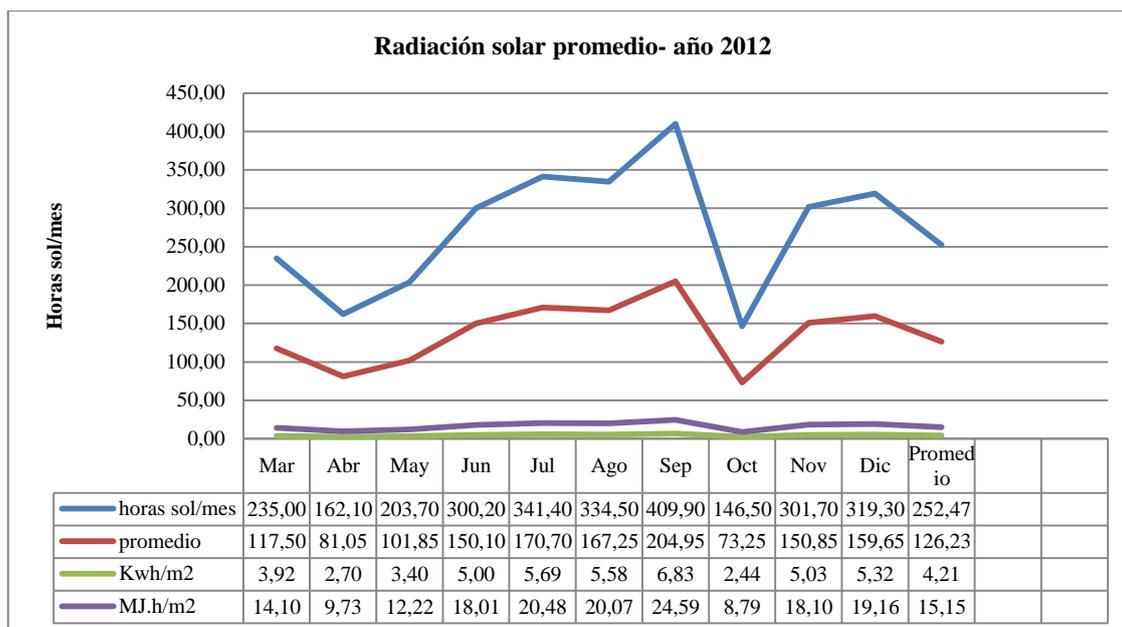
#### 4.1.4. Radiación solar promedio año 2012

En el análisis de irradiancia correspondiente al año 2012, es importante considerar que a diferencia de los anteriores, el presente año destaca puntos extremos de potencia solar, con un registro promedio en el mes de febrero de 7,42 MJ/m<sup>2</sup>, siendo el más bajo de todo el período analizado. Al mismo tiempo, se presenta un máximo de energía disponible del sol en el mes de septiembre que alcanza un valor de 24,59 MJ/m<sup>2</sup>, como se indica en la tabla 15.

**Tabla N° 15** Registro de radiación solar promedio, con datos de la estación Inguincho y Otavalo, año 2012

<b>Año 2012</b>	<b>horas sol/mes</b>	<b>promedio</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJ/m2</b>
<b>Ene</b>	151,70	75,85	2,53	9,10
<b>Feb</b>	123,60	61,80	2,06	7,42
<b>Mar</b>	235,00	117,50	3,92	14,10
<b>Abr</b>	162,10	81,05	2,70	9,73
<b>May</b>	203,70	101,85	3,40	12,22
<b>Jun</b>	300,20	150,10	5,00	18,01
<b>Jul</b>	341,40	170,70	5,69	20,48
<b>Ago</b>	334,50	167,25	5,58	20,07
<b>Sep</b>	409,90	204,95	6,83	24,59
<b>Oct</b>	146,50	73,25	2,44	8,79
<b>Nov</b>	301,70	150,85	5,03	18,10
<b>Dic</b>	319,30	159,65	5,32	19,16
<b>Promedio</b>	252,47	126,23	4,21	15,15

Figura 19. Fuente INAMHI



**Figura N° 20** Energía solar promedio- año 2012

Fuente INAMHI

La energía promedio del sol durante el año 2012, presenta uno de los valores más bajos de todo el análisis realizado, con 2,44 kilovatios hora por metro cuadrado (KWh/m<sup>2</sup>).

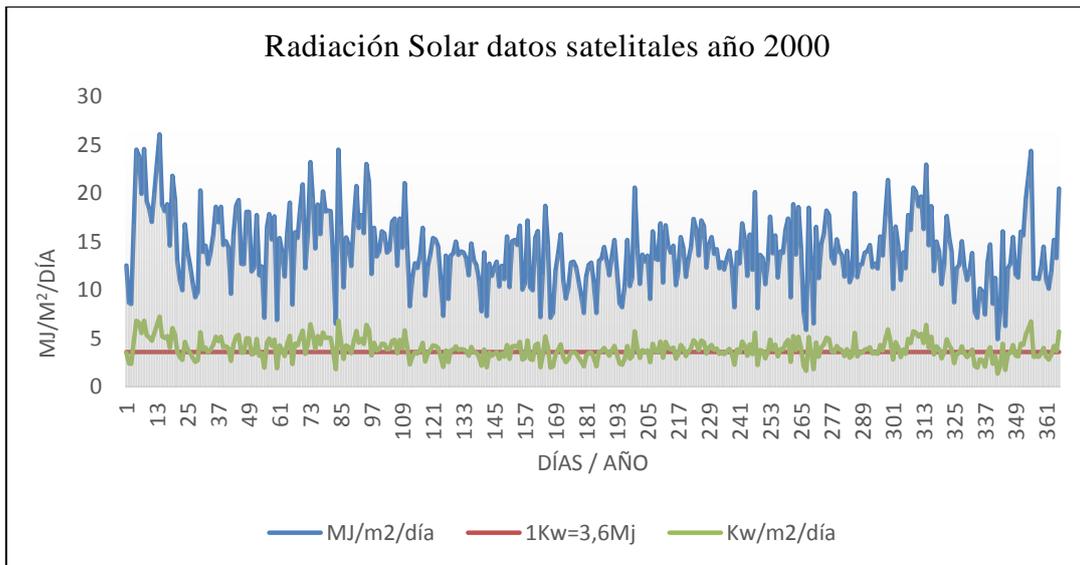
Es importante destacar que en este mismo año se registra el valor más alto, con 6,83 kilovatios hora por metro cuadrado, como se indica en la figura 20.

#### 4.2. Análisis de radiación solar con datos satelitales

La información de radiación solar con datos satelitales se descargó con uso del programa NASA / POWER Agroclimatolog.

Esta información viene entregada en datos promedio diarios (mes / día / año), en este caso puntual se tomó la fecha: 01/01/2006 hasta 31/12/2000 y con localización: Latitud 0.483; Longitud -78.117.

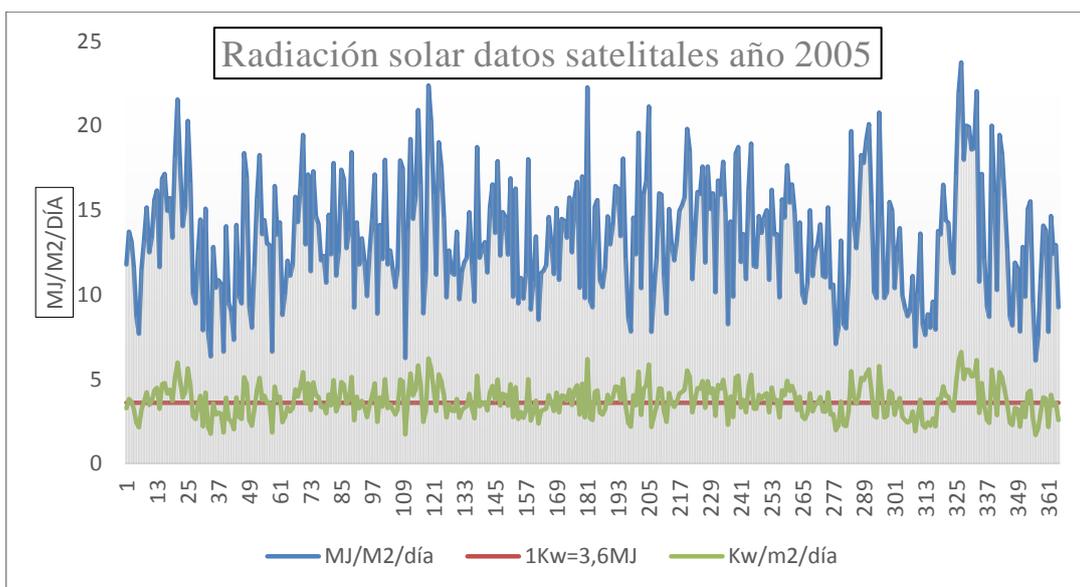
La incidencia de radiación solar en una superficie horizontal viene dada en (MJ / m<sup>2</sup> / día), figura 21



**Figura N° 21** Energía solar diaria con datos satelitales- año 2000

Fuente: NASA / POWER Agroclimatolog

La información de radiación solar con datos satelitales se descargó con uso del programa NASA / POWER Agroclimatolog. Esta información viene compilada en datos promedio diarios (mes / día / año), en este caso puntual se tomó la fecha: 01/01/2006 hasta 31/12/2005 y con localización: Latitud 0.483; Longitud -78.117. La incidencia de radiación solar en una superficie horizontal viene dada en (MJ / m ^ 2 / día), figura 22.



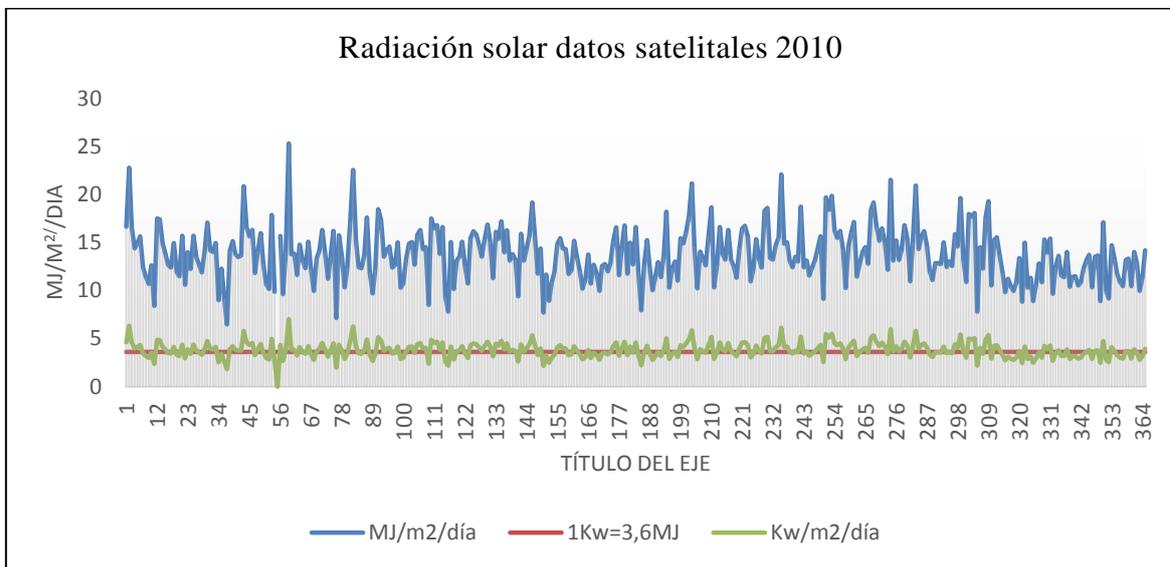
**Figura N° 22** Energía solar diaria con datos satelitales- año 2005

Tomado de: NASA / POWER Agroclimatolog

La información de radiación solar con datos satelitales se descargó con uso del programa NASA / POWER Agroclimatolog.

Esta información viene dada en datos promedio diarios (mes / día / año), en este caso puntual se tomó la fecha: 01/01/2006 hasta 31/12/2010 y con localización: Latitud 0.483; Longitud -78.117.

La incidencia de radiación solar en una superficie horizontal viene dada en (MJ / m ^ 2 / día), figura 23.



**Figura N° 23** Energía solar diaria con datos satelitales- año 2010

#### **4.3. Resultados del análisis de radiación solar en la cuenca del Río Ambi**

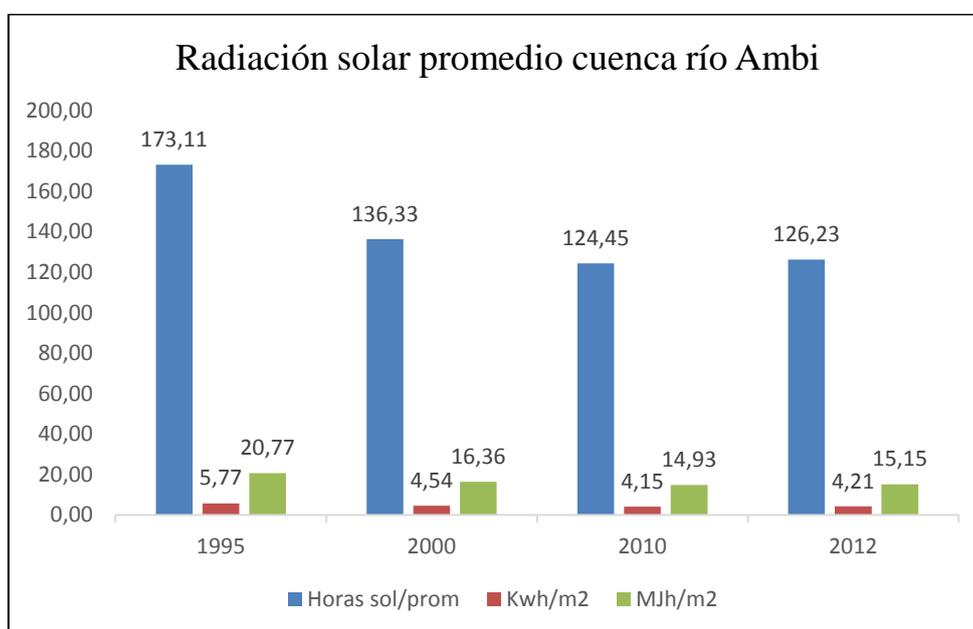
Los resultados que se registra en la cuenca del río Ambi, presentan valores semejantes entre los años 1995 – 2013, un indicativo muy importante para ser tomado en cuenta en el diseño e implementación de proyectos de energía solar fotovoltaica en las zonas altitudinales comprendidas entre los 1500 a 2800 msnm es 4,21 Kwh/m2 como se puede apreciar en el Atlas Solar de la figura 25.

Registro de radiación solar promedio en la Cuenca del Río Ambi.

**Tabla N° 16** Registro de radiación solar promedio en la Cuenca del Río Ambi.

<b>Año</b>	<b>Horas sol/promedio</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJh/m2</b>
<b>1995</b>	173,11	5,77	20,77
<b>2000</b>	136,33	4,54	16,36
<b>2010</b>	124,45	4,15	14,93
<b>2012</b>	126,23	4,21	15,15

Los resultados de la radiación solar analizados en los 17 años, presentan valores similares en los años comprendidos entre 2000 y 2013, mientras que el año 1995 indica una radiación mayor dentro del período analizado, como se puede apreciar en la tabla 16.



