



1859

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS
RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES**

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL
SOLAR EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR**

TESIS DE GRADO PREVIA A
OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

AUTOR: FREDDY JOSÉ VÉLEZ MEDINA.

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS SOLANO JIMÉNEZ, PHD.

LOJA-ECUADOR

2020

CERTIFICACIÓN

Ing. Juan Carlos Solano, PhD.

**DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE TITULAR DE LA FEIRNNR DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

CERTIFICA:

Haber dirigido y asesorado el presente trabajo de tesis de grado realizado por el señor egresado: **FREDDY JOSÉ VÉLEZ MEDINA** con C.I. 1105637803, en su trabajo de investigación titulado: “**METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR**”, previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, el mismo que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, en consecuencia, me permito autorizar su presentación, sustentación y defensa.

Loja, 02 de marzo de 2020



Firmado electrónicamente por:

**JUAN CARLOS
SOLANO
JIMENEZ**

Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

DIRECTOR DE TESIS

AUTORÍA

Yo, **FREDDY JOSÉ VÉLEZ MEDINA**, declaro ser el autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.



Firmado electrónicamente por:
**FREDDY JOSE
VELEZ MEDINA**

Freddy José Vélez Medina

1105637803

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, **FREDDY JOSÉ VÉLEZ MEDINA**, declaro ser autor de la tesis titulada: **“METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”**; como requisito para optar al grado de: **INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los dos días del mes de septiembre del dos mil veinte.

Firma:  Firmado electrónicamente por:
**FREDDY JOSE
VELEZ MEDINA**

Autor: Freddy José Vélez Medina

Cédula: 1105637803

Dirección: Loja, Loja

Correo electrónico: fjvelezm@unl.edu.ec

Celular: 0981479739

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de tesis: Ing. Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.

Tribunal de grado: Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, Mg. Sc.

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta, Mg. Sc

Ing. Byron Agustín Solórzano Castillo, Mg. Sc.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico de manera muy especial a Dios, por permitirme culminar con éxito mis estudios de tercer nivel.

Freddy

Con mucho cariño a toda mi familia, que han estado conmigo en cada momento de vida mis padres, hermanos, esposa e hijo, que siempre han sabido creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre me han aconsejado, apoyado y brindado todo su amor.

Freddy

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Juan Carlos Solano Jiménez, PhD.; Director de tesis, le expreso mis sinceros sentimientos de respeto, admiración y agradecimiento por su generoso asesoramiento y colaboración desde el inicio hasta la finalización de este trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional De Loja, de manera muy especial a la carrera de ingeniería electromecánica, que a través de los docentes y personal administrativo, recibí la formación y preparación profesional con admiración y respeto.

Al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), por facilitarme la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Freddy

TABLA DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	II
AUTORÍA	III
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	V
TABLA DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XV
GLOSARIO	XVII
NOMENCLATURA	XX
1. TÍTULO	1
2. RESUMEN	2
2.1. ABSTRACT	3
3. INTRODUCCIÓN	4
3.1. OBJETIVOS	6
3.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
4. REVISIÓN DE LITERATURA	7
4.1. EL POTENCIAL DE LA RADIACIÓN SOLAR	7
4.1.1. Introducción	7
4.1.2. Potencial solar.....	8
4.1.2.1. Energía Solar	9
4.1.3. Aspectos básicos de la radiación solar.....	10
4.1.3.1. Radiación Solar	10
4.1.3.2. Constante solar	10
4.1.4. Unidades de medida de la radiación solar.....	12
4.1.5. Tipos de radiación solar	12
4.1.5.1. Irradiancia Solar	13
4.1.6. Irradiación Solar.....	14
4.1.7. Instrumentos de medida de la radiación solar	14
4.1.7.1. Piranómetro	14

4.1.7.2. Pirheliómetro.....	15
4.1.8. Factores que afectan a la radiación solar que llega a la superficie de la tierra o un receptor.....	16
4.1.8.1. Latitud	16
4.1.8.2. Nubosidad.....	16
4.1.8.3. Aerosoles.....	16
4.1.8.4. Estaciones.....	17
4.1.8.5. Albedo y altitud.....	17
4.1.9. Potencia de la radiación solar para diseñar sistemas fotovoltaicos.....	18
4.1.9.1. Potencial solar para sistemas fotovoltaicos.....	18
4.1.9.2. Radiación solar disponible para diseño de sistemas fotovoltaicos.....	19
4.1.9.3. El efecto fotovoltaico	19
4.1.9.4. Sistemas fotovoltaicos.....	20
4.1.9.5. Diseño de sistemas Fotovoltaicos	20
4.2. EL RECURSO SOLAR EN EL ECUADOR	22
4.2.1. Introducción	22
4.2.2. Estudios existentes en el Ecuador	23
4.2.2.1. Estudios realizados en la Región Sur del Ecuador.....	24
4.2.3. Fuentes de información de potencial solar en el Ecuador.....	25
4.2.3.1. Datos satelitales.....	25
4.2.3.2. Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.....	26
4.2.3.3. Mapa solar del Ecuador 2019.....	26
4.2.3.4. Datos reales de estaciones meteorológicas.....	26
4.3. DISEÑO WEB	29
4.3.1. Sitio web	29
4.3.1.1. Página web	29
4.3.2. Funcionalidad de un sitio web	30
4.3.2.1. Hosting	30
4.3.2.2. Dominio.....	30
4.3.3. Herramientas de desarrollo web.....	31
4.3.4. WordPress	33
4.3.4.1. Características de WordPress	34
4.3.4.2. Herramientas para gestionar un sitio web en WordPress.....	35
5. MATERIALES Y MÉTODOS	38
5.1. MATERIALES	38
5.2. MÉTODOS	38

5.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	40
5.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE POTENCIAL SOLAR EN EL ECUADOR	41
5.4.1. Bases de datos satelitales de radiación solar para el Ecuador.....	41
5.4.1.1. Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA) .	42
5.4.1.2. Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL)	44
5.4.1.3. Meteonorm	46
5.4.2. Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica.....	47
5.4.3. Mapa solar del Ecuador 2019	49
5.4.4. Estaciones meteorológicas administradas por el INAMHI.....	51
5.5. DESCARGA, CLASIFICACIÓN, PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LOS DATOS ESTIMADOS CON DATOS REALES DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	53
5.5.1. Descarga de datos	53
5.5.1.1. Meteorología de superficie y Energía Solar (NASA)	53
5.5.1.2. Base Nacional de Datos de Radiación Solar (NREL)	55
5.5.1.3. Meteonorm	58
5.5.1.4. Atlas Solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019.....	61
5.5.1.5. Estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI	62
5.5.2. Clasificación y procesamiento de los datos	63
5.5.2.1. Estimación de datos de faltantes para estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI	64
5.5.3. Validación de datos.....	66
5.5.3.1. Estadística comparativa de las fuentes de información.....	67
5.5.3.2. Indicadores estadísticos para la comparación de datos de irradiación solar.....	67
5.5.3.3. Obtención del potencial solar incidente los módulos fotovoltaicos ...	72
5.6. ELABORACIÓN DE LA PLATAFORMA WEB.....	80
5.6.1. Elección del Software a utilizar	81
5.6.2. Obtención de un hosting y dominio	81
5.6.3. Estructura de la página Web	82
5.6.4. Estimación de la producción de Energía con SFV.....	83
5.6.4.1. Estimación de energía de un SFV según la inclinación de los módulos FV	84
6. RESULTADOS	86
6.1. Datos de estaciones meteorológicas	86

6.2. Datos satelitales	87
6.3. Datos del Atlas solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019.....	87
6.4. Análisis de datos de IGH	88
6.4.1. Análisis estadístico de datos de radiación solar	88
6.4.1.1. Estación Agrometeorológica M0033 "LA ARGELIA"	88
6.4.1.2. Estación Meteorológica Automática M0146 "CARIAMANGA"	89
6.4.1.3. Estación Meteorológica Automática M1259 "MACARÁ"	90
6.4.1.4. Estación Meteorológica Automática M0012 "LA CUCA"	91
6.4.1.5. Estación Meteorológica Automática M1246 " LAS LAJAS"	92
6.4.2. Análisis mediante estadística gráfica	93
6.4.2.1. Estación Agrometeorológica M0033 "LA ARGELIA"	93
6.4.2.2. Estación Meteorológica Automática M0146 "CARIAMANGA"	95
6.4.2.3. Estación Meteorológica Automática M1259 "MACARÁ"	96
6.4.2.4. Estación Meteorológica Automática M0012 "LA CUCA"	98
6.4.2.5. Estación Meteorológica Automática M1246 " LAS LAJAS"	100
6.4.3. Análisis general.....	101
6.4.3.1. Coeficiente de correlación de Pearson	101
6.4.3.2. Coeficiente de determinación R²	103
6.4.3.3. Error medio absoluto (MAE)	104
6.4.3.4. Error medio cuadrático (RMSE)	105
6.4.3.5. Error de sesgo medio (MBE)	107
6.4.3.6. Irradiación solar global promedio anual.....	108
6.5. Obtención del potencial solar incidente en módulos fotovoltaicos	111
6.5.1. Obtención del potencial solar en el cantón de Loja	111
6.6. Análisis comparativo de datos de temperatura	122
6.6.1. Análisis general de datos de temperatura.....	123
6.6.1.1. Coeficiente de correlación.....	123
6.6.1.2. Coeficiente de determinación R²	124
6.6.1.3. Error medio absoluto (MAE)	124
6.6.1.4. Error medio cuadrático (RMSE)	125
6.6.1.5. Error de sesgo medio (MBE)	125
6.6.1.6. Temperatura promedio anual	126
6.7. Plataforma web.....	128
6.7.1. Mapa	129
6.7.2. Páginas informativas.....	129

6.7.3. Páginas que contienen datos	130
6.7.3.1. Estimación de energía con sistemas fotovoltaicos.	130
7. DISCUSIÓN	134
8. CONCLUSIONES.....	136
9. RECOMENDACIONES.....	137
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	138
11. ANEXOS.....	146

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro solar obtenido con los datos del Centro Mundial de Radiación (WRC)..	11
Figura 2. Componentes de la radiación solar..	12
Figura 3. Piranómetro.....	14
Figura 4. Pirheliómetro.....	15
Figura 5. Herramientas de WordPress.....	37
Figura 6. Esquema de la metodología propuesta en la presente investigación.	39
Figura 7. Página inicial de la NASA..	44
Figura 8. Página Principal NREL, Base de datos Nacional de Radiación Solar. Fuente: (NSRDB, 2019).	46
Figura 9. Página principal de Meteonorm.	47
Figura 10. Mapa de insolación global para el mes de enero.	49
Figura 11. Mapa de Irradiación Solar Global Horizontal anual.....	51
Figura 12. Página inicial de la NASA..	53
Figura 13. Atlas mundial de la NASA.....	54
Figura 14. Ventana de ingreso de datos para acceder a los datos.....	54
Figura 15. Ventana de descarga de datos.	55
Figura 16. Página principal NREL Base de datos Nacional de Radiación.....	56
Figura 17. Mapa de descarga de datos del NREL.	56
Figura 18. Ventana para ingresar datos de contacto para la descarga de datos.....	57
Figura 19. Ventana de selección de parámetros meteorológicos a descargar.	57
Figura 20. Ventana principal del programa PVsyst V6.70.....	58
Figura 21. Ventana de base de datos de PVsyst.	58
Figura 22. Ventana de búsqueda una nueva localidad..	59
Figura 23. Mapa mundial de PVsyst..	59
Figura 24. Ventana de verificación de datos de la localidad..	60
Figura 25. Ventana de selección de parámetros meteorológicos.	60
Figura 26. Ventana de descarga.....	61
Figura 27. Ventana de activación de herramienta para análisis..	65
Figura 28. Ventana de análisis de datos..	65