**Figura N° 24** Análisis General de Radiación Solar promedio en la Cuenca del Río Ambi

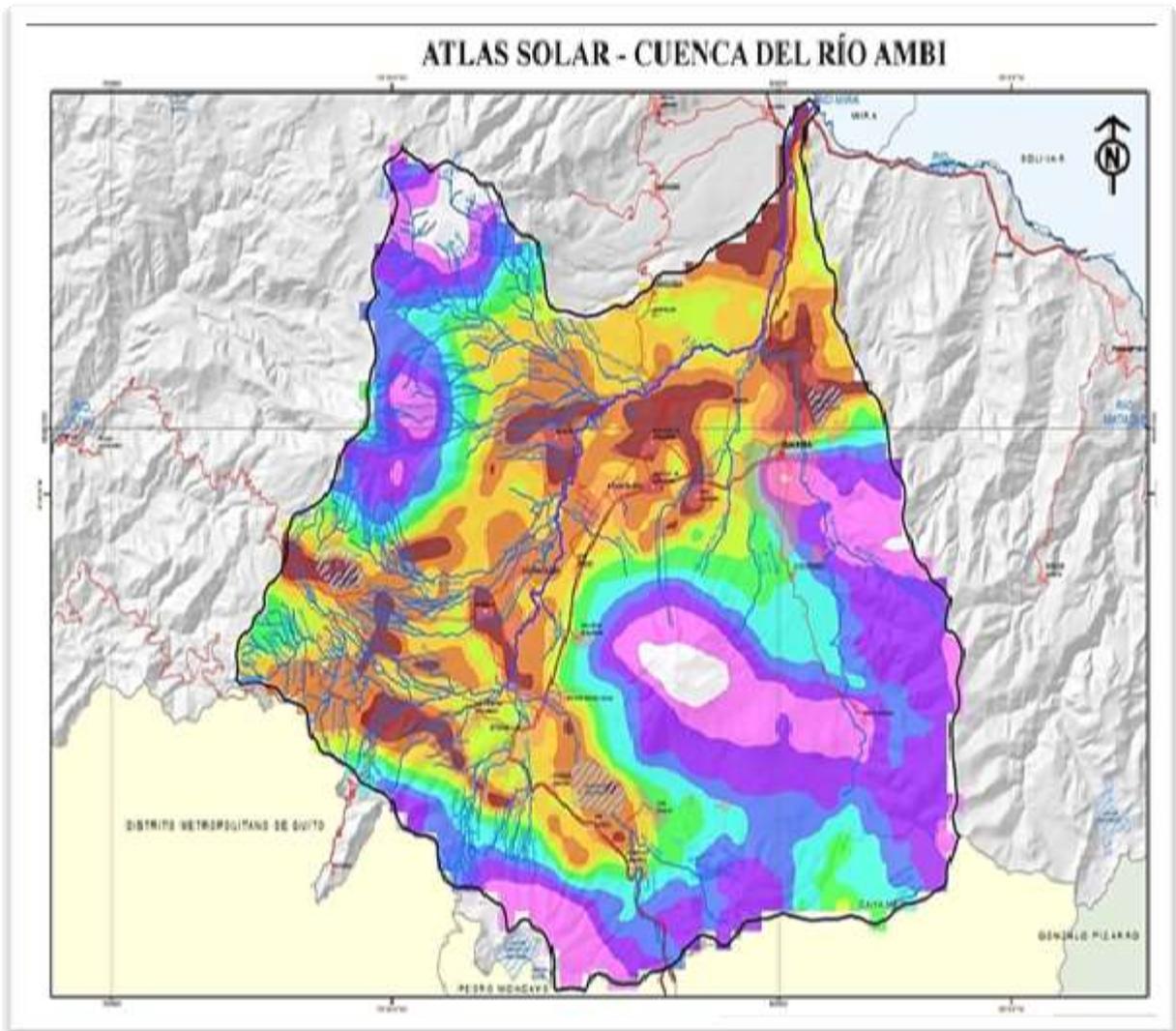
Los resultados de la investigación de la radiación solar en la cuenca del Río Ambi, demuestran que el año de mayor irradiación solar corresponde a 1995 con 173,11 horas solar promedio, mientras que el año 2010 fue el de menor insolación con 124,45 horas, con una potencia mínima de 4,15 Kwh/m<sup>2</sup>.

Dato importante para los diseños de parque solares de alta cobertura energética, considerando la vida útil de paneles solares fotovoltaicos, como se indica en la figura 24.

#### **4.4. Atlas de radiación solar en la cuenca del Río Ambi**

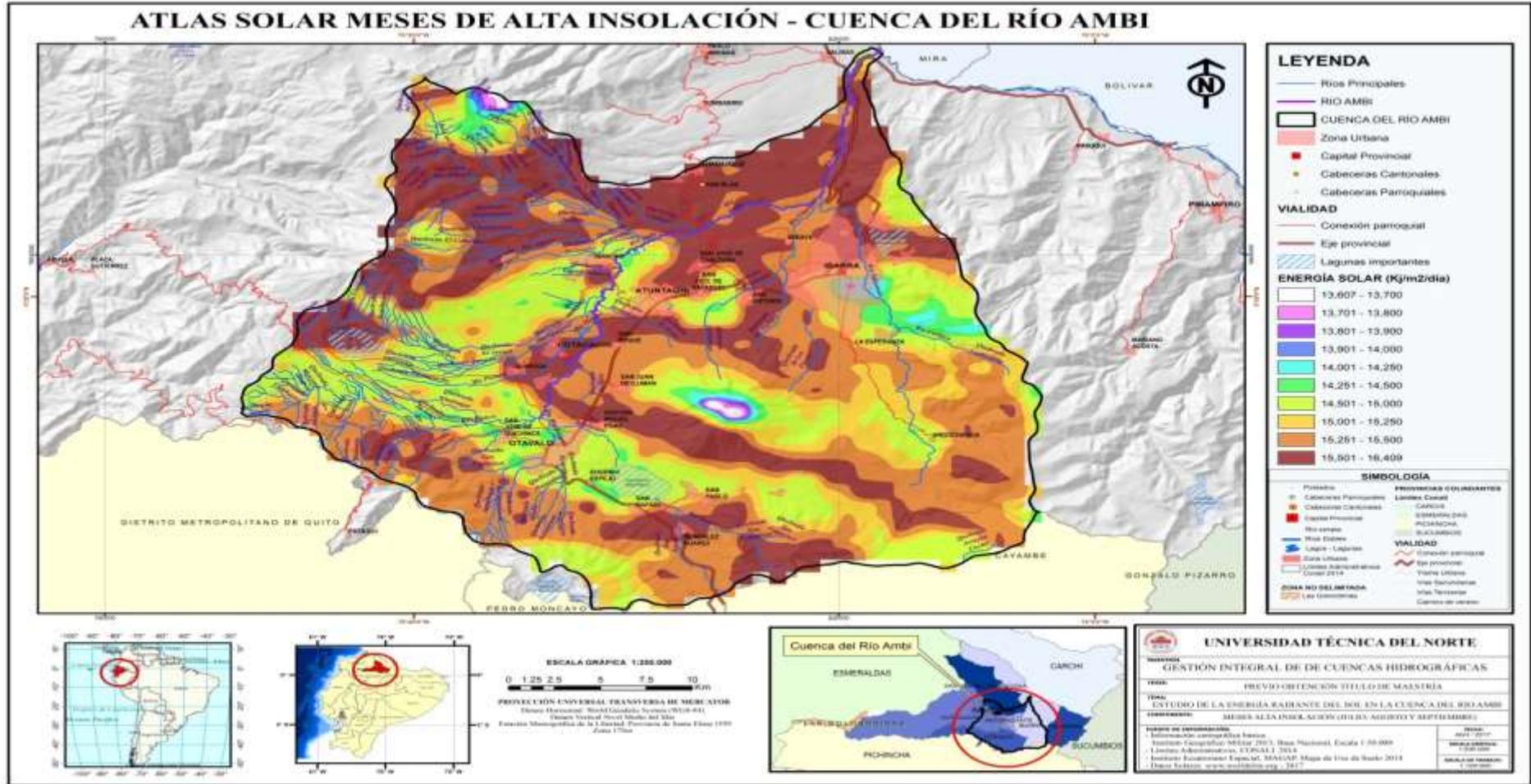
El atlas solar es una herramienta importante para identificar las áreas que pueden ser planteadas para la instalación de parques solares. De esta manera se puede recomendar eficazmente a los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), que se encuentran al interior de la cuenca hidrográfica del Río Ambi, el potencial de heliofanía que está disponible para generar proyectos de energías no contaminantes, como es la solar.

El atlas solar es un instrumento que especifica espacios concretos con una heliofanía promedio de energía en  $\text{KJ/m}^2/\text{día}$ . De igual forma estos datos son útiles para diseñar parcelas solares estimando la cantidad de energía generada por el sol por cada metro cuadrado.



**Figura N° 25** Atlas radiación solar media - cuenca del Río Ambi

Las diferentes capas de radiación solar generadas por el programa ArcGis en diferentes colores, facilita claramente la identificación del lugar donde se sitúa el área con mayor insidencia solar. Siguiendo las escalas indicadas en el atlas , se puede obtener el área disponible ( $M^2$ ) de mayor radiación, como se indica en la figura 24.



**Figura N° 26** Atlas solar de máxima insolación- cuenca del Río Ambi

Interpretando el atlas solar de máxima irradiancia de la cuenca del Río Ambi, podemos concluir que este fenómeno de heliofanía se presenta reiteradamente en los meses de julio agosto y septiembre, asemejandose con la temporada seca en Ecuador y con una potencia de 16,409 KJ/m<sup>2</sup>/día, como se indica en la figura 25.



#### 4.5. Atlas de energía solar fotovoltaica en la cuenca del Río Ambi

El atlas de energía solar fotovoltaica permite ubicar los sectores con mayor energía fotovoltaica generada por el sol. De igual manera señala la Potencia Pico solar máxima que genera un panel o conjunto de paneles en las horas de mayor insolación: 1000 w/m2 (energía incidente). Las unidades que marcan el potencial de energía están en kilovatios hora sobre kilovatios pico (Kwh/Kwp), como se indica en la figura 28.

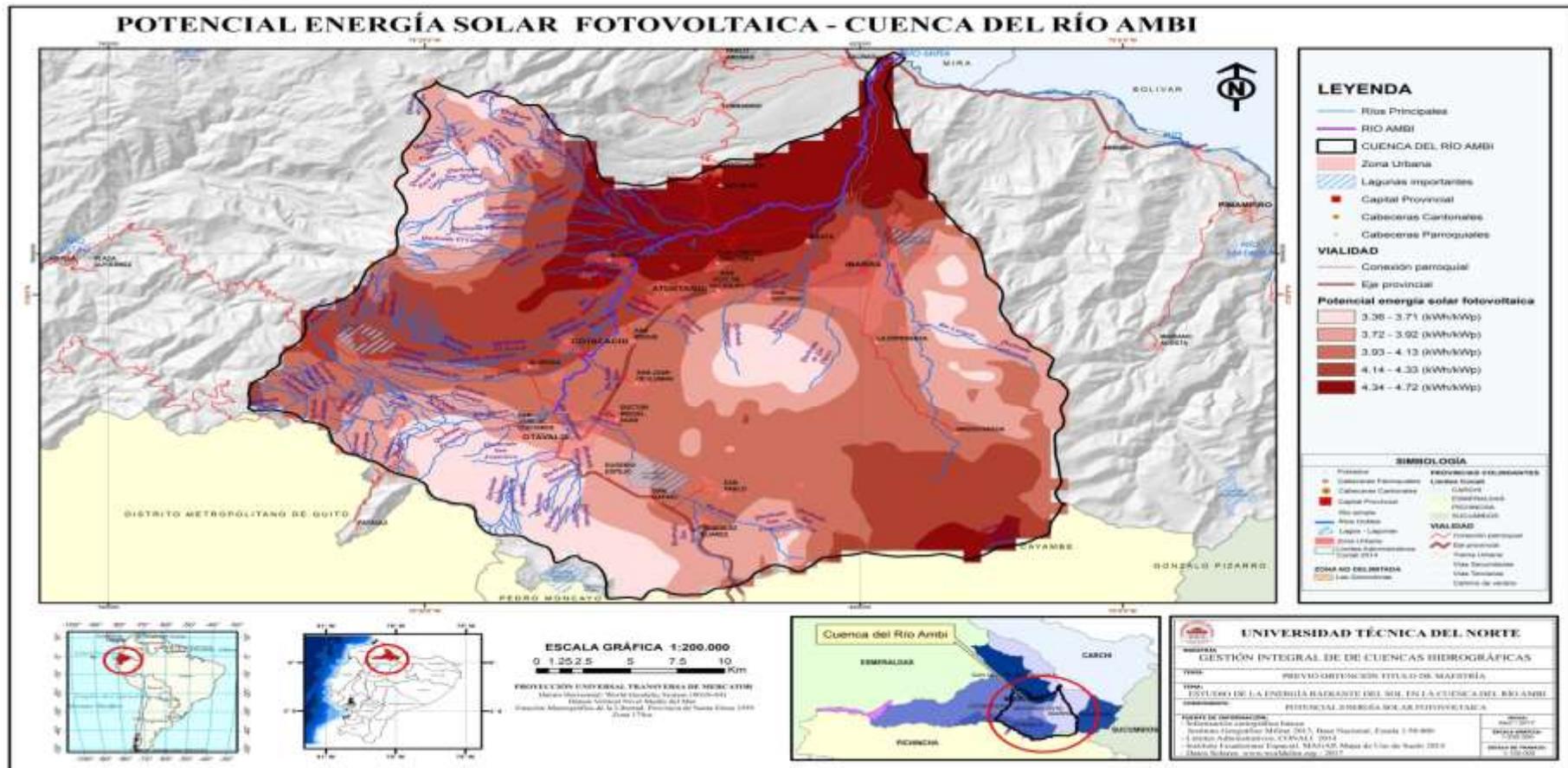


Figura N° 28 Atlas Energía Solar Fotovoltaica - Cuenca del Río Ambi

#### 4.6. Análisis de equivalencias de la energía solar en la cuenca del Río Ambi.

Con el propósito de facilitar la interpretación de la energía radiante del sol presentado en el atlas solar de la cuenca del Río Ambi registrada en (KJ/m<sup>2</sup>/día) se convirtió a (Kw/m<sup>2</sup>/día). Considerando que la transformación de unidades facilita el diseño de proyectos solares fotovoltaicos (Tabla 17).

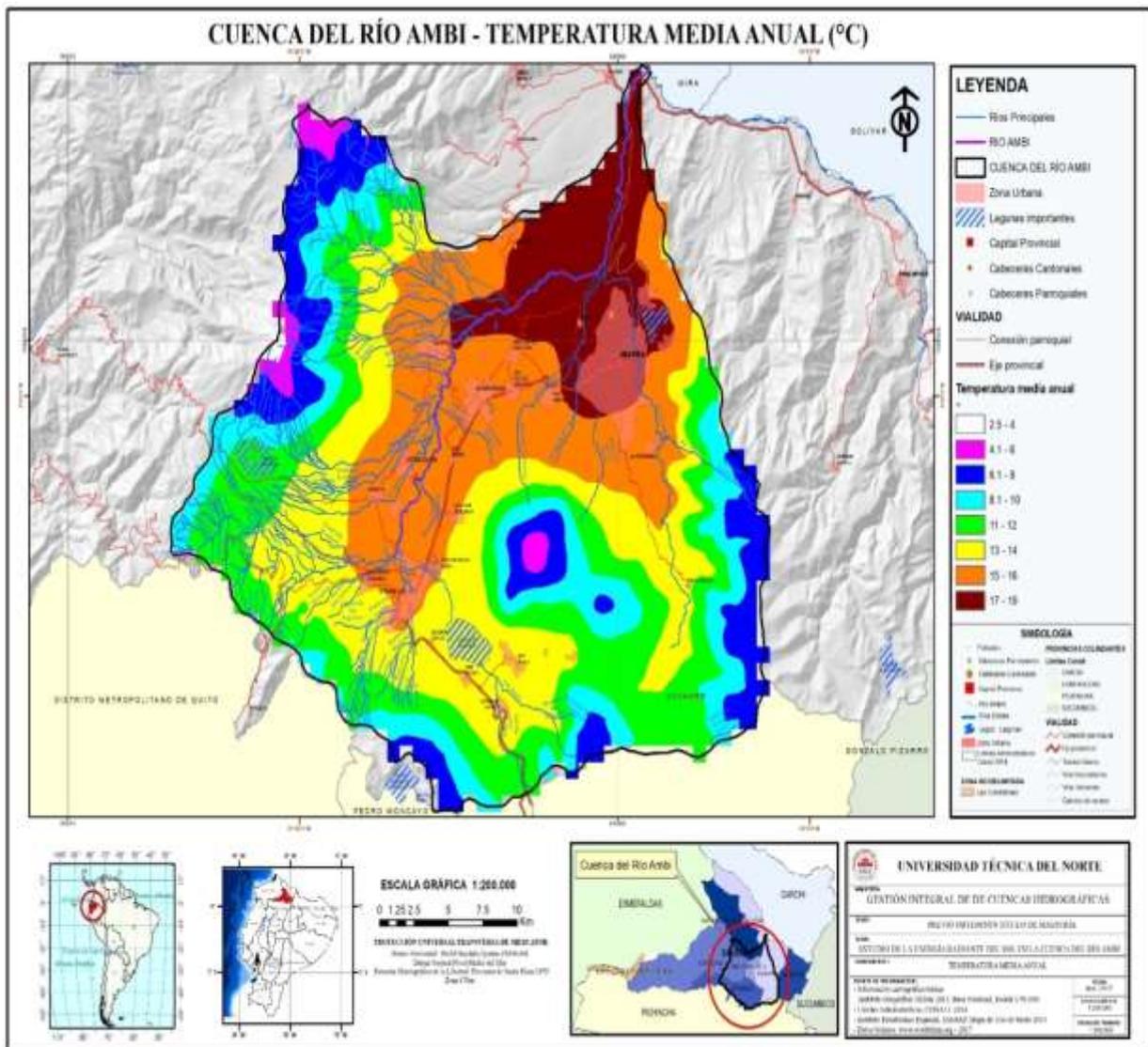
**Tabla N° 17** Interpretación de la radiación solar en potencia, presentado en el Atlas Solar