Figura 29. Ventana de Regresión.	66
Figura 30. Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson.....	71
Figura 31. Cálculo de del coeficiente de determinación R2.....	72
Figura 32. Proceso de obtención del potencial solar en cada cantón de la RSE.	80
Figura 33. Estructura de la página web.	83
Figura 34. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación agrometeorológica M0033 “LA ARGELIA”.	94
Figura 35. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación agrometeorológica M0033 “LA ARGELIA”.	94
Figura 36. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M0146 “CARIAMANGA”.....	95
Figura 37. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M0146 “CARIAMANGA”.....	96
Figura 38. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M1259 “MACARÁ”.....	97
Figura 39. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M1259 “MACARÁ”.....	97
Figura 40. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M0012 “LA CUCA”.....	98
Figura 41. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M0012 “LA CUCA”.....	99
Figura 42. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M1246 “LAS LAJAS”.....	100
Figura 43. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M1246 “LAS LAJAS”.....	101
Figura 44. Coeficiente de correlación de Pearson para cada una de las fuentes de información utilizadas.	102
Figura 45. Coeficiente de determinación R2 para cada una de las fuentes de información utilizadas.	104
Figura 46. Error medio absoluto para cada una de las fuentes de información utilizadas.....	105

Figura 47. Raíz del error medio cuadrático para cada una de las fuentes de información utilizadas.....	106
Figura 48. Error de sesgo medio o sesgo porcentual medio para cada una de las fuentes de información utilizadas.....	108
Figura 49. Irradiación solar global horizontal anual.	108
Figura 50. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R ² , para todas las fuentes de información.....	110
Figura 51. MAE, MRSE y MBE para todas las fuentes de información.....	110
Figura 52. Temperatura mensual.....	126
Figura 53. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación promedio para todas las fuentes de información.	127
Figura 54. MAE, MRSE y MBE promedios para todas las fuentes de información...	128
Figura 55. Procedimiento para el uso de la calculadora solar.	131
Figura 56. Mapa de localización de los cantones de la Región sur del Ecuador.....	155
Figura 57. Ventana desplegable base de datos.	156
Figura 58. Calculadora que permite estimar la producción de energía, con sistemas fotovoltaicos.	157
Figura 59. Cálculo de la generación de energía que tendría un sistema fotovoltaico.	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Conversiones útiles para radiación solar	12
Tabla 2. Clasificación de las Estaciones Meteorológicas	28
Tabla 3. Fuentes de datos de radicación solar en Ecuador	41
Tabla 4. Características del sensor usado para calibrar los piranómetros	52
Tabla 5. Estaciones meteorológicas usadas en el presente estudio	63
Tabla 6. Día del año para calcular la declinación para cada mes.	73
Tabla 7. Coeficientes para aplicar el modelo de Pérez	79
Tabla 8. Características del alojamiento web contratado	82
Tabla 9. Calidad de datos de las estaciones meteorológicas.	86
Tabla 10. Indicadores estadísticos para la estación agrometeorológica M0033 “LA ARGELIA”	89
Tabla 11. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M0146 “CARIAMANGA”	90
Tabla 12. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M1259 “MACARÁ”	91
Tabla 13. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M0012 “LA CUCA”	92
Tabla 14. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M1246 “LAS LAJAS”.	93
Tabla 15. Coeficiente de correlación de Pearson para cada una de las fuentes de información utilizadas.	102
Tabla 16. Coeficiente de determinación R ² para cada una de las fuentes de información utilizadas.....	103
Tabla 17. Error medio absoluto para cada una de las fuentes de información utilizadas.	104
Tabla 18. Raíz del Error medio cuadrático para cada una de las fuentes de información utilizadas.....	106
Tabla 19. Error de sesgo medioo sesgo porcentual para las fuentes de información utilizadas.....	107
Tabla 20. Indicadores estadísticos para todas las fuentes de información	109

Tabla 21. Datos obtenidos para el catón Loja.....	112
Tabla 22. Irradiación directa y difusa para el cantón Loja	113
Tabla 23. Irradiación solar horaria difusa, directa y global	116
Tabla 24. Irradiación solar horaria difusa, directa, reflejada y global a una inclinación de 0°, para el mes de enero	121
Tabla 25. Irradiación global (promedio diario mensual) que llaga al plano de captación en el cantón Loja, según su ángulo β	122
Tabla 26. Coeficiente de correlación de Pearson para los datos satelitales y reales de temperatura.	123
Tabla 27. Coeficiente de determinación R2 para los datos satelitales y reales de temperatura.	124
Tabla 28. Error medio absoluto para para los datos satelitales y reales de temperatura.	124
Tabla 29. Raíz del Error medio cuadrático para para los datos satelitales y reales de temperatura.	125
Tabla 30. Error de sesgo medioo sesgo porcentual medio para para los datos satelitales y reales de temperatura.	125
Tabla 31. Indicadores estadísticos promedio para todas las fuentes de información. .	127
Tabla 32. Energía mensual y anual, estimada en el cantón Loja	133

GLOSARIO

AVHRR	Radiómetro avanzado de muy alta resolución (<i>Advanced Very High Resolution Radiometer</i>)
CIE	Corporación para la investigación de la Energética
CMS	Sistema de gestión de contenidos (<i>content management system</i>)
CONELEC	Consejo Nacional de Electricidad
CPR	Investigación de energía limpia (<i>Clean Power Research</i>)
CRS	Modelo Climatológico de Radiación Solar (<i>Climatological Solar Radiation Model</i>)
CSS	Hojas de Estilo en Cascada (<i>Cascading Style Sheets</i>)
IDH	Irradiación difusa horizontal
IND	Irradiación normal directa
DNS	Sistema de nombres de dominios (<i>Domain Name System</i>)
DQM	Distrito Metropolitano de Quito
FARMS	Todo el cielo rápido, Modelo de radiación para aplicaciones solares
FV	Fotovoltaico
GEWEX	Experimento mundial de energía y ciclo del agua (<i>Global energy and water cycle experiment</i>)
GOES	Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (<i>Geostationary Operational Environmental Satellite</i>)
GPL	Licencia Pública General (<i>General Public License</i>)
HTML	Lenguaje de Marcas de Hipertexto (<i>HyperText Markup Language</i>)
HTTP	Protocolo de transferencia de hipertexto (<i>Hypertext Transfer Protocol</i>)
IDEA	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IGH	Irradiación global horizontal
IIGE	Instituto de Investigación Geológico y Energético
INAMHI	Instituto de Meteorología e Hidrología
INE	Instituto Nacional de Energía
INECEL	Instituto Nacional Ecuatoriano de electrificación
ISCCP	Proyecto internacional de climatología de nubes satelitales (<i>International Satellite Cloud Climatology Project</i>)

ISO	Organización Internacional de Normalización
K-S test	Prueba <i>Kolmogorov-Smirnov</i>
MAE	Error medio absoluto
MBE	Error de sesgo medio
MERRA	Análisis retrospectivo de la era moderna para investigación y aplicaciones (<i>Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications</i>)
MISR	Espectrorradiómetro de Imágenes de Triángulos
MODIS	Imágenes de Resolución Moderada
MySQL	Lenguaje de consulta estructurado (<i>Structured Query Language</i>)
NASA	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio
NREL	Laboratorio Nacional de Energías Renovables (<i>National Renewable Energy Laboratory</i>)
NOAA	Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>)
NSRDB	Base de datos nacional de radiación solar (<i>National Solar Radiation Database</i>)
OMI	Instrumento de Monitoreo de Ozono
OMM	Organización Meteorológica Mundial
OPET	Organismos para la Protección de Tecnologías Energéticas
PATMO-x	Atmósferas Pioneras extendidas (<i>Pathfinder Atmospheres-extended</i>)
PHP	Preprocesador de hipertexto (<i>Hypertext Preprocessor</i>)
POWER	Predicción del recurso energético mundial (<i>Prediction Of Worldwide Energy Resource</i>)
RECOPE	Refinadora Costarricense de petróleo
PSM	Modelo Solar Físico (<i>Physical Solar Model</i>)
REST	Modelo para condiciones de cielo despejado
RMSE	Raíz del error cuadrático medio
RSE	Región Sur de Ecuador
SGBDR	Sistema de gestión de bases de datos relacionales
SIG	Sistema de Información Geográfica
SQL	Lenguaje de consulta estructurado (<i>Structured Query Language</i>)

SRB	Presupuesto de radiación de superficie (<i>Surface Radiation Budget</i>)
SSE	Meteorología de superficie y Energía Solar (<i>Surface meteorology and Solar Energy</i>)
SUNY	Universidad Estatal de Nueva York (<i>State University of New York</i>)
TOMS	Espectrómetro de mapeo de ozono total
WRC	Centro Mundial de Radiación Solar (<i>World Radiation Center</i>)
XML	Lenguaje de Mercado Extensible (<i>Extensible Markup Language</i>)

NOMENCLATURA

B_{sc}	Constante solar [W/m^2]
E_U	Energía generada [$\text{Wh}/\text{día}$]
P_m	Potencia pico del módulo fotovoltaico o instalación fotovoltaica [W]
N_M	Número de módulos fotovoltaicos
P_{NI}	Potencia nominal de la instalación [W]
P_M	Potencia nominal de los módulos fotovoltaicos [W]
η_p	Eficiencia de los módulos fotovoltaicos
A_M	Área de los módulos fotovoltaicos [m^2]
R^2	Coefficiente de determinación
r	Coefficiente de correlación de Pearson
δ	Declinación solar
d_n	Día del año
Φ	Latitud
ω_s	Ángulo solar horario al amanecer
θ_{zs}	Ángulo cenital
γ_s	Ángulo de elevación
ψ_s	Ángulo acimutal
α	Ángulo acimut
β	Ángulo de inclinación
θ_s	Ángulo de incidencia
$B_{0d}(0)$	Radiación solar extraterrestre
ε_0	Factor de corrección de la excentricidad de la órbita de la Tierra
K_T	Índice de claridad
K_D	Fracción difusa
r_d	Parámetro propuesto por (Liu & Jordan)
r_g	Parámetro propuesto por (Liu & Jordan)
T	Longitud del día en horas
$IDH_{Ch}(\beta, \alpha)$	Irradiación difusa circunsolar horaria
$IDH_{Ih}(\beta, \alpha)$	Irradiación difusa isotrópica horaria

k_3 y k_4	Parámetros adimensionales que definen el aporte de la región circunsolar y del horizonte
ρ	Reflectividad del suelo
Y_R	Número de horas sol pico
FS	Factor de pérdidas por sombras
PR	Rendimiento característico de la instalación

1. TÍTULO

**“METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN LA
REGIÓN SUR DEL ECUADOR”.**

2. RESUMEN

En el presente trabajo de investigación, se desarrolló una metodología para la obtención del potencial solar en la RSE, orientada al aprovechamiento del recurso solar con sistemas fotovoltaicos, cuya metodología de cálculo para la validación de información se encuentra basada en documentos como (Ordonez, Vaca, & Lopez-Villada, 2019), los cálculos de obtención del potencial solar se basan en (Collares-Pereira & Rabl, 1979; Liu & Jordan, 1960; Perez, Seals, Ineichen, Stewart, & Menicucci, 1987), así mismo la estimación de energía con sistemas fotovoltaicos se basa en (Caamaño & Egido, 2005), cuya información se complementó con otros documentos que exponen metodologías similares. Como resultado se obtuvo el potencial solar incidente sobre el plano de captación, a partir de los datos del NREL, así mismo se elaboró plataforma web que cuenta con una herramienta de cálculo que permite estimar la producción de energía aproximada que tendría una instalación fotovoltaica, para un ángulo de inclinación β de 0° , 5° , 10° , 15° , 20° y 25° , a partir del tamaño del SFV y las características del módulo FV a utilizar.