ENERGÍA SOLAR	ENERGIA SOLAR (KJ/m2/día)		1 KW=0,28KJ	ENERGIA SOL (KW/m2/día)	
	Valor menor	Valor mayor		Constante	Valor menor
	12,854	13,434	0,28	3,60	3,76
	13,435	13,768	0,28	3,76	3,86
	13,769	13,988	0,28	3,86	3,92
	13,989	14,196	0,28	3,92	3,97
	14,197	14,445	0,28	3,98	4,04
	14,446	14,729	0,28	4,04	4,12
	14,73	14,984	0,28	4,12	4,20
	14,985	15,168	0,28	4,20	4,25
	15,169	15,327	0,28	4,25	4,29
	15,328	15,668	0,28	4,29	4,39

**4.7. Mapas de apoyo en el estudio de variables atmosféricas en la cuenca del Río Ambi.**

**4.7.1. Mapa de temperatura media anual de la cuenca del Río Ambi**

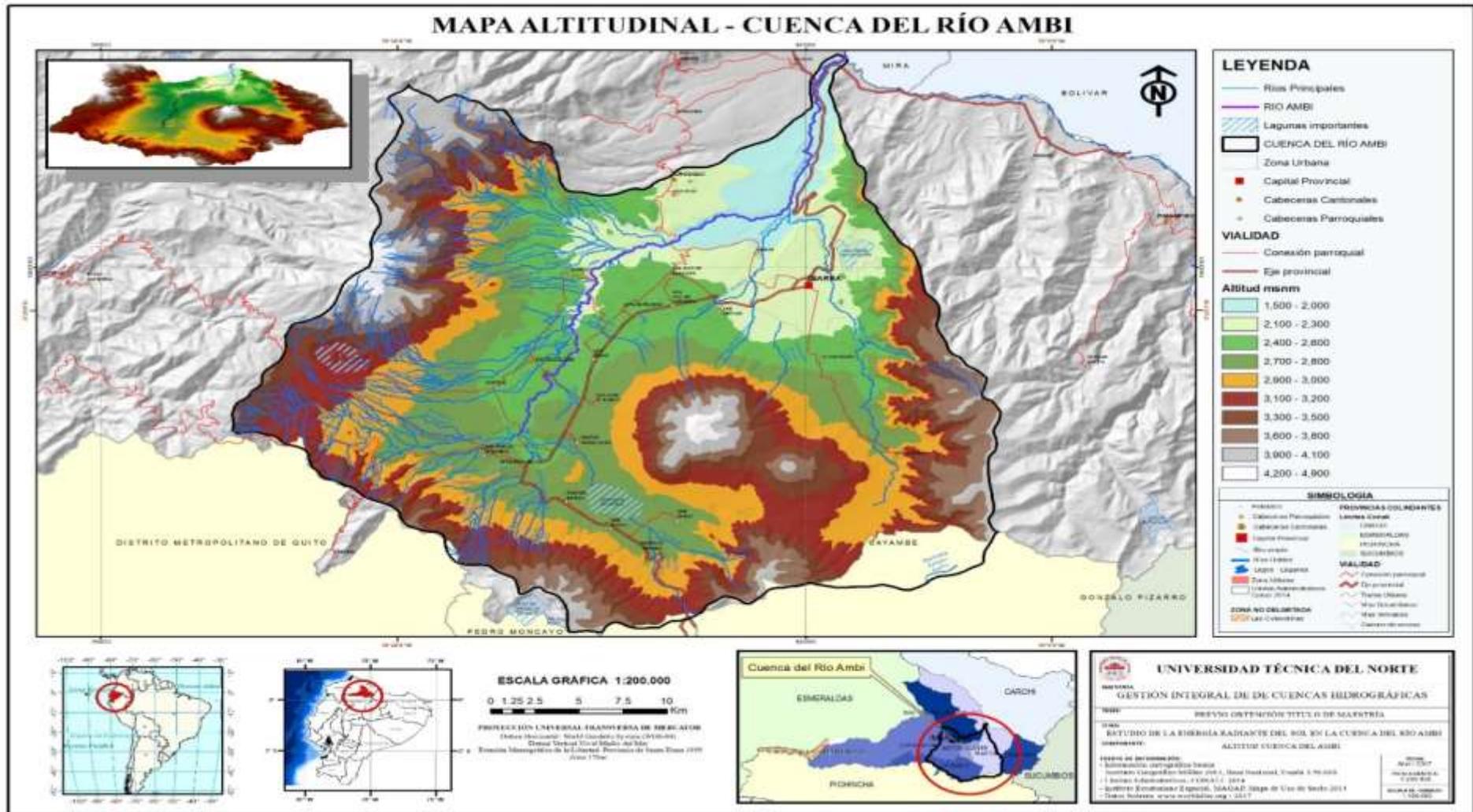
La información clasificada, permitió categorizar la energía radiante del sol para la generación de un mapa de temperatura media anual. La elaboración del mapa de temperatura de la cuenca del río Ambi partió de la generación de la metodología Map Algebra generados en ArcGIS 10.2, que consiste en la superposición de capas raster o shapefile a escala 1:100.000; con información base: hídrica, poblados, lacustre, vialidad, etc.



El mapa de temperaturas de la cuenca del Río Ambi, tiene una relación directa con la intensidad de la radiación solar, las partes más bajas de la cuenca en color marrón, corresponden a las mayores temperaturas promedio (18°C), y según el análisis del atlas solar esta zona presenta la mayor irradiancia solar, como se puede ver en la figura 28.

#### **4.7.2. Mapa Altitudinal de la Cuenca del Río Ambi**

En el presente estudio fue necesario generar el mapa altitudinal, el mismo que permitió contrastar los valores de radiación solar con la altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm). Haciendo un análisis de la presente proyección nos indica que el valor de menor altitud corresponde a la mayor radiación solar, de forma inversamente proporcional. De este modo el color celeste que corresponde a una altitud de 1500 a 2000 msnm corresponde a la mayor radiación solar registrada en la cuenca del Río Ambi con un valor de 4,29 Kw/m<sup>2</sup>/día (tabla 18) y como se puede apreciar en la figura 30 del mapa altitudinal.

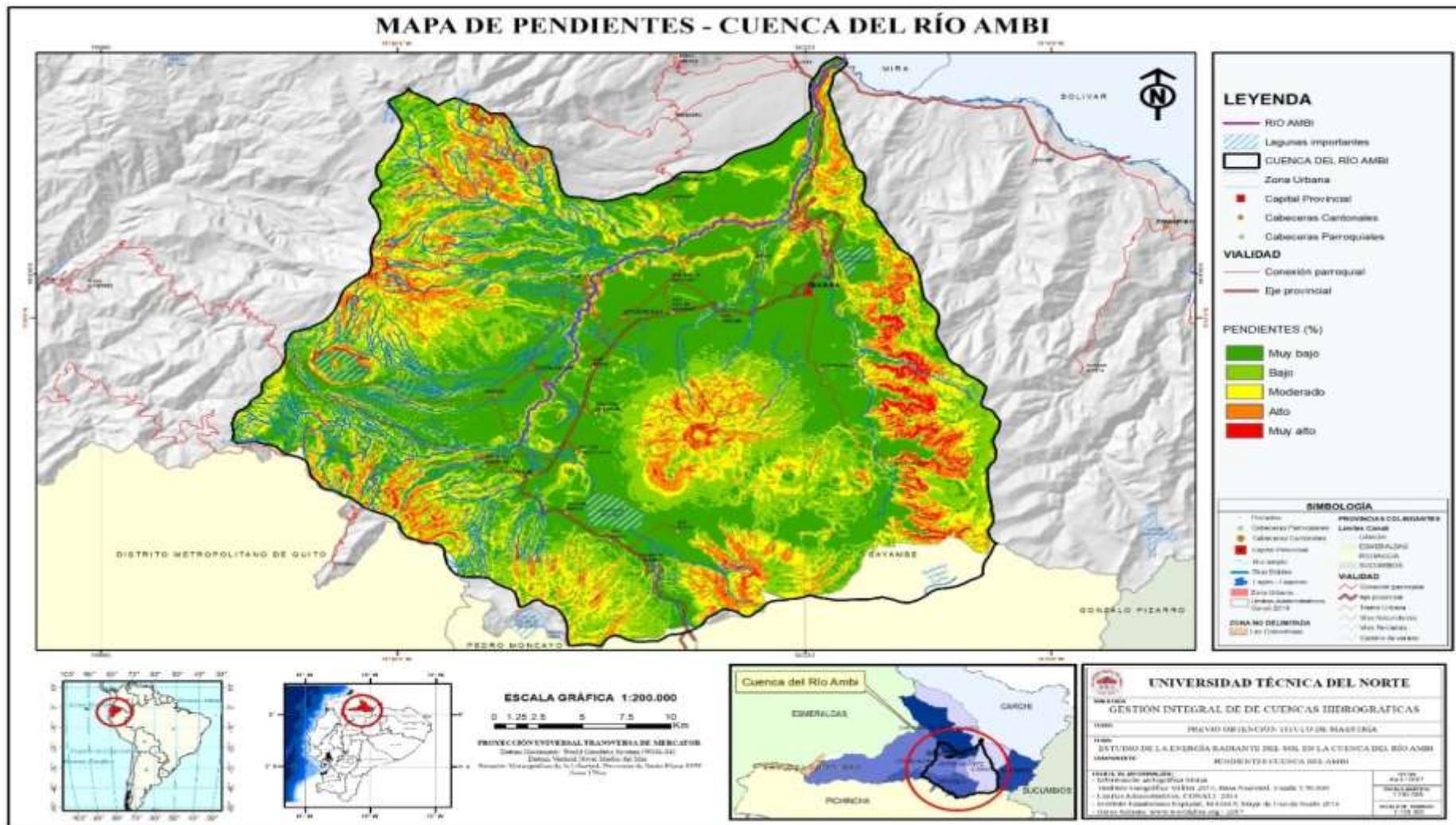


**Figura N° 30** Mapa Altitudinal – Cuenca del Río Ambi

Considerando el mapa altitudinal, es importante subrayar que la radiación solar es inversamente proporcional a la altura sobre el nivel del mar (a menor altura mayor radiación), como indica la figura 29.

### **4.7.3. Mapa de Pendientes de la Cuenca del Río Ambi**

En el presente trabajo fue necesario apoyar la investigación con la generación de un mapa de pendientes de la zona de estudio. Considerando que la cuenca del Río Ambi, se encuentra en el callejón interandino de la zona norte del Ecuador, cercana a uno de los valles de gran intensidad de radiación solar, como es el Valle del Chota. Con el apoyo del mapa de pendientes se facilitó determinar las zonas de menor gradiente y relacionar con la intensidad de heliofanía. Es así como se comprobó que los lugares con menor pendiente reciben una mayor cantidad de energía solar, como se puede apreciar en la figura 30.



**Figura N° 31** Mapa de Pendientes – Cuenca del Río Ambi

Analizando el mapa de pendientes se observa que la cuenca del Río Ambi, presenta valles de muy baja y baja pendiente, en una extensión igual al 60 % de la superficie total, como se puede ver en la figura 30.

#### **4.7.4. Mapa de Orientación de la Cuenca del Río Ambi**

El mapa de orientación, fue un aporte significativo en el estudio de la irradiación solar en la cuenca del Río Ambi. Teniendo en cuenta que el recorrido del sol tiene pequeñas variaciones a lo largo de un año. Este efecto obliga a optimizar la orientación de paneles para aprovechar mejor la radiación solar. En el estudio de proyectos con aplicación de energía solar fotovoltaica, tiene mucho que ver la orientación del sol, considerando que la mayor radiación está relacionada directamente con el rendimiento.

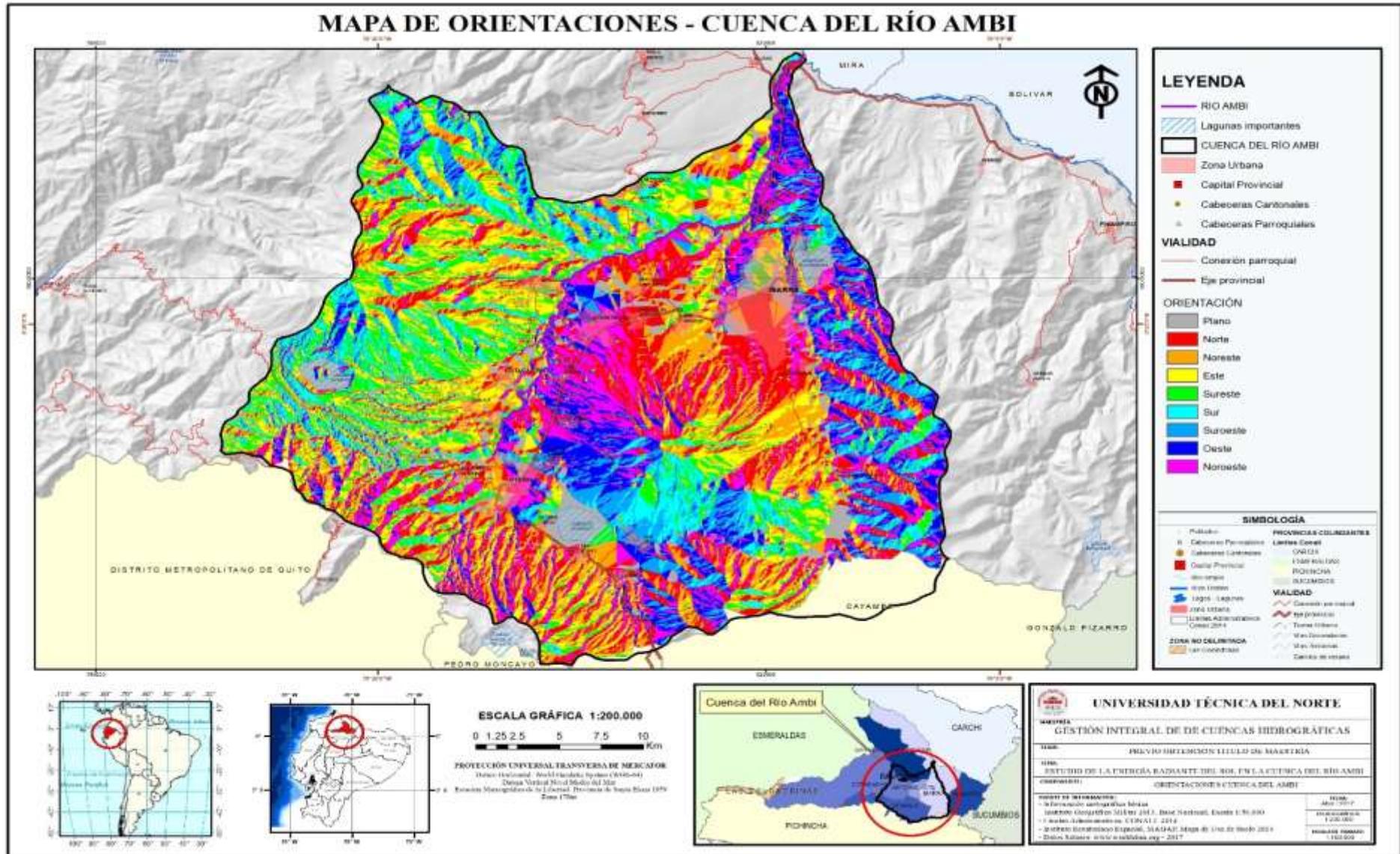


Figura N° 32 Mapa de Orientación. - Cuenca del Río Ambi

#### **4.8. Proyectos estratégicos con energía solar en la cuenca del Río Ambi**

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs) mediante el análisis del atlas solar pueden tomar importantes decisiones sobre la ocupación de zonas que a futuro pueden ser destinados a la implantación de proyectos de generación eléctrica comercial con las siguientes características:

Sistemas fotovoltaicos conectados a la red de distribución general, que permitirá vender la energía a empresas estatales de distribución. Este tipo de proyectos generan rentabilidad, lo que permite ser atractivos para inversionistas internacionales.

Proyectos fotovoltaicos de generación eléctrica aislados, consiguen dotar de energía en zona rurales que no disponen de red eléctrica convencional. Este sistema permite cubrir las necesidades las 24 horas con almacenamiento de la energía en acumuladores.

El sector agrícola puede disponer de electricidad solar fotovoltaica para extracción de agua subterránea, sistemas de riego por goteo. En el sistema pecuario se puede aplicar a sistemas de ordeño eléctrico y sistemas de iluminación.

En el sector de hotelería y turismo es factible aprovechar energía solar térmica, para climatizar complejos acuáticos y disponer de agua caliente sanitaria en instalaciones de atención turística.

## CAPITULO V

### 5. PROPUESTA

Diseño de un prototipo de Árbol Solar abastecido con energía fotovoltaica

#### 5.1. Presentación de la propuesta

La implementación del proyecto denominado “Árbol Solar abastecido con energía fotovoltaica”, se presenta como una propuesta atractiva e innovadora que utiliza energía solar para generar electricidad de 110 voltios y puede ser instalado en parques públicos de las ciudades de: Ibarra, Otavalo, Atuntaqui y Cotacachi, que se localizan al interior del cuenca.

#### 5.2. Justificación de la propuesta

El análisis de la radiación solar en la cuenca del Río Ambi, determinó que el año 2010 fue el de menor insolación con 124,45 horas/mes, con una potencia mínima de 4,15 Kwh/m<sup>2</sup>, dato importante que permite justificar el diseño de proyectos solares con una vida útil de alrededor de 25 años, de conformidad con las especificaciones técnicas de los fabricantes de paneles fotovoltaicos.

#### 5.3. Objetivos de la propuesta

Diseñar un prototipo de árbol solar que puede ser instalado en parques públicos de los poblados que se encuentran en la cuenca del Río Ambi.

#### 5.4. Objetivos específicos de la propuesta

- Características de la estructura en forma de árbol
- Diseño del sistema fotovoltaico

## **5.5. Beneficiarios e impacto de la propuesta**

La presente propuesta tendrá un impacto directo por tratarse del uso de energía renovable que no se transporta y con cero emisiones de CO<sub>2</sub>. Será un proyecto de impacto e innovador, que puede ser instalado en las jurisdicciones de los GADs municipales de Ibarra, Otavalo, Cotacachi, Antonio Ante. Tendrá impacto en los estudiantes de colegios y Universidades; estimulara el interés del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER).

## **5.6. Descripción de la propuesta**

Con los resultados del análisis de radiación solar, la distribución espacial y la potencia disponible de energía solar que se indica como resultado de la tesis “Elaboración del atlas solar de la cuenca del Río Ambi con fines energéticos, mediante la evaluación de variables atmosféricas con aplicación de sistemas de información geográfica”, se determinó la cantidad energía solar fotovoltaica disponible en la cuenca, que puede ser incorporada a proyectos para generación eléctrica para uso público.

### **5.6.1. Descripción de las características de la estructura en forma de árbol**

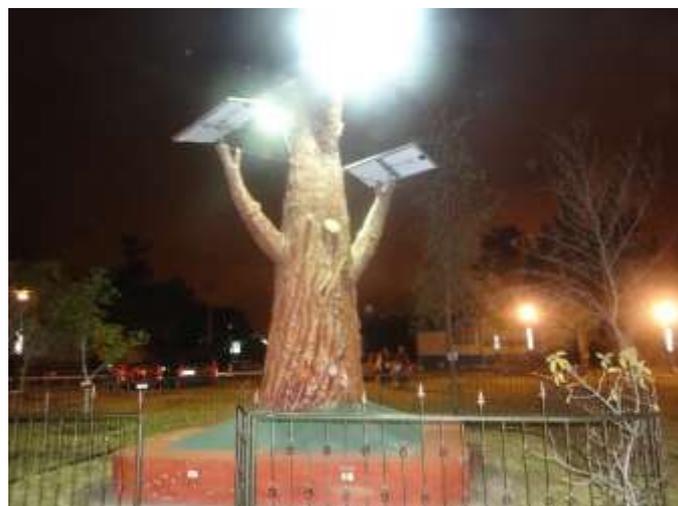
El Árbol Solar abastecido con energía fotovoltaica consta de cuatro paneles solares apoyados en una base que contiene una rótula, que les permite girar en varias posiciones. La estructura del árbol descansará sobre una base circular de hormigón que funciona como una banca. La energía eléctrica generada, abastecerá a toma corrientes ubicados en la base circular del árbol y darán servicio para recargar teléfonos celulares y computadoras portátiles. En la parte superior de la estructura se instalaran lámparas tipo LED, que suministrarán iluminación nocturna al área de entorno de la instalación.



**Figura N° 33** Base del árbol solar con tomacorrientes de 110 voltios, para recarga de equipos portátiles y teléfonos celulares.



**Figura N° 34** Árbol solar con 4 paneles fotovoltaicos, sujetos a una rótula que permite giros de orientación.



**Figura N° 35** Energía eléctrica fotovoltaica, almacenada en acumuladores para uso de iluminación nocturna.

## 5.7. Descripción del diseño del sistema fotovoltaico del árbol solar

### 5.7.1. Coordenadas de ubicación del proyecto

- Zona: Campus Universidad Técnica del Norte
- Coordenadas del proyecto: 0° 21' 29,39'' N 78° 06' 43,62''
- Altitud sobre el nivel del mar: 2200 msnm.

### 5.7.2. Dimensionado de la Instalación Solar Fotovoltaica Aislada.

Estimamos los consumos eléctricos diarios de los equipos eléctricos que operan en la instalación del Árbol Solar.

**Tabla N° 18** Estimación de consumo de energía eléctrica, instalación aislada

ELEMENTO	UNIDAD	POTENCIA (W)	HORAS (h)	ENERGÍA (W*h)
Luz iluminación propia	2	11	12	264
Recarga teléfonos celulares	3	4,5	10	135
Recarga ordenador portátil	4	25	10	1000
<b>CONSUMO TEÓRICO (w*h)</b>				1.399

Estableciendo el consumo energético teórico ( $E_T$ ), podemos calcular el consumo energético real (E), teniendo en cuenta los factores de pérdidas de carga.

$$\text{Ecuación para el cálculo de energía real: } E = E_T / R \quad (1)$$

Donde R es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como:

$$R = (1 - K_b - K_c - K_v) * (1 - \frac{K_a * N}{Pd}) \quad (2)$$

Donde  $K_b$ ,  $K_c$ ,  $K_v$  son factores de pérdida de carga;  $K_a$  coeficiente de auto descarga diario;  $N$  número de días de autonomía de la instalación y  $P_d$  profundidad de descarga de las baterías. La profundidad de descarga no excederá del 80% (tomando como referencia la capacidad nominal del acumulador), ya que la eficiencia de esta decrece en gran medida con ciclos de carga-descarga muy profundos.

Aplicando la ecuación de rendimiento global ( $R$ ) de la instalación fotovoltaica, tenemos lo siguiente:

$$R = (1 - 0,1 - 0,05 - 0,1) * \left(1 - \frac{0,005 * 8}{0,80}\right) = 0,71$$

A partir de la ecuación del consumo energético real  $E(W*h)$ , tenemos lo siguiente:

$$E = E_T / R \rightarrow E = \frac{1399}{0,71} = 1970,42 \text{ W*h}$$

### 5.7.3. Cálculo del banco de baterías

Una vez definida la energía real  $E (W*h)$ , se puede obtener fácilmente la capacidad del banco de baterías  $C (A*h)$  necesario, aplicando la siguiente ecuación:

$$C = \frac{E * N}{V * P_d} \quad (3)$$

$C$ : capacidad del banco de baterías

$E$ : consumo energético real

$N$  = días de autonomía

$V$  = es la tensión nominal del acumulador , 12 V

$P_d$  = profundidad de descarga de la batería

$$C = \frac{1970,42 * 8}{12 * 0,8} = 1642,02 \text{ A.h}$$

A partir de la capacidad del banco de baterías calculado, podemos seleccionar el equipo comercial mas próximo al calculado, dentro de la categoría de baterías plomo – ácido. En este caso el banco de baterías seleccionado el Isofotón 2.AT.1000 ( 1000 A.h – C100, 1,85 V / 12V).

#### 5.7.4. Cálculo de número de paneles solares

A partir de valores estadísticos históricos de la zona de estudio, el valor de irradiación solar medida diaria de 4,15 kWh/m<sup>2</sup> (HPS) , se determina el número de paneles solares (NP) necesario para instalarse en el árbol solar que se calculan con la siguiente ecuación:

$$NP = \frac{E}{0,9 * W_p * HPS} \quad (4)$$

Donde  $W_p$  es la potencia en (W) del panel y HPS las horas pico solar de la cuenca del Río Ambi.

$$NP_{\text{mayo}} = \frac{1970,42}{0,9 * 150 * 4,15} = 3,52 \text{ ,paneles}$$

Son necesarios 4 paneles de 150 Wp. Para ser instalados en una estructura en forma de árbol.

## CAPITULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

- El análisis de distribución temporal y espacial de irradiancia en la cuenca del Río Ambi, señala que la alta heliofanía se presenta frecuentemente en los meses de julio agosto y septiembre, asemejándose con la temporada seca en Ecuador y con una potencia de 5,77 Kwh/m<sup>2</sup>y un promedio de 173,11 horas/sol/mes. Los meses de baja heliofanía corresponden a los meses de enero febrero y marzo, con valores de 4,15 Kwh/m<sup>2</sup>, con un promedio de 124,45 horas/sol/mes.
- La generación del atlas solar indican la ubicación de zonas de insolación en valles con altitud que van de 1.500 msnm a 2.800 msnm, con una potencia de energía solar fotovoltaica comprendida entre 3,93 (Kwh/Kwp) y 4,72 (Kwh/Kwp) de energía disponible en la cuenca del Río Ambi.
- La potencia generada por la radiación solar en la cuenca de estudio se manifiesta en relación directa con las temperaturas, a mayor temperatura mayor potencia solar y viceversa. En cuanto a la correlación con la altitud geográfica se presenta inversamente proporcional, a mayor altitud menor potencia solar.
- Este estudio permite a corto plazo aumentar el interés social sobre el uso de la energía radiante del sol, admite además tener un conocimiento fehaciente del beneficio ambiental, por tratarse de la explotación de la energía radiante del sol con bajo impacto ambiental, por lo que contribuye a disminuir los efectos del cambio climático.
- Finalmente se proyecta crear interés del uso de energías alternativas tanto en empresas privadas como organismos públicos, instituciones de gobiernos autónomos descentralizados, en los cantones Ibarra, Otavalo, Atuntaqui, y Santa Ana de Cotacachi.

## 6.2. Recomendaciones

- El estudio de la radiación solar en la cuenca del Río Ambi, además de evaluar la intensidad, distribución temporal y espacial de la energía radiante del sol, abre otras líneas de investigación relacionadas con el aumento progresivo de la irradiancia; por ejemplo la afectación de los rayos solares a la salud humana. Indagar de como el cambio de las variables atmosféricas han desplazado los períodos invernales, afectando a los agricultores de la cuenca. Analizar que influencia tiene los incrementos de temperatura con el aumento de desastres naturales por crecidas de ríos y por arrastre de materiales. Determinar cómo está afectando la radiación solar a la erosión del suelo, la destrucción de hábitats y extinción de especies.
- Es recomendable además, conocer el rápido crecimiento a nivel mundial del adelanto tecnológico en la fabricación de elementos de captación solar, para generación eléctrica con el sistema fotovoltaico. La investigación del uso de nuevos materiales, están alcanzando cada vez una mayor eficiencia y rentabilidad, considerado además el benéfico ambiental, como política universal.
- Por otra parte se recomienda socializar en organismos públicos para que se mantengan informados de los reglamentos, normativas e innovaciones que habitualmente informa El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), relacionado con uso de energías alternativas.
- Finalmente el presente estudio amerita propiciar seminarios, foros, mesas redondas, dando a conocer las bondades del uso de las energías renovables (solar, eólica, biomasa...) en centros de educación públicos y privados; en universidades, con preferencia en organismos provinciales y municipales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia de Noticias Andes. (4 de Febrero de 2013). *Agencia Pública de Noticias del Ecuador y Auramérica*. (Andes, Ed.) Recuperado el 22 de Junio de 2017, de ANDES: <http://www.andes.info.ec/es/econom%C3%ADa/primer-central-fotovoltai-ca-ecuador-generar%C3%A1-ahorro-25-millones-d%C3%B3lares-diarios.html>
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2015). *Regulación y Control de la Electricidad*. Quito: ARCONEL.
- Almeida Betancourt, L. A. (2014). Una Revisión de la Evaluación de la Calidad del Agua de los Ríos de la Provincia de Imbabura. *Revisión de la Evaluación de la Calidad del Agua*. Loja, Provincia de Loja, Ecuador: Universidad de Loja.
- Araque, M. (Mayo de 2010). *Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector cantón Cotacachi*. (USFQ, Ed.) Recuperado el 5 de Mayo de 2017, de repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/4175/1/112574.pdf: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1005>
- CALCULATIONSOLAR BLOG. (17 de Octubre de 2014). *calculationsolar.com*. Recuperado el 10 de Junio de 2017, de <http://www.http://calculationsolar.com/blog/>
- CENSO . (2010). Resultados del Censo 2010 Provincia de Imabaura. *FACICULO PROVINCIA DE IMBABURA*. Ibarra, Imabura, Ecuador: INEC.
- CHILE, INNOVA. (Mayo de 2007). *ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS*. (U. TALCA-Chile, Ed.) Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de <http://www.citrautalca.cl>: [http://nodocitra.utralca.cl/docs/pdf/Cartilla\\_2\\_NODO\\_EMA.pdf](http://nodocitra.utralca.cl/docs/pdf/Cartilla_2_NODO_EMA.pdf)
- CONELEC. (2008). Consejo Nacional de Electricidad. *Ley del Régimen del Sector Eléctrico*. Quito, Pichincha, Ecuador: CONELEC.
- CONELEC. (13 de Octubre de 2011). *Ley de Régimen del Sector Eléctrico*. Recuperado el 22 de junio de 2017, de <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/01/Leyes-Conexas.pdf>
- Constitución. (2008). *Constitución 2008*. Quito: Registro Oficial.
- COOPERACIÓN TÉCNICA BELGA SEMPLADES. (2010). Sistemas de Investigación Sobre la Problemática Agraria en Ecuador (SIPAE). *Sistemas de Investigación Sobre la Problemática Agraria en Ecuador (SIPAE)*. Quito, Pichincha, Ecuador: SIPAE.
- CREPAD, Área de Teledetección. (1997-2017). *CREPAD*. Recuperado el 13 de Junio de

2017, de <http://crepadweb.cec.inta.es/es/plataformas/modis.html>

Crónica, ONU. (Diciembre de 2015). *CRONICA ONU*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2017, de <https://unchronicle.un.org/es/article/la-repercusi-n-de-las-tecnolog-de-la-energ-renovable-en-la-eficiencia-energ-tica-mundial>

Del Bosque, I., Fernandes, C., & Peres, E. (2012). *SIETEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/64940/1/Los%20SIG%20y%20la%20Investigaci-on%20en%20Ciencias%20Humanas%20y%20Sociales.pdf>

DIVISIÓN POLÍTICA IMBABURA. (2013). <https://olprmogj97.wordpress.com/parroquias/>. Obtenido de Imbabura Provincia de Los Lagos.