Para cumplir con el objetivo propuesto, como primer paso se identifica las fuentes de información que proporcionen datos de irradiación solar global horizontal, posteriormente mediante el análisis de datos basados en indicadores estadísticos de dispersión y similitud, se determinó la fuente de información que presenta datos más confiables es el NREL.

A continuación a partir de los datos del NREL, se obtuvo el potencial incidente sobre el plano de captación, los mismos que fueron utilizados para estimar la producción de energía con SFV.

2.1. ABSTRACT

In this research work, a methodology was developed to obtain the solar potential in CSR, oriented to the use of the solar resource with photovoltaic systems, whose calculation methodology for the validation of information is based on documents such as (Ordonez, Vaca, & Lopez-Villada, 2019), the calculations for obtaining the solar potential are based on (Collares-Pereira & Rabl, 1979; Liu & Jordan, 1960; Perez, Seals, Ineichen, Stewart, & Menicucci, 1987), likewise the estimation of energy with photovoltaic systems is based on (Caamaño & Egido, 2005), whose information was complemented with other documents that expose similar methodologies.

As a result, the potential solar incident on the catchment plane was obtained, based on NREL data, likewise a web platform was developed that has a calculation tool that allows estimating the approximate energy production that an installation should have photovoltaic, for an inclination angle β of 0 °, 5 °, 10 °, 15 °, 20 ° and 25 °, based on the size of the SFV and the characteristics of the PV module to be used.

To meet the proposed objective, as a first step the sources of information that provide horizontal global solar irradiation data are identified, later through the analysis of data based on statistical indicators of dispersion and similarity, the source of information that presents the most reliable data is NREL.

Next, from the NREL data, the potential incident on the collection plane was obtained, the same ones that were used to estimate the energy production with SFV.

3. INTRODUCCIÓN

En general, existen estudios relacionados directa o indirectamente con el tema propuesto, especialmente en los países desarrollados, así como también en países de la región como Colombia y Perú (Camayo-Lapa, Pomachagua-Paucar, Massipe-Hernaández, Quispe-Flores, & Torres-Ten, 2017; Fe, 1999; Horn, 2007; Murcia, 2008; Vanegas Chamorro, Villicaña Ortiz, & Arrieta Viana, 2015).

Los primeros estudios relacionados a la evaluación del recurso solar en Ecuador corresponden a los registrados por las estaciones meteorológicas del INAMHI en 8 puntos del territorio continental aproximadamente desde 1962 registrando información sobre insolación global ($\text{Wh}/\text{m}^2/\text{día}$) y heliofanía ($\text{h}/\text{día}$) en forma muy dispersa (INECEL, 1981).

A partir de esta información se elaboró el primer “Estudio del Potencial Solar y Eólico en el Ecuador” elaborado por el Instituto Nacional Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) y el Instituto Nacional de Energía (INE), ambos desaparecidos actualmente. Este estudio recopiló la información desde el año 1968 hasta el año 1980, siendo publicado en el año 1981. Este estudio preliminar no fue concluyente debido a la falta de información temporal en la mayoría de estaciones seleccionadas y planteó la necesidad de tener una red de estaciones meteorológicas en el país (INECEL, 1981).

En el 2008, la Corporación para la investigación de la Energética (CIE) realizó el “Atlas Solar del Ecuador” (CONELEC, 2013). La metodología utilizada se basó en información generada por el laboratorio nacional de energías renovables o NREL por sus siglas en inglés (*National Renewable Energy Laboratory*), de los Estados Unidos, cuyos objetivos están enfocados a la investigación y desarrollo de las energías renovables y eficiencia energética (CONELEC, 2013).

Dentro de este ámbito, el NREL elaboró el modelo CRS por sus siglas en inglés (*Climatological Solar Radiation Model*), el cual permite conocer la insolación diaria sobre una superficie horizontal en celdas de aproximadamente $40 \text{ km} \times 40 \text{ km}$ alrededor del mundo y sus resultados han sido validados mediante la medición de datos obtenidos por estaciones, determinando que el error de los datos es de un 10%. Usa información de gases presentes en bajas cantidades, vapor de agua atmosférico, nubosidad, cantidad de aerosoles. El NREL publica, constantemente, los valores de insolación promedio, para una ubicación determinada utilizando colectores fijos con cinco ángulos de inclinación:

horizontal: (0°), latitud del lugar menos 15°, latitud del lugar, latitud más 15°, y vertical (90°). Estos datos son mejorados con mediciones obtenidas usando superficies colectoras móviles, las mismas que son montadas en aparatos, que siguen automáticamente la trayectoria del sol (CONELEC, 2013). Los diversos estudios realizados en el Ecuador no demuestran información relevante de investigaciones en análisis de los modelos de radiación solar global. De los trabajos existentes podemos destacar el estudio del consejo nacional de electricidad (CONELEC) en el 2009, donde se utiliza el Modelo de Armstrong modificado, que el (INAMHI) ha calculado los valores de los coeficientes a y b para la costa y la sierra (Perata, Lopez, Sosa, & Emérita, 2013), y el Modelo de Hottel desarrollado en la evaluación preliminar de radiación solar global de la provincia de Loja (Álvarez, Montaña, & Maldonado, 2014), los dos últimos utilizan como variable meteorológica las horas de insolación.

Los modelos que estiman el potencial de las energías renovables (biomasa primaria, energía solar, energía hidráulica, energía eólica y energía geotérmica) determinan que su aporte se multiplicará por diez, pudiendo alcanzar hasta 10 o 15 TW-año. El desarrollo de las energías renovables dependerá principalmente de sus costos, de los impuestos de las energías no renovables y de las políticas energéticas (CONELEC, 2013).

El presente proyecto de investigación estará enfocado en la elaboración de una metodología para la obtención del potencial solar en la Región Sur del Ecuador con la finalidad contribuir en el desarrollo de las Energías Renovables en la rama de la Ingeniería Electromecánica, además el presente trabajo de titulación forma parte del proyecto de investigación que ejecuta la Universidad Nacional de Loja, denominado: ***“CARACTERIZACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”***, de la misma manera se pretende elaborar una herramienta web, donde se muestren los datos de irradiación solar global horizontal, para cada una de las fuentes de información utilizadas en esta investigación, de tal manera que dicha plataforma web sirva como fuente de información acerca del recurso solar en la Región Sur del Ecuador, así mismo se pretende que la información antes mencionada, pueda ser utilizada como punto de partida para la posterior planificación, diseño y elaboración de proyectos de generación energética alternativa específicamente mediante paneles fotovoltaicos.

El presente trabajo de investigación plantea los siguientes objetivos:

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una metodología para obtener el potencial solar en la Región Sur del Ecuador.

3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las fuentes de información para la obtención de datos de potencial solar como plataformas web, Atlas Solar del Ecuador y estaciones meteorológicas de la Región Sur del Ecuador.
- Descargar, clasificar y procesar los datos del potencial solar obtenidos por diferentes fuentes y validar esta información con datos reales de estaciones meteorológicas de la Región Sur del Ecuador.
- Elaborar una herramienta web, que permita la búsqueda e interpretación de los datos del potencial solar en la Región Sur del Ecuador y la producción de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. EL POTENCIAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

4.1.1. Introducción

En la actualidad el conocimiento de la disponibilidad de la energía solar, es indispensable para garantizar el aprovechamiento adecuado de los recursos energéticos mediante el uso de sistemas y tecnologías que lo transforman en diversas formas de energía útil; como los sistemas fotovoltaicos o térmicos que finalmente permiten la generación de energía eléctrica (Ospino Castro, 2010).

El potencial solar representa la fuente de energía más abundante disponible para satisfacer la demanda energética mundial. Se ha determinado que en menos de una hora, la energía proveniente del Sol en forma de radiación, es suficiente para abastecer el consumo energético de todo el planeta durante un año (Sepúlveda, 2014).

La principal forma de aprovechar la energía solar en forma directa es por medio de sistemas fotovoltaicos. En este tipo de sistemas, la radiación del sol es convertida en un voltaje por los paneles solares a través de un fenómeno descubierto por Einstein llamado efecto fotoeléctrico (Sepúlveda, 2014).

Para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos es indispensable conocer la potencia requerida por la carga y la radiación solar. Este último parámetro representa el recurso energético disponible en una ubicación geográfica específica. Si no se conoce la radiación solar promedio de un sitio es posible subdimensionar o sobre-dimensionar el sistema fotovoltaico, ocasionando pérdidas económicas y a la vez un desaprovechamiento del recurso solar (Sepúlveda, 2014).

Medir la radiación solar de forma permanente en cada sitio es un inconveniente. Durante años, se han propuesto modelos para estimar la radiación solar a partir de datos meteorológicos satelitales. Sin embargo, los modelos deben ser validados con datos reales. Por eso, es importante medir en campo la radiación solar de un sitio particular, de esta manera se pueden validar los modelos existentes y escoger uno para determinado lugar (Sepúlveda, 2014).

Esta investigación está orientada a la determinación del potencial solar en la Región Sur del País, fundamentándose en un estudio exhaustivo del recurso, cuya primera etapa consiste en la recuperación de Información proveniente de las estaciones meteorológicas de la Región, atlas solar del Ecuador y datos de la web. En la segunda etapa, toda la

información recolectada será procesada y validada, para elaborar una herramienta web que proporcione datos de potencial solar y la energía que se puede generar con dicho potencial.

Existe la necesidad de contar con información precisa y actualizada sobre distintos parámetros referentes al potencial solar en la Región Sur del Ecuador, que permitan el desarrollo de la industria solar Fotovoltaica, lo que proporcionará la diversificación de la matriz energética del país. El potencial solar es un dato importante para optimizar el dimensionamiento y diseño de los equipos e instalaciones fotovoltaicas. Esta información constituye un valioso aporte para los sectores productivos público y privado en el Ecuador con la finalidad de promover la inversión e investigación en el uso de la energía solar como fuente alternativa renovable y limpia.

4.1.2. Potencial solar

La potencia solar que recibe el planeta Tierra (fuera de la atmósfera) es cerca de 173×10^{12} kW o una energía de 15×10^{17} kWh/año. Al atravesar la atmósfera, cerca de 53% de esta radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. Por lo tanto al pasar esta radiación por una distancia de 150 millones de km, se reduce esta cantidad y el final planeta recibe energía promedio a 3×10^{17} kWh/año, equivalente a 4000 veces el consumo del mundo entero en un año (7×10^{13} kWh/año), lo cual nos indica la enorme potencia del Sol (Nandwani, 2005).

Además de aprovecharla, de manera natural (vientos, evaporación de los mares para energía hidroeléctrica, fotosíntesis para la producción de biomasas, gradiente térmico de los mares, etc.), la energía solar se puede convertir en energía calórica y energía eléctrica, y por lo tanto puede usar para todos los usos donde se puede funcionar cualquier otra fuente convencional de energía. Sin embargo para mostrar el concepto explicaremos la utilización para siguientes usos donde el autor ha tenido alguna experiencia práctica:

- Calentar agua para ducha, lavar trastos y para piscina etc., (Calentador de agua).
- Cocinar/ hornear los alimentos y pasteurizar agua, (Horno/Cocina Solar).
- Secar todos tipos de productos, agrícolas, marinas etc., hasta excrementos de animales, (Deshidratador / Secador Solar).

- Destilar un líquido para separar los componentes sólidos y líquidas, (Evaporador /Destilador Solar).
- Producir electricidad directamente (Efecto Fotovoltaico) para alumbrar, TV, Radio, bombear agua, ventilación, nevera y cargar baterías, etc.

Una familia, un agricultor o un empresario etc. dependiendo de su actividad puede usar una o varias de estas u otras aplicaciones (Nandwani, 2005).

4.1.2.1. Energía Solar

La energía solar, es aquella que se obtiene directamente de aprovechar la radiación electromagnética que procede del sol. Esta estrella es un enorme reactor nuclear que convierte parte de su masa en energía, enviándola al espacio en forma de radiación electromagnética; esta es una energía renovable inagotable. Esta energía es aprovechada por la humanidad a lo largo de toda su historia. Además se la considera como una fuente de energía verde o renovable, ya que aunque el sol algún día dejará de funcionar como hoy en día, aún faltan millones de años para llegar ahí, por lo tanto, es una fuente de energía inagotable (al menos por unos 2 millones de años) (La energía solar.org, 2019).

La energía solar es la fuente principal de vida en el planeta: dirige los ciclos biofísicos, geofísicos y químicos que mantienen la vida en la Tierra, los ciclos del oxígeno, del agua, del carbono y del clima. El sol, nos suministra alimentos mediante la fotosíntesis y como es la energía del sol la que induce el movimiento del viento, del agua y el crecimiento de las plantas, la energía solar es el origen de la mayoría de las fuentes de energía renovables (la energía mareomotriz, energía de la biomasa, la energía hidroeléctrica, la energía eólica y de la energía solar).

La energía solar que absorbe la Tierra en un año equivale aproximadamente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de energía no renovable en el mundo y se aproxima a 10 mil veces por encima del consumo actual (Arenas Sánchez & Zapata Castaño, 2011).

La energía solar, es una fuente de energía que tiene varias importantes ventajas sobre otras y que, para su aprovechamiento, también presenta varias dificultades. Entre sus ventajas se destacan principalmente su naturaleza inagotable, renovable y su utilización libre de polución. Pero, para su utilización, es necesario tener en cuenta su naturaleza intermitente, su variabilidad fuera del control del hombre y su baja densidad de potencia.

Estas dificultades conllevan entonces la necesidad de transformarla a otra forma de energía para su almacenamiento y posterior uso. La baja densidad de potencia resulta en que es una fuente extensiva: para mayor potencia, mayor extensión de equipos de conversión. La ingeniería solar precisamente se ocupa de asegurar el suministro confiable de energía para el usuario teniendo en cuenta estas características.

La energía solar se transforma en la naturaleza en otras formas de energía, como biomasa y energía eólica, pero también se puede transformar a otras formas de energía como calor y electricidad (Murcia, 2008).

4.1.3. Aspectos básicos de la radiación solar

En esta sección se explica brevemente algunos términos básicos relacionados con la radiación solar.

4.1.3.1. Radiación Solar

Es el flujo de energía que recibimos del Sol en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias (luz visible, infrarroja y ultravioleta) (Arenas Sánchez & Zapata Castaño, 2011); estas ondas electromagnéticas son de diferentes frecuencias y aproximadamente la mitad de las que recibimos están entre los rangos de longitud de onda de 0.4 [μm] y 0.7 [μm], y pueden ser detectadas por el ojo humano, constituyendo lo que conocemos como luz visible. De la otra mitad, la mayoría se sitúa en la parte infrarroja del espectro y una pequeña parte en la ultravioleta (Mendoza, 2011).

El sol tiene un comportamiento semejante al de un cuerpo negro que emite energía mediante la ley de Planck con una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta. No siempre toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, ya que las ondas ultravioletas, más pequeñas, son absorbidas por los gases de la atmósfera específicamente por el ozono. La radiación solar que llega a la superficie de la tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra (ITER-S.A, 2008).

4.1.3.2. Constante solar

La constante solar B_{sc} , es la energía que proviene del Sol, por unidad de tiempo, la cual es recibida en una superficie perpendicular a la dirección de propagación de la radiación

solar, a una unidad astronómica (1.495×10^{11} m) fuera de la atmósfera. El Centro de Radiación Mundial (WRC por sus siglas en inglés de *World Radiation Center*), ha adoptado el valor de 1367 W/m^2 ($1.95 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$, $433 \text{ Btu/ft}^2 \text{ hr}$, o $4.921 \text{ MJ/m}^2 \text{ hr}$) (Vanegas Chamorro et al., 2015).

Matemáticamente se la define como la cantidad de energía solar que atraviesa en un minuto una superficie perpendicular a los rayos incidentes con área de 1 cm^2 , que se encuentra a la distancia media existente entre la Tierra y el Sol. El máximo de radiación se encuentra en una longitud de onda de alrededor de los $0.48 \mu\text{m}$. A la radiación proveniente de esta zona del espectro solar se le llama en general radiación de “onda corta”, mientras que a la que se produce en el suelo o en la atmósfera, pero en el rango de $5 \mu\text{m}$ a $100 \mu\text{m}$, se la denomina de “onda larga”.

En la Fig. 1, se muestra el espectro solar en el tope de la atmósfera obtenidos con los datos del Centro Mundial de Radiación Solar (WRC), la integral de la curva del espectro mostrada representa el valor de la constante solar, que es 1367 W/m^2 (Instituto Costarricense de Electricidad, 2006).

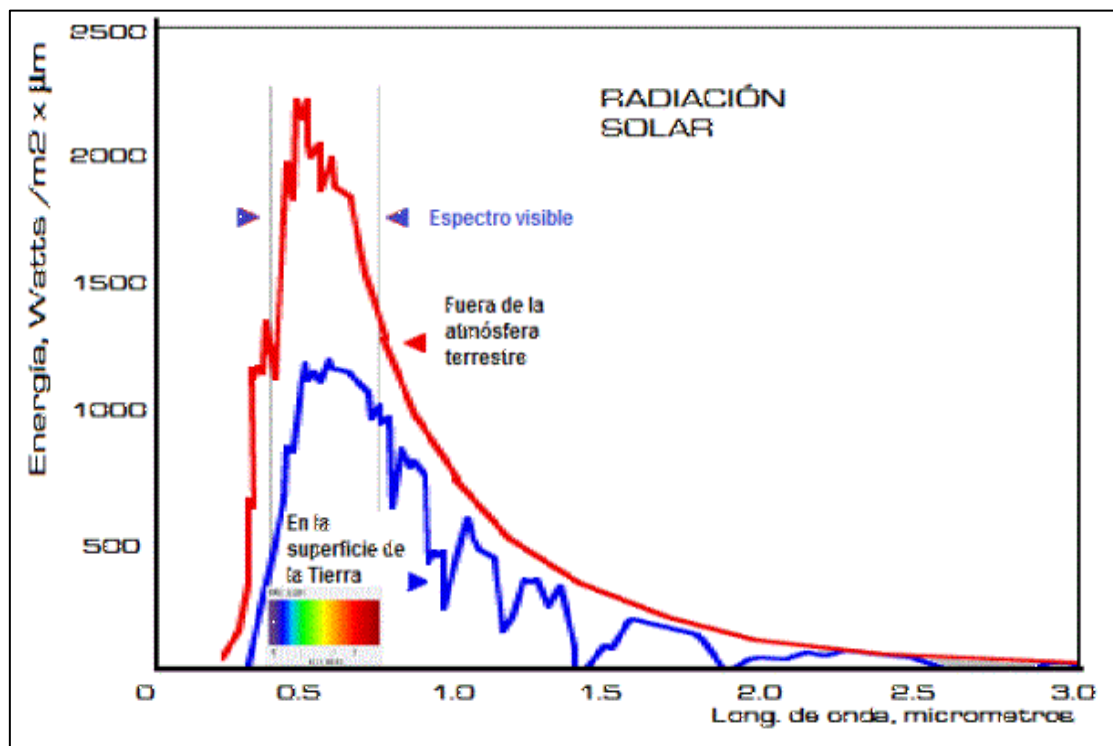


Figura 1. Espectro solar obtenido con los datos del Centro Mundial de Radiación (WRC). **Fuente:** (Instituto Costarricense de Electricidad, 2006).

4.1.4. Unidades de medida de la radiación solar

Magnitudes radiométricas:

Tabla 1. Conversiones útiles para radiación solar

<i>Unidad</i>	<i>Equivalencia</i>
1 Watt (W)	1 J/s
1 Wh	3600 J
1 Wh	3.412 BTU
1 cal	0.001163 Wh
1 cal	4.187 J
1 cal/cm ²	11.63 Wh/m ²
1 MJ/m ²	277.78 Wh/m ²
1 MJ/m ²	23.88 cal/cm ²
1BTU	252 cal
1BTU	1.05506 kJ

Fuente: **Autor**

4.1.5. Tipos de radiación solar

Para facilitar su estudio, la radiación solar se clasifica en:

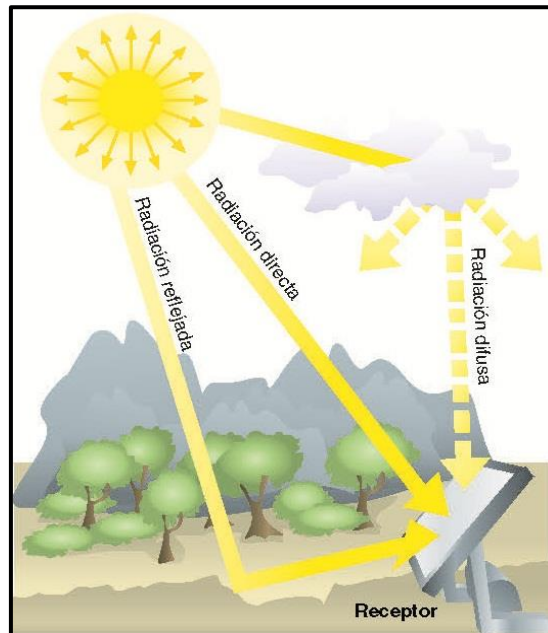


Figura 2. Componentes de la radiación solar. **Fuente:** (CALCULATIONSOLAR BLOG, 2019).

Extraterrestre o extraterrestre

La radiación solar extraterrestre es un valor máximo teórico de la energía solar disponible, por lo que es ampliamente utilizada en el estudio de la radiación solar. Como patrón

básico se toma la constante solar, B_{sc} , que se define como la cantidad total de energía proveniente del Sol, en todas las longitudes de onda, por unidad de tiempo y por unidad de área de una superficie normal a los rayos solares y a la distancia media entre la Tierra y el Sol. La radiación extraterrestre es la que se encuentra fuera de la atmósfera (Moreno tejera, 2012).