El Productor. (23 de Mayo de 2014). *El Productor*. Recuperado el 21 de Junio de 2017, de <https://elproductor.com/2014/12/23/ecuador-30-de-la-energia-en-galapagos-es-renovable/>

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (15 de Mayo de 2017). *Revista Internacinal de Climastología*. (C. I. Revista, Ed.) Recuperado el 13 de Junio de 2017, de Royal Meteorological Society (RMstS): <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.5086/abstract;jsessionid=51285AB81E068E7928AD565B76CF9813.f04t01?userIsAuthenticated=false&deniedAccessCustomisedMessage=>

Flores, F. (Mayo de 2010). *USFQ*. Obtenido de <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/1005/1/96293.pdf>

Franco, Á. (5 de Enero de 2013). *MECANICA CUANTICA*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de Comprobación experimental de la ley de Stefan-Boltzmann: [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica\\_/cuantica/experiencias/experiencia/experiencia.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/cuantica/experiencias/experiencia/experiencia.html)

García, A. F. (2011). *Mecanica Cuantica; Ley de Stefan - Boltzmann*. Pais Basco, Pais Basco, España.

GEOMÁTICA UTN. (15 de SEPTIEMBRE de 2013). *INFRAESTRUCTURA TECNOLÓGICA*. Recuperado el 10 de Mayo de 2016, de <http://www.utn.edu.ec/ficaya/carreras/agronegocios/wp-content/uploads/2013/05/Infraestructura-Tecnologica.pdf>

GPI, Planificación. (15 de junio de 2013). *Gobierno Provincial de Imbabura*. Recuperado el 2017, de <https://olprmogj97.wordpress.com/parroquias/>

Grupo Elektra. (5 de Febrero de 2014). *Horas Pico Solar (HPS) - Scribd*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de ENERGÍAS RENOVABLES: <http://www.grupoelektra.es/blog/wp-content/uploads/2014/10/como-somos-los-delektra-que-son-las-HSP.pdf>

INAMHI. (2000). *INAMHI 2000*. Quito.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2000). *INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INAMHI)*. (INAMHI, Ed.) Recuperado el 13 de Junio de 2017, de Estaciones Meterológicas: [http://nodocitra.utralca.cl/docs/pdf/Cartilla\\_2\\_NODO\\_EMA.pdf](http://nodocitra.utralca.cl/docs/pdf/Cartilla_2_NODO_EMA.pdf)

iTUNES PPREVIEW. (2017Mayo). *Sun Seeker: 3DAugmented Reality Viewer*.

iTUNES PREVIEW. (26 de Mayo de 2017). *Sun Seeker 3DAugmented Reality Viewer*. Recuperado el 12 de Junio de 2017, de <https://itunes.apple.com/us/app/sun-seeker-3d-augmented-reality/id330247123?mt=8>

iTUNES PREVIEW. (26 de Mayo de 2017). *Sun Seeker: 3DAugmented Reality Viewer Version 5.4*. Recuperado el 12 de Junio de 2017, de <https://itunes.apple.com/us/app/sun-seeker-3d-augmented-reality/id330247123?mt=8>

Juana, J. M. (2003). *Energías Renovables*. Madrid: Paraninfo, S.A.

Juarez, J. (2013). *Método Heurístico (I)*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/profjavierjuares/metodo-heuristico-1>.

Kevin Nassiep, D. R. (Maayo de 2016). *REN21*. Obtenido de [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf): [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf)

Latin American Energy Review. (17 de Abril de 2016). *The Latin American Energy Review*. Recuperado el 15 de mayo de 2017, de <http://www.carlostjames.com/renewable-energy>

Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica. (2015). *Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica*. Quito: Registro oficial.

MEER. (2008). *Políticas Energéticas de Ecuador 2008-2020*. Quito.

MEER. (2013). *Ministerio de Electricidad y Energías Renovables*. Recuperado el 21 de Junio de 2017, de <http://www.energia.gob.ec/planta-fotovoltaica-y-de-almacenamiento-de-energia-baltra-mantiene-su-ejecucion/>

- Mena, S. (2013). *Heurística y Metodología de la Ciencia*. Mundo Siglo XXI.
- Menna, S. (2014). *Heurísticas y metodología de la ciencia*. Obtenido de <http://www.mundosigloxxi.ciecas.ipn.mx/pdf/v09/32/06.pdf>.
- Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. (2008). *Políticas Energéticas de Ecuador 2008-2020*. Quito, Pichincha, Ecuador: MEER.
- Miñaro, J. (Martes de Marzo de 2015). *FORMAS DE ENERGÍA*. Recuperado el 12 de Junio de 2017, de Newton: [http://newton.cnice.mec.es/materiales\\_didacticos/energia/solar.htm](http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm)
- Miñaro, J. R. (Martes de Marzo de 2015). *FORMAS DE ENERGÍA*. Recuperado el 12 de Junio de 2017, de Newton: <http://www.http://recursostic.educacion.es/newton/web/>
- Miranda, R. (2016). Recuperado el 15 de Junio de 2017, de [file:///C:/Users/Admin/Downloads/tesis\\_Miranda\\_Jim%C3%A9nez\\_Ricardo\\_07\\_dic\\_2016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/tesis_Miranda_Jim%C3%A9nez_Ricardo_07_dic_2016%20(1).pdf)
- Miranda, R. (2016). *Reducción atmosférica de la radiación solar en la Península de Baja California*. Recuperado el 15 de Junio de 2017, de [file:///C:/Users/Admin/Downloads/tesis\\_Miranda\\_Jim%C3%A9nez\\_Ricardo\\_07\\_dic\\_2016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/tesis_Miranda_Jim%C3%A9nez_Ricardo_07_dic_2016%20(1).pdf)
- Miranda, R. (2016). *Reducción atmosférica de la radiación solar en la Península de Baja California*. Recuperado el 19 de Junio de 2017, de <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/24>
- Mora, G. (2013). *Arbol Solar UTN*. Obtenido de Calameo.
- Navarra.es. (2015). [http://meteo.navarra.es/definiciones/estaciones\\_automaticas.cfm](http://meteo.navarra.es/definiciones/estaciones_automaticas.cfm). Obtenido de Meteorología y climatología .
- Oñate, D. (junio de 2006). [www.diegoonate.es](http://www.diegoonate.es). Obtenido de Diseño de una instalación solar fotovoltaica: [www.diegoonate.es](http://www.diegoonate.es)
- Patiño, M. (25 de Junio de 2008). *Universidad Cataluña*. Obtenido de [https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_asignaturas/asig670022/presentacion/ME MORIA%20cvalculo%20solar%20termica.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig670022/presentacion/ME MORIA%20cvalculo%20solar%20termica.pdf)
- PCE Iberica,S.L. (2015). <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/que-estacion-meteorologica.htm> (S.L.). *¿QUE ES UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA?* Albacete, Tobarra, España. Obtenido de <http://www.pce-iberica.es/>.
- Pelayo, J. (Diciembre de 2013). *El Heliógrafo de Campbell-Stokes*. Obtenido de

<https://www.tiempo.com/ram/1762/el-heliografo-de-campbell-stokes/>

Pelayo, J. (4 de junio de 2016). <http://www.tiempo.com/ram/1762/el-heliografo-de-campbell-stokes/>. Obtenido de El Heliógrafo de Campbell-Stokes.

Red de Políticas de Energías Renovables;. (junio de 2016). [www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_ESPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_ESPANISH.pdf). Obtenido de Red de Políticas de Energías Renovables para el siglo 21.

REN21. (lunes de mayo de 2016). *Red de Políticas de Energías Renovables Para el Siglo 21*. Recuperado el 15 de Junio de 2017, de [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf): [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf)

REN21,. (2016). *ENERGÍAS RENOVABLES 2016*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2017, de [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR\\_2016\\_KeyFindings\\_SPANISH.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2016/06/GSR_2016_KeyFindings_SPANISH.pdf)

REN21, Renewables Academy. (2016). *ENERGÍAS RENOVABLES 2016*. Bonn, Bonn, Alemania.

RENEWABLE ENERGY. (martes de marzo de 2015). *RENEWABLE ENERGY POLICY NETWORK FOR THE 21ST CENTURY*. Obtenido de Red de Políticas de Energía Renovable para el siglo 21.

Repositorio UTN. (s.f.). *Repositorio UTN*. Recuperado el 15 de junio de 2017, de <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/194/5/03%20REC%2083%20CAPI%20TULO%20IV%20Resultados.pdf>

S.L., P. I. (s.f.). <http://www.pce-iberica.es/>.

Sanz, N. (2010). *La Radiación Solar*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de MONOGRAFÍAS.COM: <http://www.monografias.com/trabajos65/radiacion-solar/radiacion-solar.shtml>

Stefan- Boltzmann. ((1835-1893)). *La WEB de Las Biografías*. Recuperado el 13 de mayo de 2017, de <http://www.mcnbiografias.com/app-bio/do/show?key=stefan-josef>

SunEarThtools.com. (2009). *SunEarThtools.com*. Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de [https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=es](https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es)

Sunseeker: 3D Agumented Reality Viewer. (20 de Mayo de 2017). *iTunes es la forma más fácil del mundo para organizar y añadir a su colección de medios digitales*. Recuperado el 13 de Junio de 2017, de SUNSEKEER: 3D AGUMENTED REALITY

VIEWER, 2017: <https://itunes.apple.com/ar/app/sun-seeker-3d-augmented-reality-viewer/id330247123?mt=8>

Terán, O. (11 de Noviembre de 2015). *UTN*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5445>

Universidad, Cataluña. (25 de Junio de 2008). *PROYECTO FIN DE CARRERA*. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de [https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_asignaturas/asig670022/presentacion/MEMORIA%20cvalculo%20solar%20termica.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig670022/presentacion/MEMORIA%20cvalculo%20solar%20termica.pdf)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA. (25 de Junio de 2008). *PROYECTO FIN DE CARRERA*. Recuperado el 20 de Junio de 2017, de [https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2\\_asignaturas/asig670022/presentacion/MEMORIA%20cvalculo%20solar%20termica.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_asignaturas/asig670022/presentacion/MEMORIA%20cvalculo%20solar%20termica.pdf)

Vicente, D. (20 de Junio de 2017). *El Cielo del Mes*. (C. d. Astronomía, Ed.) Recuperado el 13 de Mayo de 2017, de [http://www.elcielodelmes.com/Curso\\_iniciacion/curso\\_1.php](http://www.elcielodelmes.com/Curso_iniciacion/curso_1.php):  
[www.elcielodelmes.com](http://www.elcielodelmes.com) © Vicente Díaz 2007

# ANEXOS

# ANEXO N° 1

## ATLAS SOLAR Y MAPAS

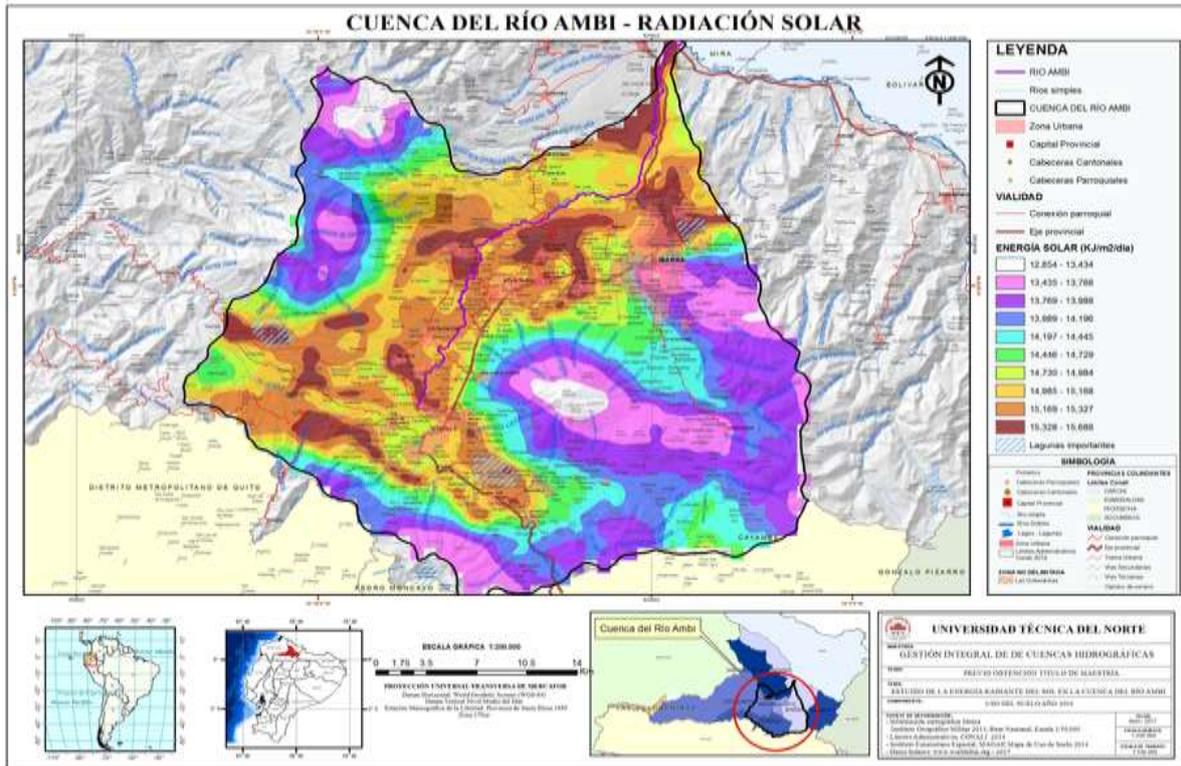


Figura N° 36 Atlas Solar Cuenca del Río Ambí-radiacion solar promedio

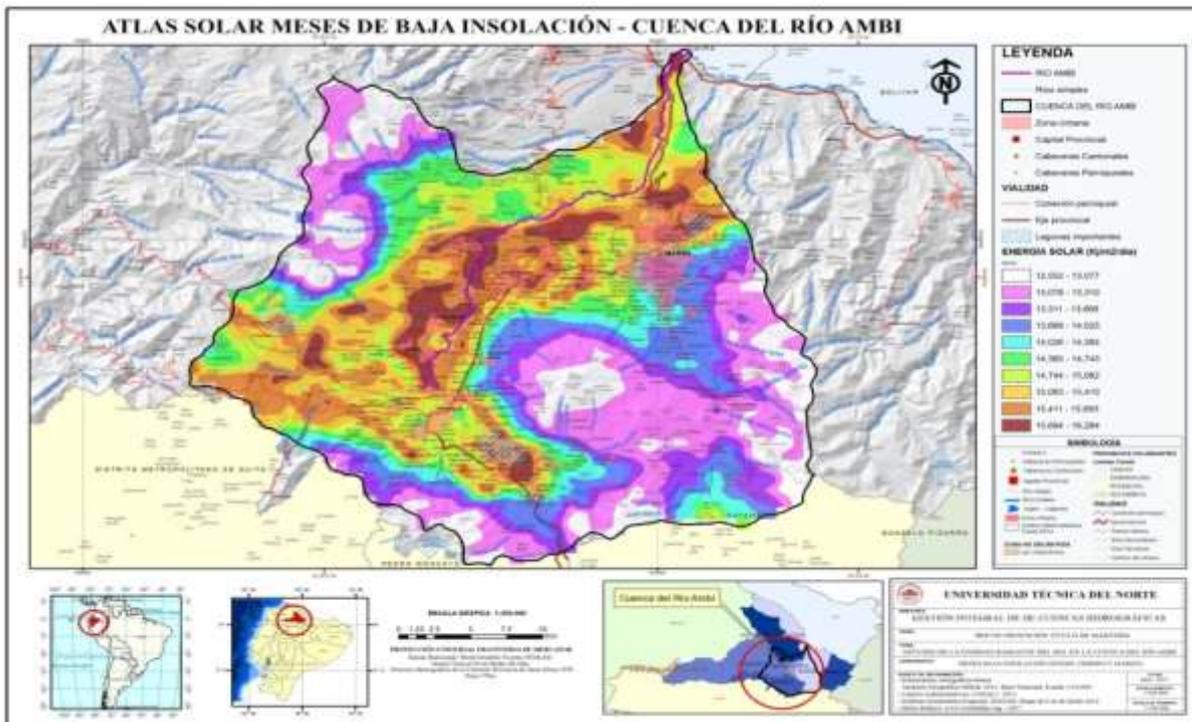


Figura N° 37 Atlas solar de baja insolación cuenca del Río Ambí

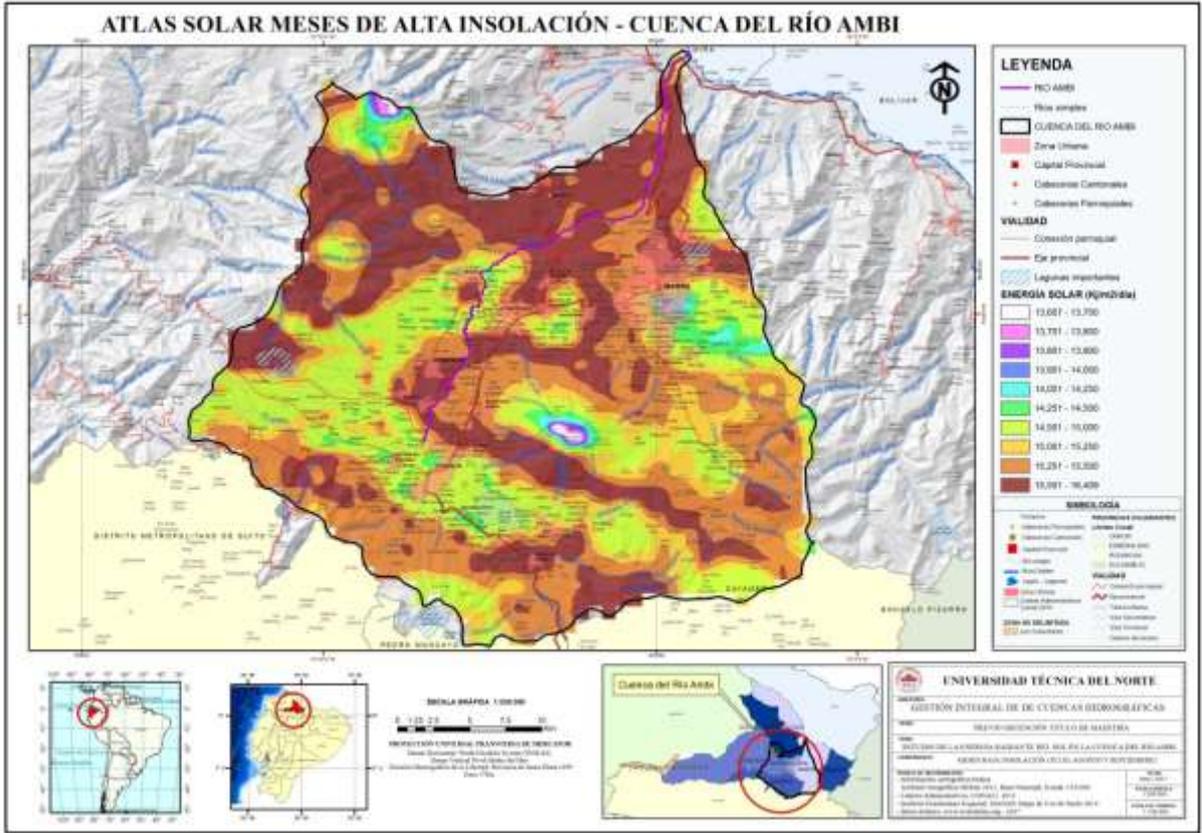


Figura N° 38 Atlas de alta Insolación Cuenca del Río Ambi

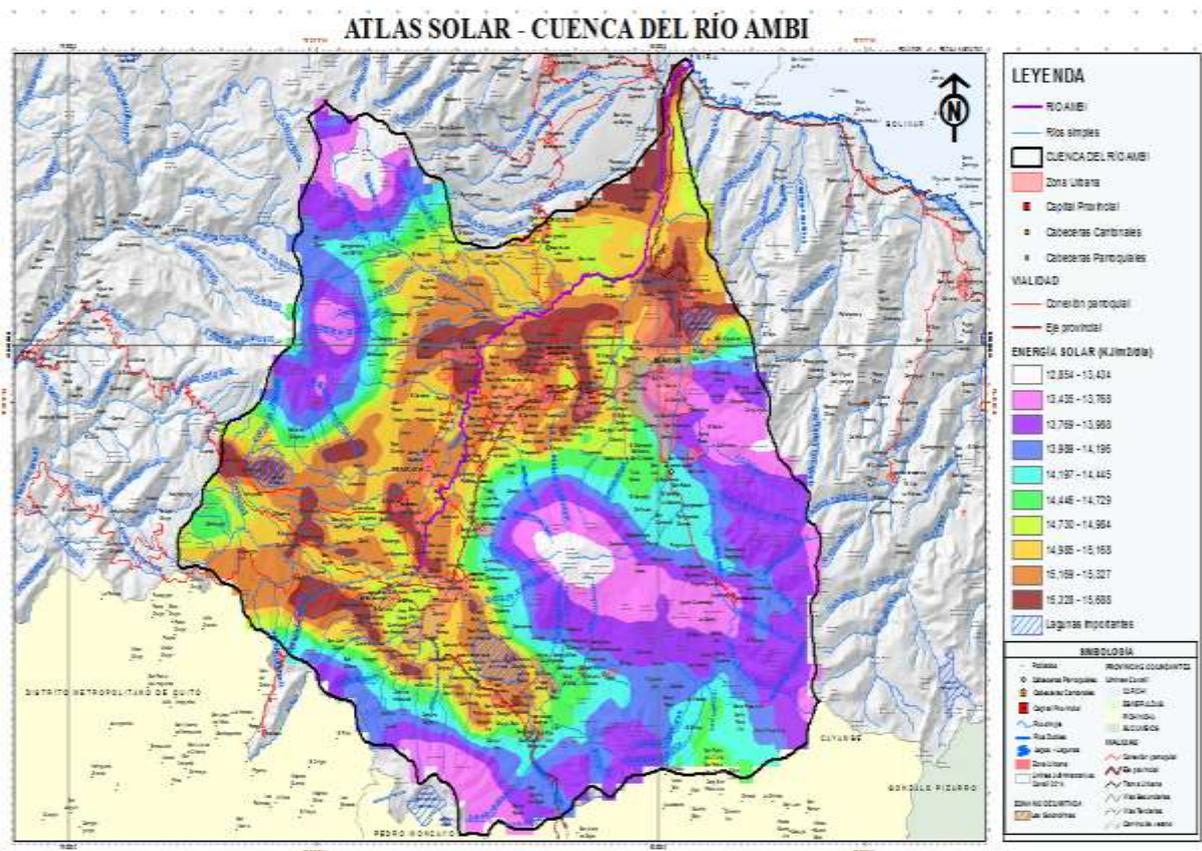


Figura N° 39 Atlas de Insolación Promedio Cuenca del Río Ambi

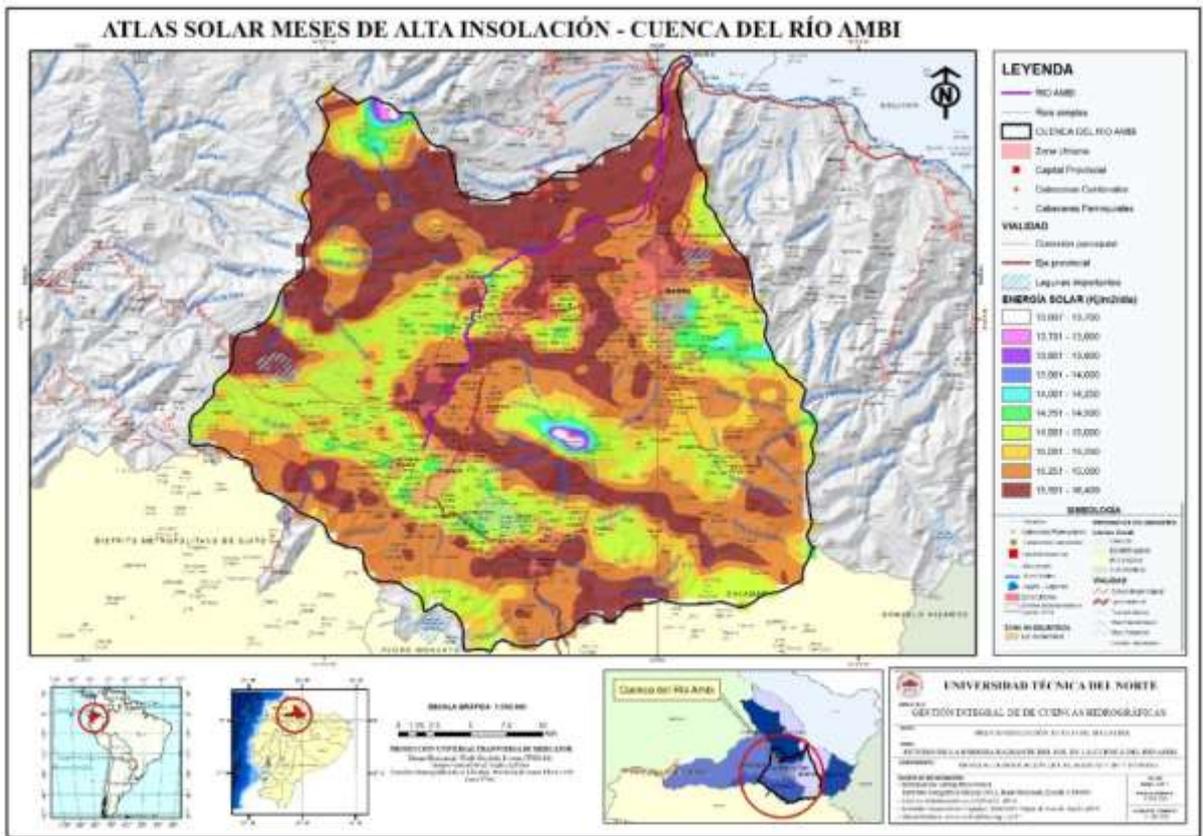


Figura N° 40 Atlas de alta Insolación Cuenca del Río Ambi

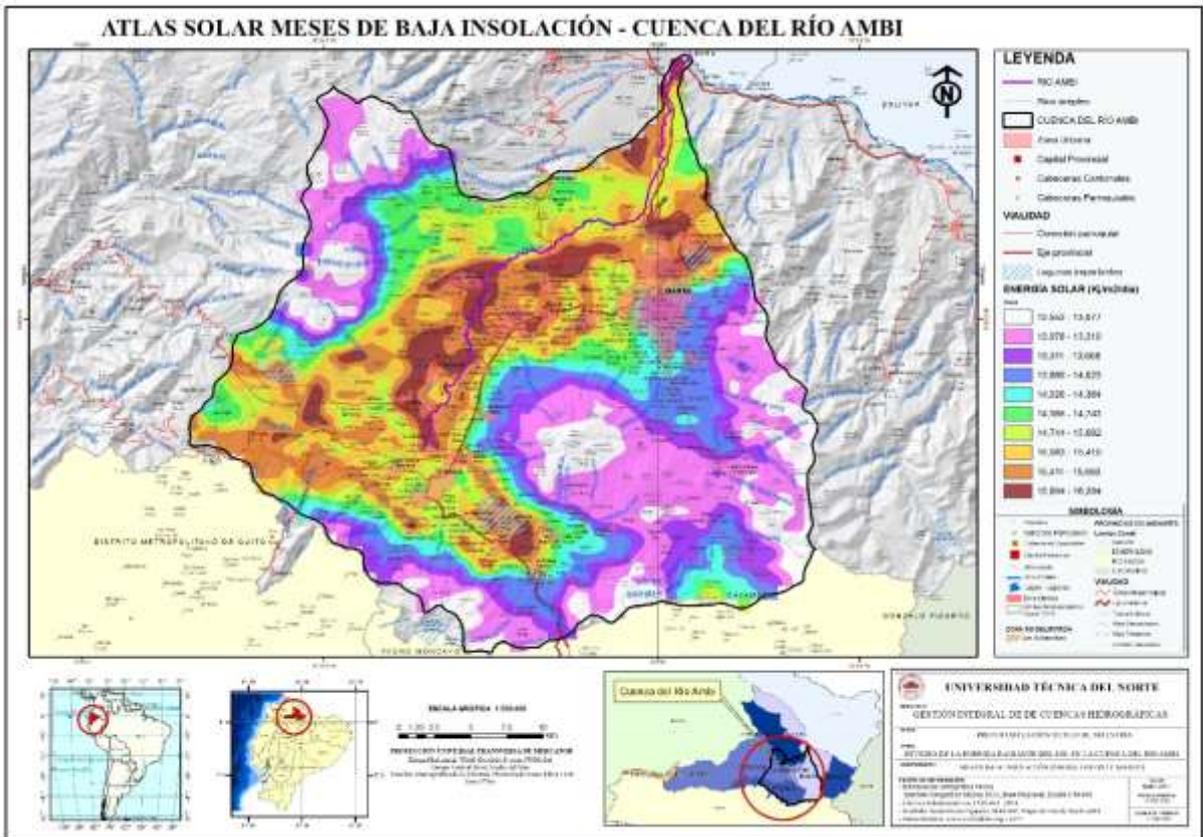


Figura N° 41 Atlas de Baja Insolación Cuenca del Río Ambi

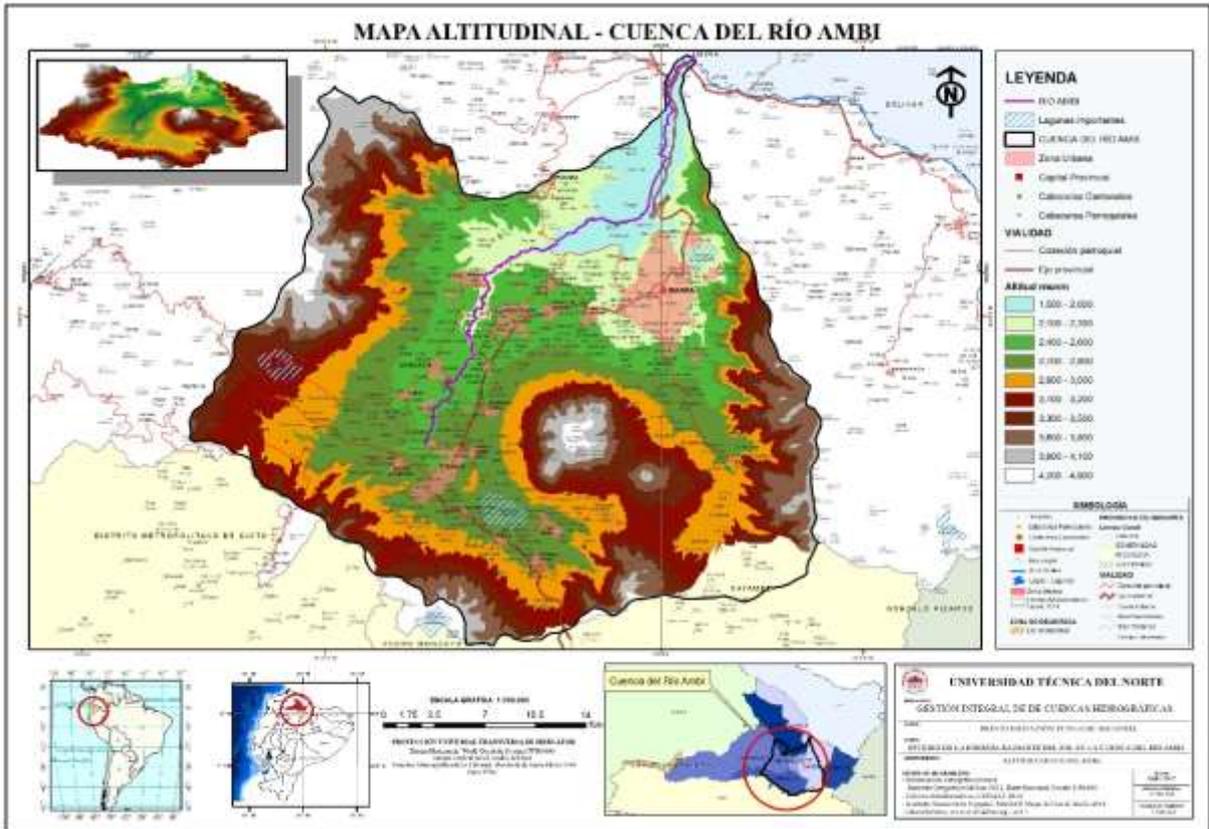


Figura N° 42 Mapa Altitudinal Cuenca del Río Ambi

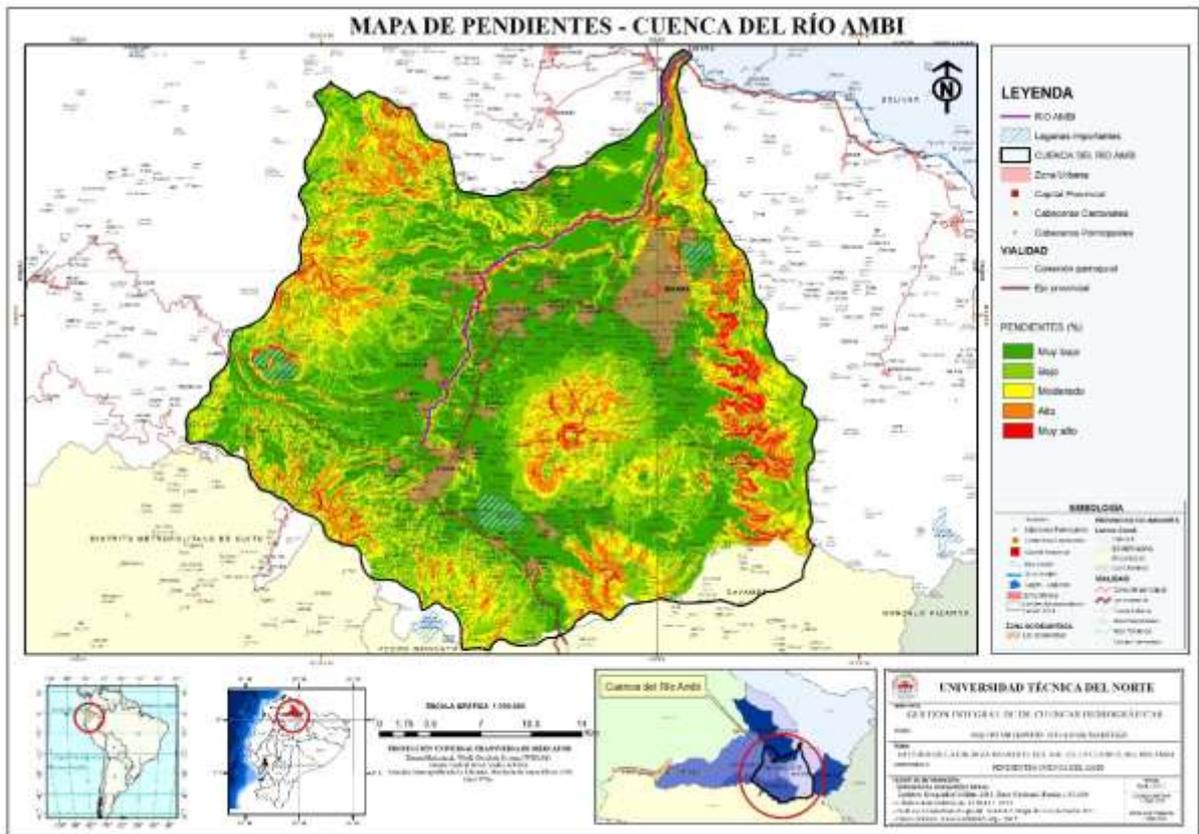
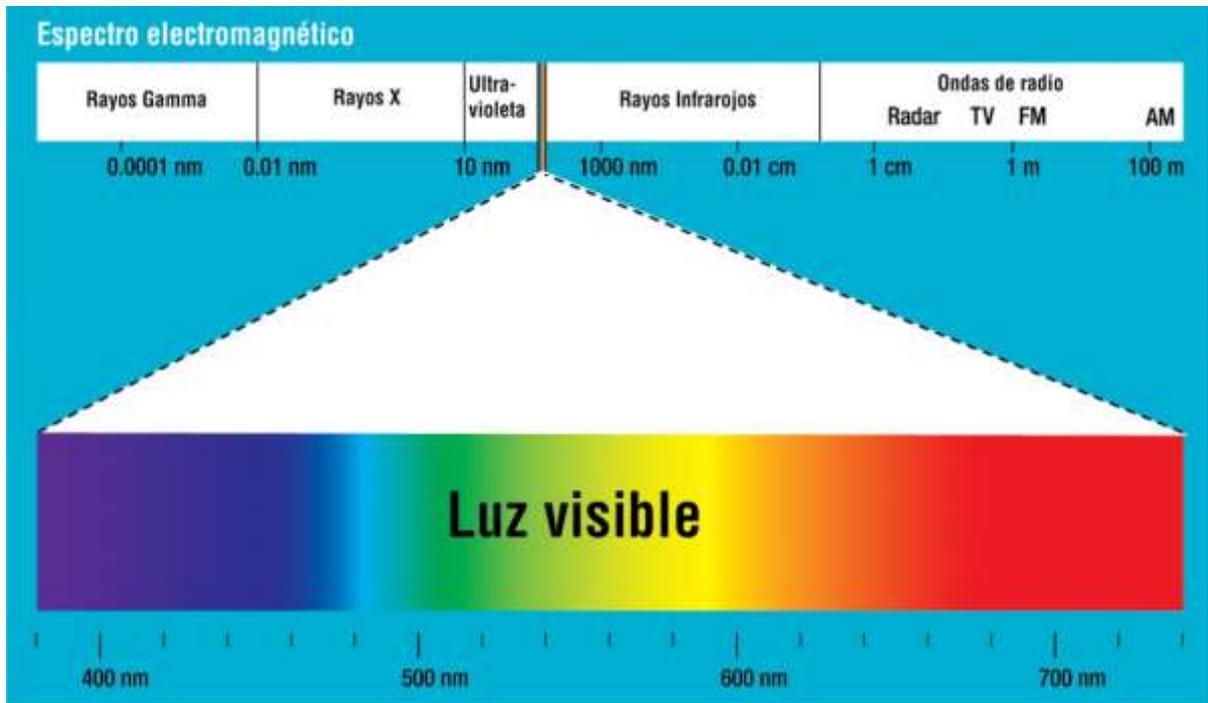


Figura N° 43 Mapa de Pendientes Cuenca del Río Ambi

## ANEXO N° 2

### LUZ VISIBLE



**Figura N° 44** Luz visible que incide sobre las placas solares

Fuente: SunFields Europe

### ANEXO N° 3

#### TABLAS

**Tabla N° 19** Datos estación San Gabriel radiación de 15 años

<b>Año</b>	<b>horas / sol</b>	<b>Kwh/m2</b>	<b>MJh/m2</b>
<b>1998</b>	108,66	3,64	13,09
<b>1989</b>	140,87	4,71	16,94
<b>1990</b>	140,87	4,71	16,94
<b>1991</b>	124,95	4,18	15,04
<b>1992</b>	132,78	4,44	15,98
<b>1993</b>	121,99	4,08	14,67
<b>1994</b>	113,92	3,81	13,71
<b>1995</b>	155,48	5,21	18,75
<b>1996</b>	138,72	4,63	16,65
<b>1997</b>	142,32	4,75	17,11
<b>1998</b>	154,66	5,17	18,62
<b>1999</b>	132,18	5,17	18,62
<b>2000</b>	132,18	5,17	18,62
<b>2001</b>	137,97	5,17	18,62
<b>2002</b>	130,03	5,17	18,62
<b>2003</b>	127,54	5,17	18,62
<b>2004</b>	139,58	5,17	18,62
<b>2005</b>	132,62	5,17	18,62
<b>2006</b>	120,51	5,17	18,62
<b>2007</b>	121,80	5,17	18,62
<b>2008</b>	125,43	5,17	18,62
<b>2009</b>	133,23	5,17	18,62
<b>2010</b>	126,60	5,17	18,62
<b>2011</b>	124,36	5,17	18,62
<b>2012</b>	126,56	5,17	18,62
<b>2013</b>	125,91	5,17	18,62
<b>Promedios</b>	131,22	4,88	17,57

Fuente Anuarios del INAMHI. Elaborado por: El autor

**Tabla N° 20** Ángulo de elevación del sol Cuenca Río Ambi-año 2016

<b>01/01/2016</b>	<b>hora/día</b>	<b>Áng. Elevación (°)</b>	<b>W/m2</b>
<b>02/01/2016</b>	12h07m	66,75	1000,95
<b>03/01/2016</b>	12h07m	66,85	1000,95
<b>04/01/2016</b>	12h07m	66,95	1000,95
<b>05/01/2016</b>	12h07m	67,06	1000,95
<b>06/01/2016</b>	12h07m	67,18	1000,95