Directa

Es la radiación solar que se recibe directamente desde el sol en línea recta, sin que se desvíe en su paso por la atmósfera. Es la mayor y las más importante en las aplicaciones fotovoltaicas.

Difusa

Es la radiación solar que se recibe del sol después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro durante el día, así como por ejemplo en la luna.

Reflejada

Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo o cualquier otra superficie próxima (Mendoza, 2011).

Radiación Global

Es la radiación total, es decir la sumatoria de la Radiación directa + Radiación difusa + Radiación reflejada. La irradiación Global es la radiación total incidente sobre una superficie, ver la Fig. 2.

Para expresar la radiación solar se usan dos magnitudes las mismas que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llegan a una unidad de superficie, las cuales se denominan irradiancia e irradiación.

4.1.5.1. Irradiancia Solar

La irradiancia solar, es la potencia solar que es recibida por unidad de área en forma instantánea como energía/área-tiempo y cuya unidad es el Watt por metro cuadrado (W/m^2). Un Watt equivale a un Joule por segundo (Mendoza, 2011).

4.1.6. Irradiación Solar

La irradiación solar, también conocida como insolación solar y hace referencia a la cantidad de energía solar recibida durante un determinado periodo de tiempo (Mendoza, 2011). Sus unidades de medida son: Wh/m^2 .

4.1.7. Instrumentos de medida de la radiación solar

Los instrumentos utilizados en la medición de la radiación solar se pueden clasificar en dos tipos: piranómetros y pirheliómetros; los mismos que pueden denominarse radiómetros solares, pero con diferentes funciones, como se expondrá más adelante. Además, ambos tienen el mismo tipo de sensor que por lo general consiste en una termopila (unión de varios termopares en un arreglo que optimiza la señal de salida). La termopila es de color negro mate, la cual absorbe la radiación solar incidente, prácticamente en todas las longitudes de onda de la radiación térmica. La temperatura de la termopila aumenta con rapidez sobre la temperatura de referencia, y esa diferencia permite estimar la potencia de la radiación solar en un instante determinado, por lo que ambos dispositivos miden la irradiancia comúnmente en W/m^2 (Pilatowsky, Isaac. García, 2017).

4.1.7.1. Piranómetro



Figura 3. Piranómetro. Fuente: (Pilatowsky, Isaac. García, 2017).

El piranómetro consiste en una termopila montada en una base de gran masa con inercia térmica y está protegida por una cúpula de vidrio transparente para evitar tanto las pérdidas de calor por convección como los efectos de la intemperie (polvo, lluvia, nieve, etc.), véase en la Fig. 3. Los piranómetros son los instrumentos utilizados para medir la radiación global sobre una superficie plana. Con los accesorios especiales también miden la radiación difusa y la total sobre una superficie no horizontal incluyendo la reflejada por otras superficies (Pilatosky, Isaac. García, 2017).

4.1.7.2. Pirheliómetro

El pirheliómetro es un instrumento diseñado específicamente para medir la radiación solar directa, y consiste en una termopila, al igual que el piranómetro, pero con la diferencia, que este se encuentra colocado al final de un cilindro a fin de solo dejar entrar al sensor los rayos que vienen directamente del Sol, tal como se observa en la Fig. 4. La apertura de la lente es de solo 5° como lo marca la norma respectiva (Norma Internacional ISO 9060 y la Organización Meteorológica Mundial) (Pilatosky, Isaac. García, 2017).



Figura 4. Pirheliómetro. **Fuente:** (Pilatosky, Isaac. García, 2017).

Ambos equipos miden la irradiancia en W/m^2 , que son las unidades internacionales para la medición de la radiación solar. Existen otros equipos que se utilizan en aplicaciones donde no se requiere gran precisión, los cuales incorporan sensores fotovoltaicos, que son muy prácticos y de bajo costo. Su principal desventaja es que no son sensibles en todo el

rango de radiación solar por lo que sus lecturas arrojan una incertidumbre que varía entre 3 y 5 %, contra el 1 % en el caso de los piranómetros y pirheliómetros (Pilatosky, Isaac. García, 2017).

4.1.8. Factores que afectan a la radiación solar que llega a la superficie de la tierra o un receptor

La radiación solar que se encuentra disponible en la superficie terrestre por unidad de área y de tiempo, depende de los siguientes factores:

- Latitud del lugar
- Cantidad de cielo cubierto de nubes
- Contenido de vapor de agua y de aerosoles de la atmósfera
- Estación. Día del año (posición de la órbita terrestre)
- Albedo y altitud (Instituto Costarricense de Electricidad, 2006).

4.1.8.1. Latitud

La radiación solar que llega a la superficie de la tierra o un receptor determinado depende de donde esté situado dicho receptor, ya que el nivel de radiación solar es diferente para cada una de las diferentes latitudes terrestres; la posición solar con respecto al punto de recepción, variable a lo largo del día y que determinará el ángulo de incidencia de los rayos solares en la superficie terrestre (Rubio, Ciobotaru, & Peinado, 2015).

4.1.8.2. Nubosidad

Es importante las condiciones atmosféricas, ya que la radiación no será la misma en condiciones de cielo nuboso o cielo despejado, y la orientación del plano de captación, que será testigo de una incidencia más o menos directa, en función de la inclinación y acimut del receptor con respecto al Sol (Rubio et al., 2015).

4.1.8.3. Aerosoles

El aerosol atmosférico se encuentra formado por un conjunto de partículas en suspensión en la atmósfera; el aerosol troposférico se encarga de reducir los niveles de radiación solar significativamente en regiones que se encuentran contaminadas.

Los efectos del aerosol estratosférico van aumentando su importancia en la comunidad científica a partir de la erupción del Monte Pinatubo en el mes de junio de 1991. La distribución de la radiación solar por efectos del aerosol puede reducir la irradiación solar en la superficie para longitudes de onda largas, también puede cambiar el camino óptico de los fotones a mediante el ozono estratosférico obteniendo un aumento de la irradiación en superficie, especialmente para longitudes de onda corta y ángulos cenital solar elevados. El análisis de las medidas espectrales indican el aumento de la razón Difusa/Directa, pero no se encuentran diferencias realmente significativas que afecten a la irradiación global. El aerosol estratosférico también afecta en los niveles de radiación solar que alcanzan la superficie indirectamente, mediante su efecto en la química del ozono estratosférico (Andalucía, 2019).

4.1.8.4. Estaciones

El cambio de las estaciones a lo largo del año se produce al darse la particularidad de que el eje de rotación de la Tierra se encuentra inclinado respecto del plano de la órbita, esto hace que los rayos del Sol incidan de forma diferente a lo largo del año en cada hemisferio (Mendoza, 2011).

4.1.8.5. Albedo y altitud

La reflectividad del suelo influye en la radiación solar tanto en la radiación difusa, así como en la directa. Los datos de albedo suelen tener valores por inferiores al 10% para la vegetación, pero varían para el hielo y puede alcanzar valores del 7 al 75% y para la nieve alcanzan un valor del 20 al 100%. La alta reflectividad es de mucha importancia en la distribución geográfica y estacional de la radiación solar, concretamente en climas fríos.

Los niveles de radiación solar dependen mucho de la altitud sobre el nivel del mar, ya que la disminución de la capa de aire que queda por encima. Así mismo, la radiación solar se eleva con la altitud del lugar aproximadamente un 10% por cada kilómetro de elevación. Al igual que en condiciones meteorológicas, los lugares más altos sobre el nivel del mar reciben más radiación solar que los que se encuentran a nivel del mar (Andalucía, 2019).

Además, hay otros aspectos que influyen sobre la cantidad de radiación solar que puede captar un módulo fotovoltaico o un receptor, como la proyección total o parcial de

sombras sobre su superficie. Este fenómeno puede llegar a reducir la producción del módulo en más de un 90%, por lo que será fundamental realizar un estudio geométrico de las sombras proyectadas a lo largo de un año sobre la superficie terrestre del lugar donde se va a realizar la instalación (Rubio et al., 2015). La cantidad de cielo cubierto de nubes es uno de los factores más importantes debido al alto coeficiente de reflectividad de éstas; así, una nube de unos centenares de metros de espesor es capaz de reflejar más del 70% de la radiación solar incidente (Instituto Costarricense de Electricidad, 2006).

4.1.9. Potencia de la radiación solar para diseñar sistemas fotovoltaicos

El potencial solar, es la energía que se obtiene por la captación de la luz y el calor que emite el sol. La radiación solar que llega a la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que genera, así como también por medio de la absorción de la radiación. Es una de las energías renovables específicamente del grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde (Castro, 2002).

4.1.9.1. Potencial solar para sistemas fotovoltaicos

La potencia de la radiación solar varía según el momento del día, las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiación el valor es de aproximadamente 1000 W/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiancia (Castro, 2002).

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. La radiación solar directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La radiación solar difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que no es posible concentrar la luz difusa que proviene de todas las direcciones (Castro, 2002).

El potencial fotovoltaico para una instalación se define principalmente en función del nivel de radiación solar global sobre una superficie, registrada durante un período de tiempo determinado (Rubio et al., 2015).

Una vez registrado los datos de radiación solar global horizontal y localizado la ubicación donde se va a instalar el sistema fotovoltaico se estudia cual es el potencial real de dicha

instalación y para un análisis de producción apropiado requiere de un estudio de recurso solar minucioso ya que este será la base o punto de partida para determinar la producción energética de la instalación. Por ello, este punto es de vital importancia, que las fuentes de información que aporten datos de irradiación solar global horizontal, tengan la mayor precisión posible (Peña & Esteban, 2016).

4.1.9.2. Radiación solar disponible para diseño de sistemas fotovoltaicos

La obtención de la radiación solar que se produce en el lugar determinado donde se va a realizar una instalación fotovoltaica es importante, tanto para conocer la energía disponible, como para analizar el comportamiento de los componentes del sistema a instalar.

Normalmente se usan los términos de irradiación e irradiancia para conocer la radiación solar disponible. La irradiación (Wh/m^2) es la energía incidente por unidad de superficie durante un periodo de tiempo determinado, mientras tanto que la irradiancia (W/m^2) se refiere a la potencia instantánea que se recibe por unidad de superficie, o expresado de otra manera, es la energía incidente por unidad de superficie y unidad de tiempo.

Para diseñar instalaciones fotovoltaicas, con el objetivo de evaluar la energía mensual que puede generar una instalación fotovoltaica, se deduce el concepto de número de horas de sol pico (HSP), de la localidad donde se va a instalar el sistema y representa las horas de sol disponibles a una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 .

De tal manera, que existen algunas bases de datos de donde se puede obtener información, sobre la irradiación solar global horizontal disponible, en cualquier lugar del mundo (Ingemecánica, 2013).

4.1.9.3. El efecto fotovoltaico

El Efecto Fotovoltaico (FV) es básicamente el proceso mediante el cual una célula FV transforma la luz del sol en electricidad. La luz del sol está constituida por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones corresponden a diferentes energías, de las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV, estos pueden ser reflejados o absorbidos donde únicamente los fotones absorbidos son los que generan electricidad.

Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se traslada a un electrón de un átomo de la célula. Con esta energía trasladada, el electrón está en condiciones de escapar de su posición habitual asociada con un átomo para hacer parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Los componentes más importantes de la célula solar son las capas semiconductoras, ya que es donde se genera la corriente de electrones. Estas capas semiconductoras son tratadas específicamente para formar dos capas diferentes dopadas (tipo p y tipo n) las cuales forman un campo eléctrico, el positivo en una parte y el negativo en otra. Cuando la luz del sol incide en la célula se dispersan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, el cual forma una corriente eléctrica. Por esta razón las células se fabrican partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que se comportan como aislantes a bajas temperaturas y como conductor cuando se le aumenta la energía (Castro, 2002).

4.1.9.4. Sistemas fotovoltaicos

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable que genera electricidad de origen obtenida directamente a partir de la irradiación solar mediante las denominadas células fotovoltaicas, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina. Las células fotovoltaicas que se fabrican con materiales semiconductores son el componente básico de un sistema fotovoltaico. Un número de células solares conectadas eléctricamente entre sí forman un módulo fotovoltaico. Múltiples módulos pueden ser conectados para formar un arreglo, a su vez, estos arreglos pueden ser conectados entre sí en paralelo o serie para obtener más corriente o más potencia determinada. En las últimas décadas, los sistemas fotovoltaicos se han convertido en una forma de producción de energía eléctrica muy efectiva, especialmente en lugares con buena radiación solar, gracias a que su instalación es fácil y el mantenimiento posterior es de bajo costo, lo que permite que los sistemas fotovoltaicos se usen con mucha frecuencia (Salamanca-Avila, 2017).

4.1.9.5. Diseño de sistemas Fotovoltaicos

El diseño óptimo de los sistemas fotovoltaicos es un aspecto muy importante en todas las instalaciones fotovoltaicas. Para el diseño óptimo de los sistemas FV, la mayoría de veces

depende de la variable de radiación solar. Varias metodologías han sido expuestas para el diseño de sistemas fotovoltaicos, algunas de estas son: el diseño intuitivo, analítico y el diseño basado en métodos numéricos. El diseño por método numérico es el más exacto y recomendable, ya que se parte de un diseño intuitivo el cual, por medio de cálculos, determina la configuración óptima del sistema. Otro de los aspectos importantes en la selección del sistema fotovoltaico es el costo, por ello es de vital importancia seleccionar la configuración más económica que satisfaga la necesidad de energía que se va a cubrir con el sistema fotovoltaico. El gran desarrollo computacional y la tecnología han permitido realizar avances importantes en el diseño de sistemas fotovoltaicos con la ayuda del sistema de métodos numéricos, ya que itera muchas opciones las cuales son posibles soluciones al problema, y permite escoger la más óptima (Salamanca-Avila, 2017).

Para el diseño de sistemas fotovoltaicos es indispensable conocer la potencia requerida por la carga y la radiación solar. Este último parámetro representa el recurso energético disponible en una ubicación geográfica determinada. De no conocer la radiación solar global promedio, de un sitio es posible subdimensionar o sobre-dimensionar el sistema fotovoltaico, ocasionando pérdidas económicas o un desaprovechamiento del recurso solar disponible (Sepúlveda, 2014)

4.2. EL RECURSO SOLAR EN EL ECUADOR

4.2.1. Introducción

En la actualidad del Ecuador es un reto el cambio de la matriz energética. Se han realizado esfuerzos para desarrollar aplicaciones utilizando el recurso energético solar en diversos campos, sin embargo, esta tecnología no se ha podido desarrollar apropiadamente, por lo que significa retrasos en la aplicación de sistemas FV y una baja fiabilidad de esta energía renovable referente al consumidor final (Potencial, 2015).

El hecho de encontrarse en el Ecuador en el centro de La Tierra, ha permitido a nuestro país ser beneficiado directamente por la influencia de la irradiación solar. Toda la franja ecuatorial recibe la incidencia de los rayos del sol de forma perpendicular durante todo el año. La irradiación solar es prácticamente constante y de gran magnitud todo el tiempo. Si bien se pueden definir dos estaciones climatológicas en el año, esto no implica que el ángulo de incidencia de la irradiación solar varíe, como es el caso de los países ubicados al norte o al sur del globo terráqueo y que presentan cuatro estaciones climáticas. A lo largo del año se puede encontrar días soleados independientemente de la estación, la variación entre las dos estaciones está en las precipitaciones lluviosas. En verano los días soleados se presentan con gran cantidad de viento y en invierno los días soleados son seguidos por fuertes precipitaciones en horas de la tarde principalmente. Las diferencias radican en la cercanía al sol en cada época del año. En los meses de julio y agosto el planeta Tierra se encuentra en la posición más cercana al Sol dentro de su órbita (verano). En enero y febrero la Tierra se encuentra en el punto más lejano al Sol dentro de su órbita (invierno) (Potencial, 2015).

Debido a la irradiación en dirección perpendicular que recibe nuestro país durante todo el año, todo el territorio nacional recibe gran cantidad de energía solar; la intensidad irradiación varía por muchos aspectos pero principalmente por la nubosidad propia de cada lugar específicamente en la época invernal. El aprovechamiento de la energía solar, es sin duda un recurso que al ser utilizado de manera óptima permitirá cubrir varias necesidades energéticas.

Para la generación de energía eléctrica, por medio de concentración de calor o por paneles fotovoltaicos se debe conocer la magnitud de las diferentes componentes de la irradiación solar y para el caso de energía eléctrica, la insolación. Es necesario conocer la insolación

difusa y directa, para obtener la insolación global, que finalmente es la que se aprovecha (Potencial, 2015).

El Ecuador dispone de un recurso relativamente elevado de alrededor de 4,6 kWh/m² diarios, tal como refleja el Atlas Solar que corresponde a unos 200 W/m² de irradiancia media o a unos 1.680 kWh/m² anuales (CONELEC, 2013).

De acuerdo con este Atlas solar, las zonas con valores más altos del recurso solar son las provincias de Pichincha, Imbabura, Chimborazo y Loja, con valores medios diarios entre 5.5 y 6.0 kWh/m²/año (INER, 2016).

4.2.2. Estudios existentes en el Ecuador

Las primeras investigaciones desarrolladas, relacionadas con el recurso solar en Ecuador, se han basado principalmente en los datos registrados por las estaciones meteorológicas del INAMHI, registrando datos de irradiación solar global (Wh/m²/día) y heliofanía (h/día) (INECEL, 1981). Las estaciones registraron la irradiación solar global a nivel del suelo con instrumentación básica y registro manual de datos, la duración diaria de insolación directa en las estaciones de primer orden y la insolación directa mensual en estaciones de segundo orden (heliofanía diaria y mensual) (Perata et al., 2013).

Con el uso de esos datos que van desde el año 1968 hasta el año 1980, se elaboró el primer “Estudio del Potencial Solar y Eólico del Ecuador”, realizado por el INECEL (Instituto Nacional Ecuatoriano de Electrificación) y el INE (Instituto Nacional de Energía), en cual fue publicado en el año de 1981, el mismo que no se pudo concluir debido a la falta de información por las estaciones meteorológicas (INECEL, 1981). Este estudio realizado por el INECEL afirmó, que no se logró determinar el verdadero potencial solar existente en el Ecuador, debido a la falta de información en la mayoría de las estaciones meteorológicas (Potencial, 2015).

Posteriormente dentro del Proyecto OPET (Red de Organismos para la Protección de Tecnologías Energéticas) América Latina y Caribe, realizado en el 2005 por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), el cual realizó un levantamiento de la información existente local e internacional, estimando que el Ecuador debido a su situación geográfica, tiene un alto potencial solar. La radiación media es de alrededor de 3-4 kWh/m²/día (Perata et al., 2013).

En agosto de 2008 el CONELEC, se publica el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”, el mismo que realizó la Corporación para la Investigación Energética - CIE. Basándose principalmente en la información obtenida del Nacional *Renewable Energy Laboratory* - NREL de los Estados Unidos, es necesario mencionar que esta información es estimada y su validación no ha sido realizada. En la práctica según el CONELEC en el Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 2009-2020, expresa que es necesario instalar medidores de radiación solar que permitan conocer mejor los niveles de radiación solar y robustecer la base de datos del atlas solar del Ecuador (CONELEC, 2013).

Finalmente, en enero del 2020 se publica el mapa solar del Ecuador 2019, un proyecto de investigación de la Escuela Politécnica Nacional. En este mapa solar, se realiza una comparación de los datos de irradiación solar global del NREL, con datos de irradiación global horizontal (IGH) de 41 estaciones meteorológicas pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), dichas comparaciones permitirán conocer la precisión de los datos satelitales del NREL (Vaca & Ordoñez, 2020).

4.2.2.1. Estudios realizados en la Región Sur del Ecuador

Algunos de los estudios relacionados con el recurso solar en la Región Sur del Ecuador, corresponden principalmente a docentes investigadores de la Universidad Nacional de Loja, tales como (Álvarez & Montaña, 2015; Álvarez et al., 2014; Alvarez, Montaña, Maldonado, & Luna, 2017).

En uno de estos estudios se calculó datos de la radiación solar teórica en la Región Sur de Ecuador, específicamente en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, mediante el modelo de Hottel, en el cual, se considera los efectos de la nubosidad, así mismo por las superficies de sombra orográfica. Se muestran los mapas de las sumas mensuales de enero y agosto y el de promedio anual de radiación solar global en el que se considera los valores de altitud sobre el nivel del mar obtenidos mediante el modelo numérico de altitud de la RSE. Además se analiza los posibles efectos producidos por la orografía (se discuten los métodos utilizados). Finalmente se elaboran conclusiones recomendaciones (Álvarez & Montaña, 2015). En otro de los estudios se realiza una

aproximación de manera similar pero se considera, la presencia de nubosidad y tomando en cuenta la transmitancia atmosférica, el ángulo cenital del sol, la altura sobre el nivel del mar y el tipo de clima (Hernández, Montaña, & Quentin, 2014).

Por último, se presenta una estimación de la radiación solar que se podría obtener en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, Región Sur de Ecuador (RSE) utilizando imágenes del Satélite Geoestacionario GOES-Este, y los datos de irradiación global obtenidos en una red de cinco estaciones automáticas ubicada en la RSE a partir de las cuales se obtuvo un modelo teórico, mediante análisis de regresión múltiple entre las bandas RGB (Red, Green, Blue) de las imágenes Visible e Infrarroja del GOES y los datos instantáneos de irradiación global en las estaciones meteorológicas. Se presentan los datos de radiación global para una muestra independiente de días seleccionados, así como mapas de radiación global en la RSE para los días seleccionados. Los resultados obtenidos se comparan mediante modelos teóricos. Se elaboran conclusiones recomendaciones (Alvarez et al., 2017).

4.2.3. Fuentes de información de potencial solar en el Ecuador

Se han realizado diversos estudios aislados sobre el potencial de la energía solar, que presentan información preliminar la cual en la mayoría de los casos no se ha podido validar principalmente por la falta de información histórica (Recursos, 2012).

4.2.3.1. Datos satelitales

La disponibilidad de datos de radiación solar es insuficiente e imprecisa tanto espacial y temporalmente, por lo tanto, los datos satelitales, pueden representar una potencial solución para éste problema (Sayago, Bocco, & Ovando, 2011).

Para la evaluación de potenciales instalaciones de plantas fotovoltaicas se suele utilizar estimaciones satelitales de irradiación solar. La desventaja de esta información radica en que suelen usarse pocas estaciones que miden la irradiación solar sobre la superficie terrestre, para evaluar los modelos de datos satelitales (Righini & Aristegui, 2016).