<b>07/01/2016</b>	12h07m	67,3	1000,95
<b>08/01/2016</b>	12h07m	67,44	1000,95
<b>09/01/2016</b>	12h07m	67,57	1000,95
<b>10/01/2016</b>	12h07m	67,72	1000,95
<b>11/01/2016</b>	12h07m	67,88	1000,95
<b>12/01/2016</b>	12h07m	68,04	1000,95
<b>13/01/2016</b>	12h07m	68,2	1000,95
<b>14/01/2016</b>	12h07m	68,38	1000,95
<b>15/01/2016</b>	12h07m	68,56	1000,95
<b>16/01/2016</b>	12h07m	68,75	1000,95
<b>17/01/2016</b>	12h07m	68,94	1000,95
<b>18/01/2016</b>	12h07m	69,15	1000,95
<b>19/01/2016</b>	12h07m	69,35	1000,95
<b>20/01/2016</b>	12h07m	69,57	1000,95
<b>21/01/2016</b>	12h07m	69,79	1000,95
<b>22/01/2016</b>	12h07m	70,01	1000,95
<b>23/01/2016</b>	12h07m	70,25	1000,95
<b>24/01/2016</b>	12h07m	70,49	1000,95
<b>25/01/2016</b>	12h07m	70,73	1000,95
<b>26/01/2016</b>	12h07m	70,98	1000,95
<b>27/01/2016</b>	12h07m	71,24	1000,95
<b>28/01/2016</b>	12h07m	71,5	1000,95
<b>29/01/2016</b>	12h07m	71,76	1000,95
<b>30/01/2016</b>	12h07m	72,04	1000,95
<b>31/01/2016</b>	12h07m	72,31	1000,95

Fuente: Programa Sun Seeker

**Tabla N° 21** Radiación Estación Ibarra años: 1965-1966-1977

<b>Año 1965</b>	<b>Horas/ sol</b>	<b>Kwh/m2/mes</b>	<b>MJ/m2/mes</b>
<b>ene</b>	146,2	4,72	16,98
<b>feb</b>	145,4	5,19	18,69
<b>mar</b>	97,9	3,16	11,37
<b>abr</b>	88,9	2,87	10,32
<b>may</b>	115,1	3,71	13,37
<b>jun</b>	132,8	4,28	15,42
<b>jul</b>	164,2	5,30	19,07
<b>ago</b>	176,1	5,68	20,45
<b>sep</b>	141,5	4,56	16,43
<b>oct</b>	111,4	3,59	12,94
<b>nov</b>	109,8	3,54	12,75
<b>dic</b>	120,2	3,88	13,96
<b>TOTAL</b>	1549,5		
<b>PROMED</b>		4,21	15,15
<b>Año 1966</b>	<b>Horas/sol</b>	<b>Kwh/m2/mes</b>	<b>MJ/m2/mes</b>
<b>ene</b>	117,5	3,79	13,65
<b>feb</b>	135,7	4,85	17,45
<b>mar</b>	135	4,35	15,68
<b>abr</b>	149,9	4,84	17,41
<b>may</b>	144,5	4,66	16,78
<b>jun</b>	137,4	4,43	15,96
<b>jul</b>	148,3	4,78	17,22
<b>ago</b>	184,2	5,94	21,39
<b>sep</b>	183,4	5,92	21,30
<b>oct</b>	180,1	5,81	20,91
<b>nov</b>	155,8	5,03	18,09
<b>dic</b>	152,7	4,93	17,73
<b>TOTAL</b>	1824,5		
<b>PROMED</b>		4,94	17,80
<b>Año 1967</b>	<b>Horas/ sol</b>	<b>kWh/m2/mes</b>	<b>MJ/m2/mes</b>
<b>ene</b>	148,6	4,79	17,26
<b>feb</b>	143,8	5,14	18,49
<b>mar</b>	135	4,35	15,68
<b>abr</b>	162	5,23	18,81
<b>may</b>	162,1	5,23	18,82
<b>jun</b>	149,8	4,83	17,40
<b>jul</b>	194,7	6,28	22,61
<b>ago</b>	200,2	6,46	23,25
<b>sep</b>	193,6	6,25	22,48
<b>oct</b>	164	5,29	19,05
<b>nov</b>	188,8	6,09	21,93
<b>dic</b>	216,7	6,99	25,17
<b>TOTAL</b>	2059,3		
<b>PROMED</b>		5,58	20,08

## ANEXO N° 4

### FIGURAS

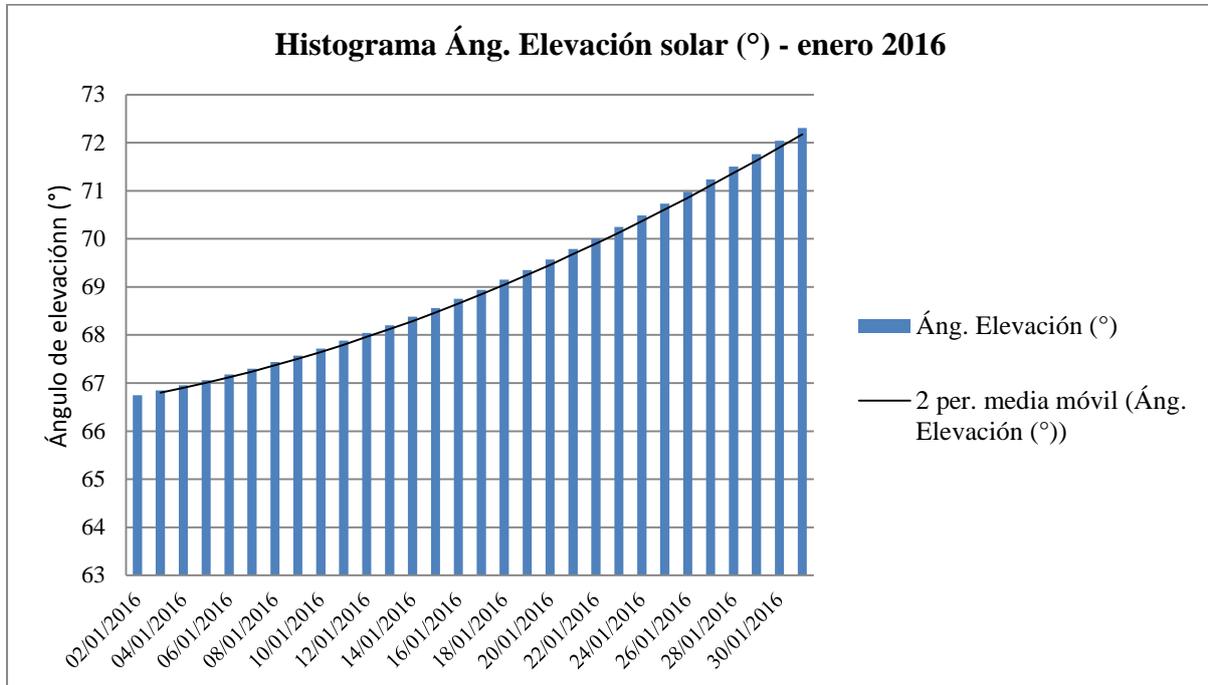


Figura N° 45 Ángulo de elevación del sol, enero-2016

Fuente: Programa Sun Seeker. Preparado por: El autor

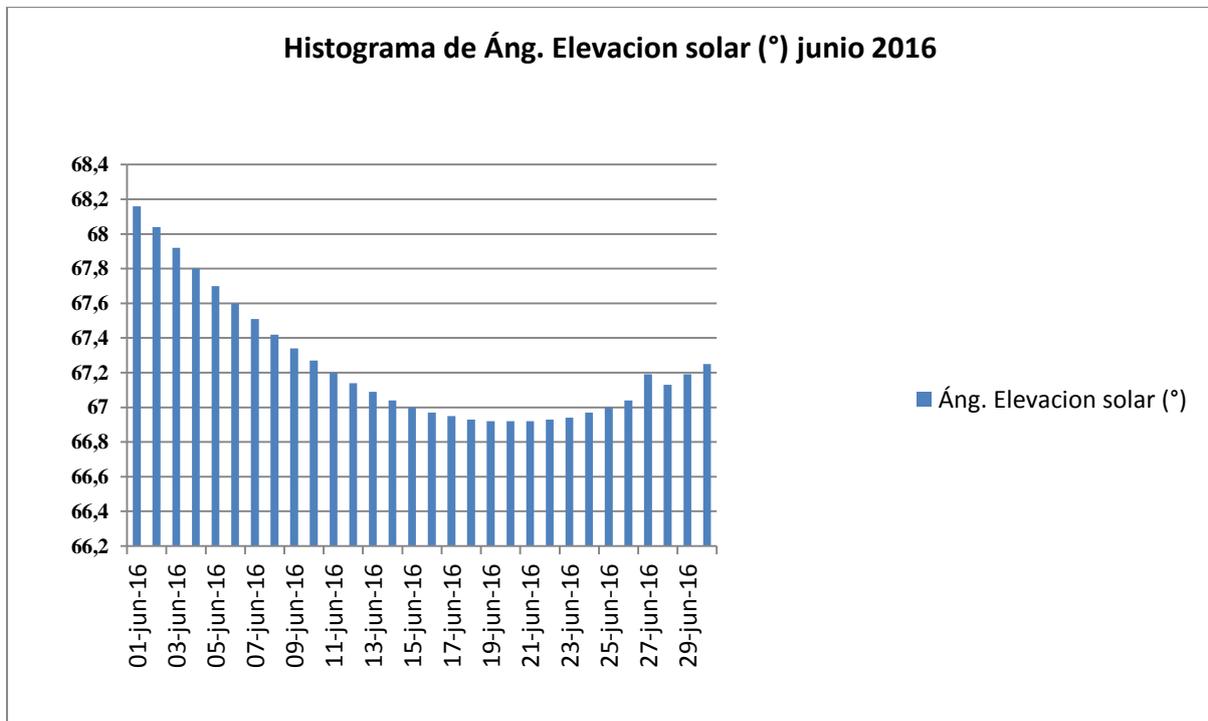
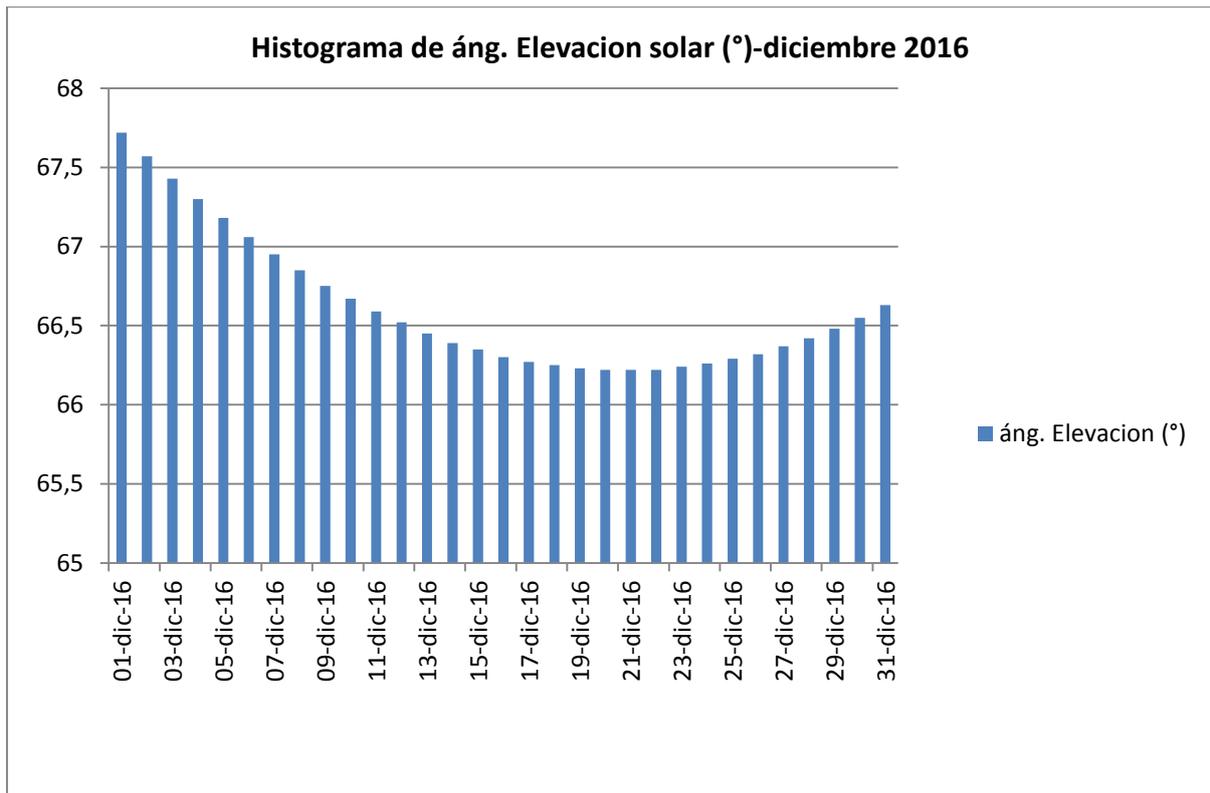


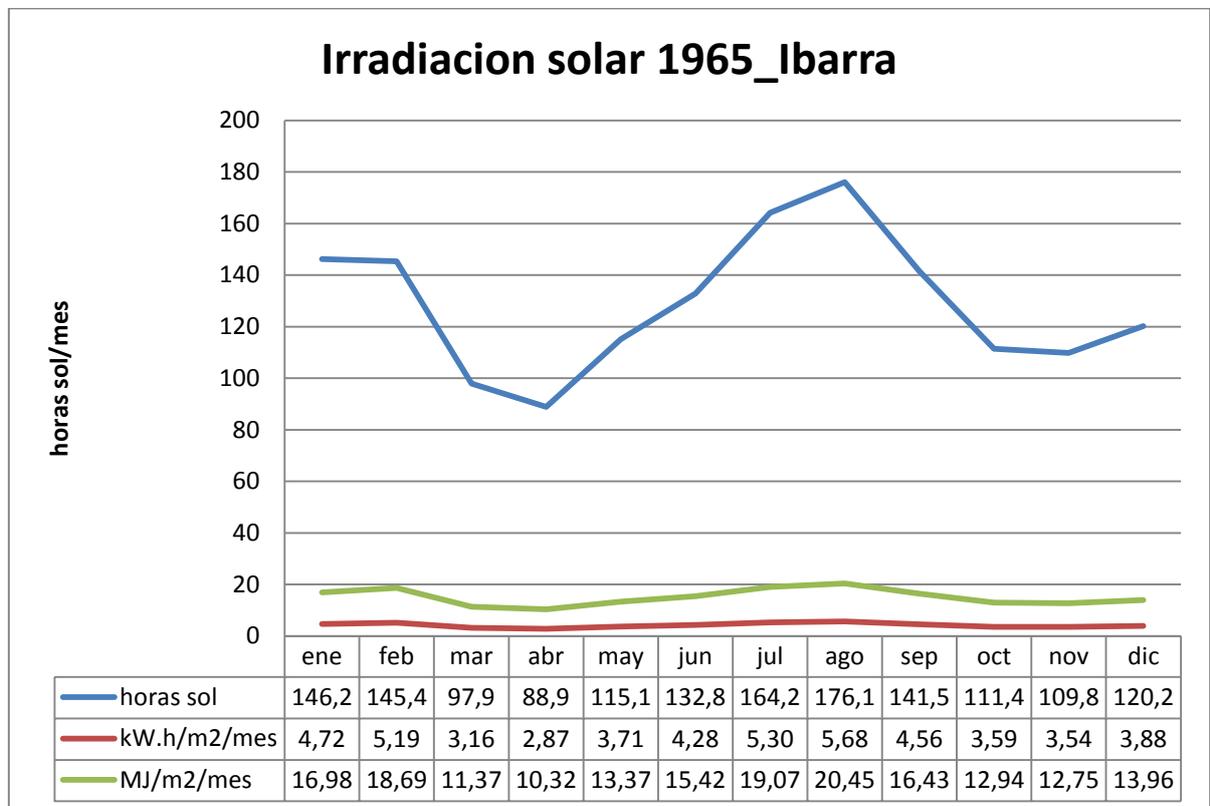
Figura N° 46 Ángulo de elevación el sol, junio-2016

Fuente: Programa Sun Seeker.



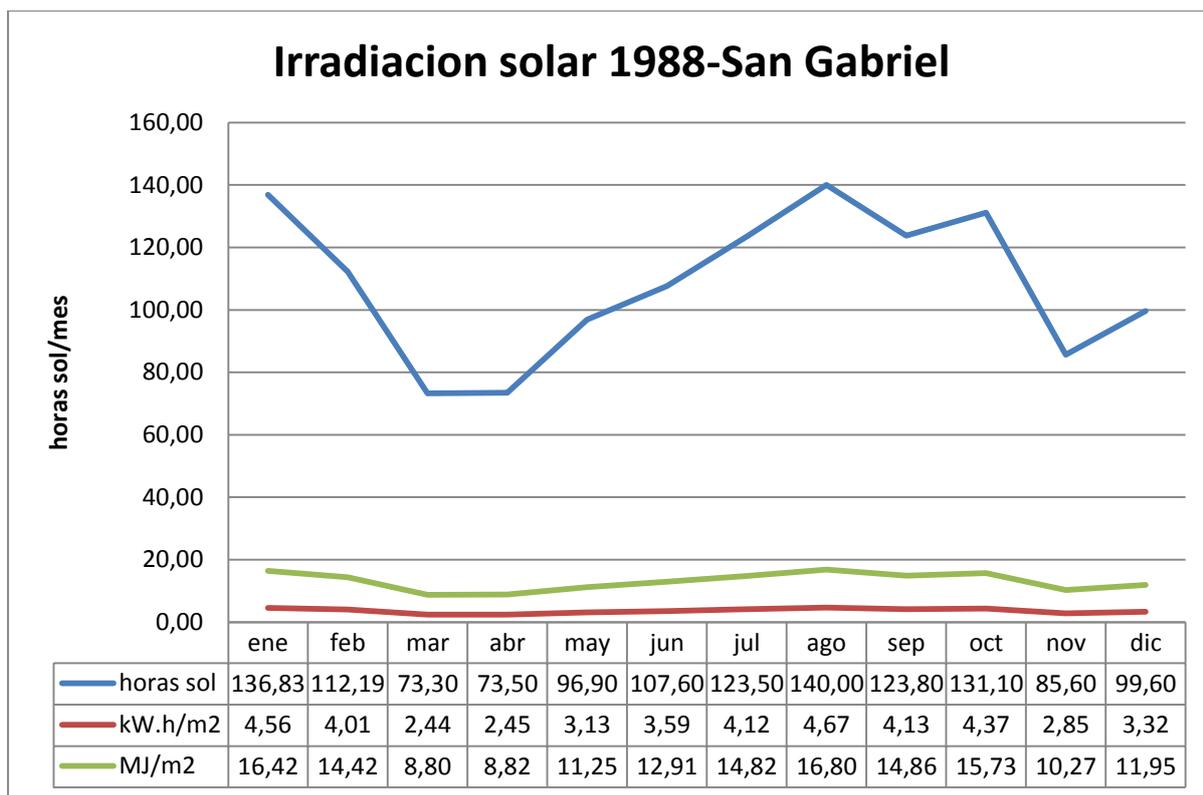
**Figura N° 47** Ángulo de elevación el sol, diciembre-2016

Fuente: Programa Sun Seeker.



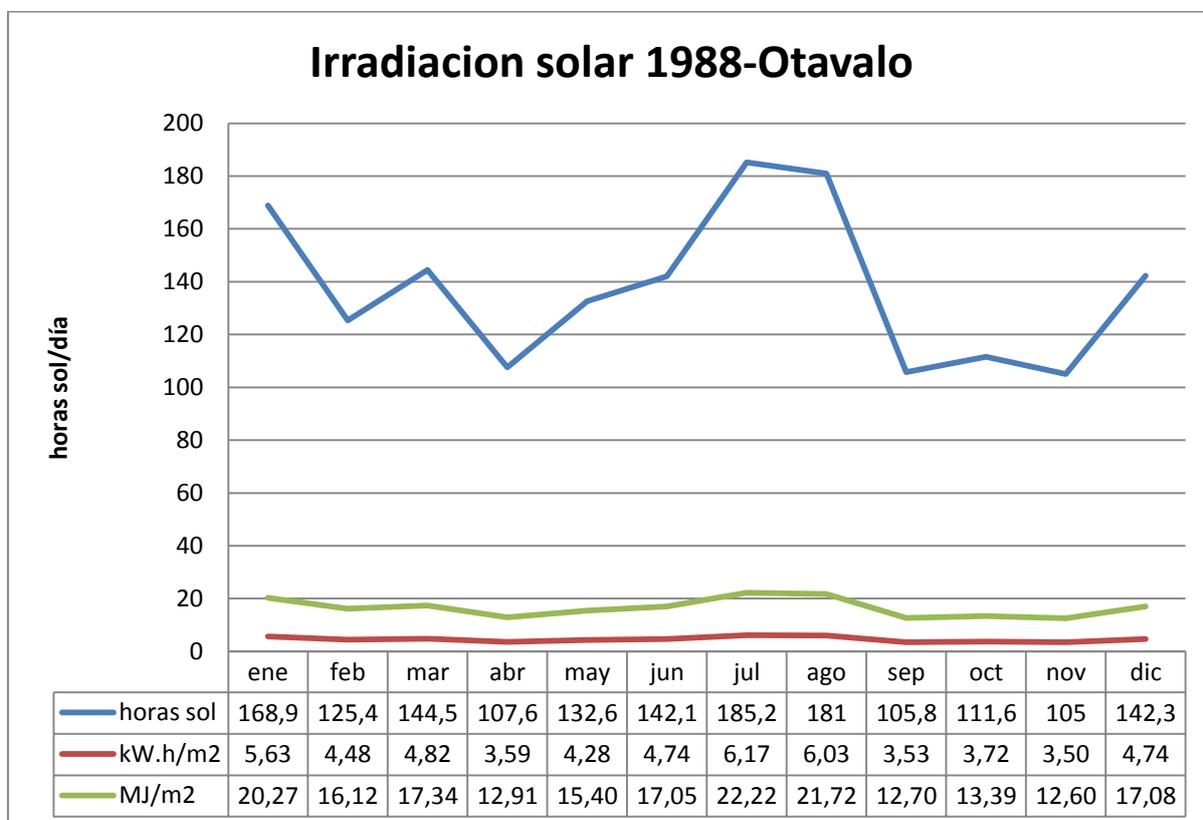
**Figura N° 48** Irradiación solar Estación Ibarra 1965

Fuente: INAMHI



**Figura N° 49** Irradiación solar estación Sam Gabriel 1988

Fuente: INAMHI



**Figura N° 50** Irradiación solar estación Otavalo 1988

Fuente: INAMHI

**ANEXO N° 5**

**IMÁGENES**



**Imagen N° 1** Cuenca Río Ambi 1

Elaborado por: El autor



**Imagen N° 2** Cuenca Río Ambi 2

Elaborado por: El autor



**Imagen N° 3** Cuenca Río Ambi 3

Elaborado por: El autor



**Imagen N° 4** Cuenca Río Ambi, Laguna Yahuarcocha

Elaborado por: El autor



**Imagen N° 5** Cuenca Río Ambi- nevado Cotacachi

Elaborado por: El autor