Algunos modelos antiguos y actuales poseen una resolución espacial muy variable. En los últimos años los nuevos satélites poseen mayor resolución espacial lo que ayuda a mejorar la calidad y precisión de los datos (Righini & Aristegui, 2016).

4.2.3.2. Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica

La Corporación para la Investigación Energética, dentro de su labor de investigación en el campo de las energías renovables y eficiencia energética para usos productivos y protección ambiental, ha elaborado el “**Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica**”, el mismo que representa la Radiación Solar en el Ecuador, con fines de generación eléctrica”, para el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC).

Para la elaboración del presente Atlas solar, la CIE utilizó el modelo CRS (*Climatological Solar Radiation Model*), desarrollado por el *National Renewable Energy Laboratory - NREL* de los Estados Unidos (CONELEC, 2013). Luego de un proceso de filtración de los datos del modelo CRS, la Corporación seleccionó aquellos datos que corresponden al Ecuador, los cuales fueron exportados a una base de datos compatible con el Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizado (CONELEC, 2013).

4.2.3.3. Mapa solar del Ecuador 2019

En el mapa solar del Ecuador 2019, se realiza una comparación de los datos de irradiación solar global del NREL, con datos de irradiación global horizontal (IGH) de 41 estaciones meteorológicas de propiedad del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), dichas comparaciones permitirán conocer la precisión de los datos satelitales del NREL.

Para la elaboración de este documento, se realizó una cuantificación de la precisión de las estimaciones satelitales IGH, obtenidos mediante NSRDB respecto a las mediciones terrestres del territorio Ecuatoriano, para ello se usaron indicadores estadísticos de dispersión, raíz del error cuadrático medio (RMSE) y error de sesgo medio (MBE). Adicionalmente para verificar el ajuste de las 2 series de datos se usó el test de *Kolmogorov-Smirnov* (KS test), este es un test usado específicamente para validar series de datos de radiación solar estimados frente a los datos de radiación solar medidos (Vaca & Ordoñez, 2020).

4.2.3.4. Datos reales de estaciones meteorológicas

En la Región Sur del Ecuador, existen estaciones meteorológicas para medir el recurso solar pertenecientes al INAMHI. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

(INAMHI) cuenta con 519 estaciones meteorológicas repartidas en todo el territorio ecuatoriano. De las cuales 5 estaciones del INAMHI son de interés para esta investigación ya que poseen bases de datos históricos de mediciones de irradiancia horizontal global (IGH) (INAMHI, 2014).

En los últimos años se han implementado algunas estaciones meteorológicas, debido a estudios realizados por instituciones públicas proponen que la energía solar en Ecuador puede ser altamente aprovechada. Además, el cambio de matriz energética que plantea el plan nacional para el buen vivir señala que Ecuador impulsa los proyectos con energías renovables, entre las cuales la energía solar es una de la principales fuentes de energía a utilizar (Vaca Revelo, 2018). Para el desarrollo de proyectos con tecnologías solares es esencial conocer en el lugar más óptimo para su instalación mediante bases de datos de irradiación o mapas solares, que garanticen su confiabilidad.

Estaciones meteorológicas

Una estación meteorológica es un lugar escogido adecuadamente para colocar los diferentes instrumentos que permitan medir las distintas variables que afectan al estado de la atmósfera. Es decir, es un lugar que nos permite la observación de los fenómenos atmosféricos y donde hay instrumentos que miden las variables atmosféricas. La mayoría se encuentran al aire libre, pero otros, aunque también se encuentran al aire libre, deben estar protegidos de las radiaciones solares para que estas no les alteren las mediciones, el aire debe circular por dicho interior (Luna, 2014).

Clasificación de las estaciones meteorológicas

De acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las estaciones meteorológicas se clasifican de la siguiente manera:

Una estación meteorológica puede tener diferentes fines, dependiendo de los propósitos para los cuales fue instalada (Ver Tabla 2). La información se utiliza en varias aplicaciones u observaciones adicionales que le dan sus características. Por consiguiente, en una estación meteorológica pueden conjugarse dos o más categorías simultáneamente (Luna, 2014).

Tabla 2. Clasificación de las Estaciones Meteorológicas

<i>Finalidad</i>	<i>Clasificación</i>
Sinóptica:	Climatología
	Agrícolas
	Especiales
	Aeroneumáticas
	Satélites
Por la magnitud de las observaciones:	Principales
	Ordinarias
	Auxiliares o adicionales
Por el nivel de observación:	Superficie
	Altitud
Según el lugar de observación:	Terrestre
	Aéreas
	Marítimas

Fuente: Elaborado por el Autor, basado en (Luna, 2014).

Cómo funciona una estación meteorológica

La mayor parte de la estación meteorológica está automatizada requiriendo un mantenimiento ocasional. Existen observatorios meteorológicos sinópticos, que cuentan con personal (observadores), de forma que además de los datos anteriormente señalados se pueden recoger aquellos relativos a nubes, visibilidad y tiempo presente y pasado. La recogida de estos datos se denomina observaciones sinópticas. Otras instalaciones meteorológicas menos comunes, disponen de instrumental de sondeo remoto como radar meteorológico para medir la turbulencia atmosférica y la actividad de tormentas. Estas y otras variables pueden obtenerse mediante el uso de globos sonda (Luna, 2014)

4.3. DISEÑO WEB

El diseño web es una planificación que se realiza para ingresar uniformemente el contenido y la información en una página web, en la que se toma en cuenta la navegabilidad, interactividad, arquitectura de la información, la usabilidad y la interactividad que existirá en dicha la página (Bueno Vera, 2014).

Un buen diseño web, basado en jerarquías bien elaboradas de contenidos, aumenta la eficiencia del sitio web como un medio de comunicación e intercambio de información y todo tipo de datos que ofrece el contacto directo entre el usuario y el creador de contenido del sitio web.

4.3.1. Sitio web

Un sitio web es un conjunto de páginas web, con los archivos necesarios para poder presentarla y administrarla adecuadamente. Un sitio web siempre vendrá antecedido por las siglas www y precedido por el nombre de la institución, empresa o nombre identificativo del sitio y al final tiene las siglas .com, .org, que es para establecer a que tipo e organización pertenece. Un dominio siempre hace referencia en función a sus contenidos. En internet podemos encontrar varios tipos de sitios web, los cuales suelen diferenciarse por el contenido que presentan o por los servicios que prestan a los usuarios. Entre estos tipos de contenidos encontramos los blogs los cuales son como una bitácora en donde se publican ciertos acontecimientos de la vida diaria, de sus gustos, de sus profesiones o aficiones sea del mismo o algo en particular. De la misma manera, existen blog que actúan como un diario y se escribe los acontecimientos que le suceden al sujeto diariamente (Bueno Vera, 2014).

4.3.1.1. Página web

Una página web es conjunto de líneas de código escritas en programación HTML, la cual se puede observar mediante un navegador, el cual presenta de una forma ordenada el texto, imágenes, animaciones, banners, publicidades y otros componentes que permiten la interactividad del sitio web.

4.3.2. Funcionalidad de un sitio web

Para que un sitio web pueda funcionar correctamente se necesita de varios elementos, en primer lugar es necesario un servidor web o Hosting que no es más que una computadora con capacidad para estar conectada las 24 horas los 365 días del año a Internet, en este se alberga el sitio web el cual es descargado al equipo que solicita visualizarlo tecleando el dominio o dirección web. Esto nos lleva al siguiente elemento para que funcione un sitio web que es el dominio, un Dominio o Dirección Web es un nombre en la red, el cual es amigable y fácil de recordar para los humanos y que tiene una terminación en .com, .net, .org u otros. Lo que hace un dominio es que cuando es tecleado busca en los DNS (sistema de nombres de dominios) la Dirección IP a la que está asociado y redirige al servidor al que apunta el dominio para poder descargar y visualizar la página web solicitada (Bustamante Saca, 2013).

4.3.2.1. Hosting

Según, Manuela Vera Colas, define al alojamiento web como: “El alojamiento web (en inglés web hosting) es el servicio que provee a los usuarios de internet de un sistema para poder almacenar información, imágenes, videos o cualquier contenido accesible vía web. Hosting es un servicio, el cual permite el almacenamiento de la información en la web, con la utilidad que es un servidor web que almacena toda la información que contiene dicho portal, creando un hospedaje para los archivos que serán publicados en el portal web.

Es decir, es un espacio disponible en internet que permite agrupar la información que se aloje en el mismo, dando como resultado que siempre esté disponible en internet, con el objetivo que los visitantes accedan a los mismos (CASTRO COELLO, 2010).

4.3.2.2. Dominio

Según, Manuela Vera Colas, define dominio así: “Un dominio es la denominación para identificar a una persona, empresa o institución que requiere aparecer en el mundo virtual de internet”.

Dominio es el nombre que se le asigna a la dirección web del portal web, que hará visible los recursos almacenados en el hosting, es la dirección con la cual se realiza el llamado a los componentes (páginas webs) alojados en el servidor web (hosting), al cual se puede

acceder desde cualquier dispositivo que tenga acceso al internet (CASTRO COELLO, 2010).

4.3.3. Herramientas de desarrollo web

A continuación, se exponen algunas de las herramientas con las que se podría realizar una página web:

- ***HTML5***

Es un lenguaje semántico de creación de páginas web en la que los elementos forman bloques de construcción. Éstos son definidos mediante etiquetas semánticas (Joyanes Aguilar, 2008).

- ***CSS3***

Conocido también como hojas de estilo en cascada, es un lenguaje utilizado para describir la presentación de páginas Web, incluye los colores, el diseño y las fuentes. Permite adaptar la presentación a diferentes tipos de dispositivos, como pantallas grandes, pantallas pequeñas o impresoras. CSS es independiente de HTML y se puede utilizar con cualquier lenguaje de marcado basado en XML. La separación de HTML de CSS facilita el mantenimiento de sitios, comparte hojas de estilo entre páginas y adapta páginas a diferentes entornos. Esto se conoce como la separación de la estructura o contenido de la presentación (Broncano, 2009).

- ***JavaScript***

Es un lenguaje de programación que se ejecuta al nivel del cliente, concretamente, en el navegador web, y que no requiere ningún software del lado del servidor. Algunas de las funcionalidades que se podrían aplicar a nuestro proyecto serían los formularios, la calculadora de financiación y algunos scripts de medición, como por ejemplo los que proporciona Google para Google Analytics, que es una herramienta de análisis relacionada con el tráfico de tu sitio web (Joyanes Aguilar, 2008).

A continuación, se exponen algunas de las aplicaciones con las que se podría realizar el proyecto en estos lenguajes:

- ***Adobe Dreamweaver***: Es un editor de código, desarrollado por Adobe, que dispone como elemento característico de un editor gráfico adicional al editor de líneas de código. Su mayor ventaja es que es compatible con varios sistemas operativos. Pero su principal desventaja es que es de pago y en ocasiones el editor gráfico no muestra

correctamente lo definido en el editor de líneas de código, lo cual induce a errores (Bueno Vera, 2014).

- **CMS**

Es un sistema de gestión de contenidos (CMS por sus siglas en inglés: *Content Management System*) para páginas web con funcionalidades extras aplicadas principalmente a la publicación. Su interfaz administrativa facilita la creación y publicación de contenidos, además de administrar otras funciones más avanzadas como: la modificación del estilo de la página o agregar funcionalidades extra a través de plugins, de una manera simple para facilitar las tareas a usuarios con conocimientos menos avanzados de programación esto debido a que son aplicaciones de código abierto. (Valencia & Samitier, 2017).

- **Código abierto:** Un software libre o de código abierto es aquel que su código fuente puede ser modificado, copiado y utilizado, dicho código fuente puede ser modificado de acuerdo a las necesidades de sus desarrolladores que desean innovar en el mundo de la programación sirviendo de utilidad ante lo que desean construir. A diferencia del software no libre también es llamado software propietario, es un software privativo y hace referencia a cualquier programa informático en el que los usuarios tienen limitadas las posibilidades de usarlo, modificarlo o redistribuirlo, ya que su código fuente no está disponible o el acceso a este se encuentra restringido (Culebro Juárez, Gómez Herrera, & Torres Sánchez, 2006).

Gestores de contenidos más utilizados

Entre los gestores de contenidos que se utilizan para la creación de portales o sitios web se encuentran Joomla!, PrestaShop y WordPress los mismos que se detalla a continuación:

- **Joomla!**

Es un CMS gratuito de código abierto con gran cantidad de temas y aplicaciones para publicar contenido web. Se basa en un marco de aplicación web modelo-vista-controlador que le permite crear potentes aplicaciones en línea. Joomla! es uno de los softwares de sitios web más populares, gracias a su comunidad global de desarrolladores y voluntarios, que se aseguran de que la plataforma sea fácil de usar, ampliable, multilingüe, accesible, receptiva, optimizada para motores de búsqueda y mucho más (Joomla!, 2018).

- ***PrestaShop***

Es un CMS de código abierto especializado en la creación de sitios web dedicados concretamente a las ventas online (PrestaShop, 2019). Por tanto, se descarta esta herramienta.

- ***WordPress***

Es el CMS de código abierto más extendido. De igual manera que Joomla dispone de gran cantidad de temas y plugins tanto gratuitos como de pago. También es un sistema combinado de PHP y MySQL. Su interfaz administrativa es de las más intuitivas y las más utilizadas en el mundo (WordPress, 2019).

4.3.4. WordPress

WordPress es un sistema de gestión de contenidos desarrollado en PHP, bajo licencia GPL¹, para entornos que ejecuten MySQL y Apache. Este sistema permite a usuarios finales la gestión de contenidos de un sitio web a través de una interfaz de administración sin necesidad de conocimientos técnicos en programación. Existe un amplio conjunto de temas o plantillas HTML que ofrecen sitios web ya completos a falta de la introducción de contenidos (Segarra, 2014).

• ***PHP***

Son las siglas en inglés del acrónimo (*Hypertext Pre-Processor*), es decir, pre-procesador de hipertexto. PHP es un lenguaje de código abierto muy popular, adecuado para desarrollo web y que puede ser incrustado en HTML. Es popular porque un gran número de páginas y portales web están creadas con PHP. Código abierto significa que es de uso libre y gratuito para todos los programadores que quieran usarlo. Incrustado en HTML significa que en un mismo archivo vamos a poder combinar código PHP con código HTML, siguiendo unas reglas (Escobar Arraigada & Lagos Llancao, 2006).

PHP se utiliza para generar páginas web dinámicas. Recordar que llamamos página estática a aquella cuyos contenidos permanecen siempre igual, mientras que llamamos páginas dinámicas a aquellas cuyo contenido no es el mismo siempre. Por ejemplo, los contenidos pueden cambiar en base a los cambios que haya en una base de datos, de búsquedas o aportaciones de los usuarios, etc (Joyanes Aguilar, 2008).

¹ GPL: Licencia Pública General de derecho de autor ampliamente usada en el mundo del software libre y código abierto.

- **MySQL**

Es un sistema de gestión de bases de datos relacionales (SGBDR) que provee una solución robusta a los usuarios con poderosas herramientas multiusuario, soluciones de base de datos SQL (*Structured Query Language*) multihilo. Una base de datos relacional archiva datos en tablas separadas en vez de colocar todos los datos en un gran archivo. Esto permite velocidad y flexibilidad. Las tablas están conectadas por relaciones definidas que hacen posible combinar datos de diferentes tablas sobre pedido (Escobar Arraigada & Lagos Llancao, 2006).

- **Apache**

Es un software especializado en ofrecer servicios de servidor web. Es versátil, ligero y muy útil, además de ser completamente gratuito y de código abierto. Su popularidad es tal que, actualmente, cerca del 50% de las páginas web de todo el mundo se ejecutan en un servidor de este tipo. Aunque se le conoce así, su nombre completo es Apache HTTP Server, y sus responsables tienen también un nombre similar: *Apache Software Foundation*. Esta es la firma responsable de todo el código que da forma a este software para servidores, que cualquiera puede utilizar sin necesidad de pagar, como también modificar a su total antojo al ser completamente abierto (Joyanes Aguilar, 2008).

Apache sirve para mostrar toda la información en pantalla cuando un usuario realiza una búsqueda web. Es el software que se encarga de acceder a los ficheros alojados en el servidor para mostrar sus contenidos a petición del visitante y así, permitir que este pueda navegar con total facilidad por la web sin toparse con problemas o contenido bloqueado. Sirve para que una web funcione, refiriéndose específicamente a su objetivo principal y el más esencial. A partir de ahí, podríamos hablar de él incluso como del factor esencial para que cualquier compañía pueda gozar de presencia en la red y acercarse a la audiencia digital, sin él, sería imposible (Escobar Arraigada & Lagos Llancao, 2006).

4.3.4.1. Características de WordPress

Por otro lado, WordPress ofrece a los desarrolladores la posibilidad de crear temas o plantillas propias y así desarrollar webs a medida que puedan ser gestionadas desde la interfaz de administración de WordPress. También existen una gran variedad de plugins que permiten extender la funcionalidad de WordPress añadiendo características y funciones como: gestión de varios idiomas, servicio anti-spam, funciones para

eCommerce, etc. Al igual que con las plantillas, también podemos desarrollar nuestros propios plugins (WordPress, 2019).

Teniendo en cuenta que WordPress es la herramienta que se va a utilizar en este proyecto se menciona algunas características:

- Herramienta de código abierto (gratuita)
- No necesita hacer un tratamiento especial de datos a utilizar, se compone de entradas, páginas y servicios vía plugin programado con PHP
- Sistema sencillo de gestión de usuarios
- El desarrollo se puede mejorar en el futuro por medio de plugins
- Su seguridad es fácil de administrar utilizando algunas complementarias
- Fácil gestión del contenido para el usuario final
- Pronunciada curva de aprendizaje y fácil desarrollo
- Extensa comunidad de desarrolladores y soporte.

4.3.4.2. Herramientas para gestionar un sitio web en WordPress

WordPress nos ofrece varias herramientas para modificar y gestionar nuestro sitio web (Ver Fig. 5.), a continuación se menciona y explica las más relevantes o los que a nosotros nos han sido de mayor utilidad:

Escritorio: Es la ventana principal de WordPress. Aquí se encuentran algunos elementos como, por ejemplo, los datos de publicación (número de entradas, páginas, comentarios, etc.), la actividad reciente, un borrador rápido, noticias del mundo de WordPress y otros elementos agregados mediante plugins (Valencia & Samitier, 2017).

Actualizaciones: En esta opción se podrá ver todo lo relacionado a las diferentes actualizaciones disponibles para WordPress, incluyendo la versión de la plataforma, temas y plugins (Teo, Domínguez, Es, & Blog, 2016).

Entradas: Para crear un blog, una página principal o una sección de blog secundaria, las entradas son piezas de contenido que se pueden ir publicando en él. En otras palabras, cada actualización de un blog es una entrada o artículo. Adicionalmente, en esta sección se podrá agregar y modificar tanto categorías y etiquetas, como las propias entradas.

Medios: Es un gestor de contenido multimedia con el que agregar imágenes, archivos y hasta pequeños vídeos para usarlos en entradas o páginas (WordPress, 2019).

Páginas: Las páginas funcionan para publicar contenido e información más estática y sin cambios. Si se orienta a un sitio más corporativo o informativo, como es este caso, las páginas son el principal medio de publicación. A diferencia de las entradas, no tienen fecha de publicación (Valencia & Samitier, 2017).

Comentarios: Es el área en donde se administran todos los comentarios que se van publicando, ya sea en el blog o en las páginas. Se pueden editar, eliminar o mandar al SPAM. También se puede escoger entre dos opciones: verlos y aprobarlos, o que se publiquen automáticamente.

Apariencia: En esta sección se pueden agregar, instalar o eliminar temas, administrar los Widgets, crear y modificar menús, editar el código CSS de tu tema, y también personalizar el título y la portada estática de tu tema (la página de inicio).

Plugins: Los plugins son componentes de código abierto, es decir, programas que se instalan en WordPress para ampliar su funcionalidad estándar (WordPress, 2019).

Funcionan de manera muy parecida a las extensiones o complementos para los navegadores web y están hechos con las mismas tecnologías que WordPress, es decir, están programados en PHP, y usan HTML, hojas de estilo CSS y JavaScript para la parte de interfaz de usuario (Lillo Marco, 2016).

La utilidad de los plugins, es que con ellos se puede implementar prácticamente cualquier cosa que te puedas imaginar y es eso lo que hace WordPress tan versátil y tan potente hasta el punto de que, en realidad, vale para mucho más que para montar solamente blogs. Muchas veces se usa, por ejemplo, para webs de mediana complejidad que no son un blog como, por ejemplo, webs corporativas o sitios de comercio electrónico (Teo et al., 2016).

Usuarios: Aquí, se puede modificar el perfil, agregar links de redes sociales, cambiar el alias, e-mail e información básica. Si otras personas van a editar tu sitio o publicar contenido, en esta sección se pueden crear un perfil y definir su rol en base a lo que se vio en la fase de preproducción (Teo et al., 2016).

Herramientas: Importar y exportar son las opciones disponibles al principio. Al instalar ciertos plugins, su panel de opciones podría aparecer en esta sección (WordPress, 2019).

Ajustes: toda la configuración básica de WordPress se hace en esta parte. De entrada, se tendrá acceso a configurar las opciones generales, de escritura, de lectura, de comentarios, de medios y de enlaces permanentes. También se podrán modificar las opciones de cualquier plugin que instalemos en esta sección.



Figura 5. Herramientas de WordPress **Fuente:** Autor.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. MATERIALES

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se utilizará los siguientes recursos y materiales los mismos que han facilitado el proceso de la investigación:

- Artículos científicos
- Computadora
- Paquete de Microsoft Office
- Libros, Revistas, Investigaciones, reportes institucionales, tesis
- Materiales de oficina
- Internet
- Google Maps
- Google Earth
- Adobe Illustrator
- Adobe Photoshop
- WordPress
- Mendeley
- PVsyst
- Meteonorm
- Microsoft Visio.

5.2. MÉTODOS

El principal objetivo de este proyecto, es desarrollar una metodología que permita la obtención del potencial solar en la Región Sur del Ecuador. Para ello se realiza la búsqueda y recopilación de información relacionada con el tema de investigación, de esta manera se obtiene una visión clara sobre el presente tema. Esta búsqueda bibliográfica se realizará en libros, revistas, investigaciones, páginas web, que contengan información que genere un apoyo el desarrollo del proyecto de tesis, basándose en esta información se plantea la siguiente metodología mostrada en forma resumida en la Fig. 6.

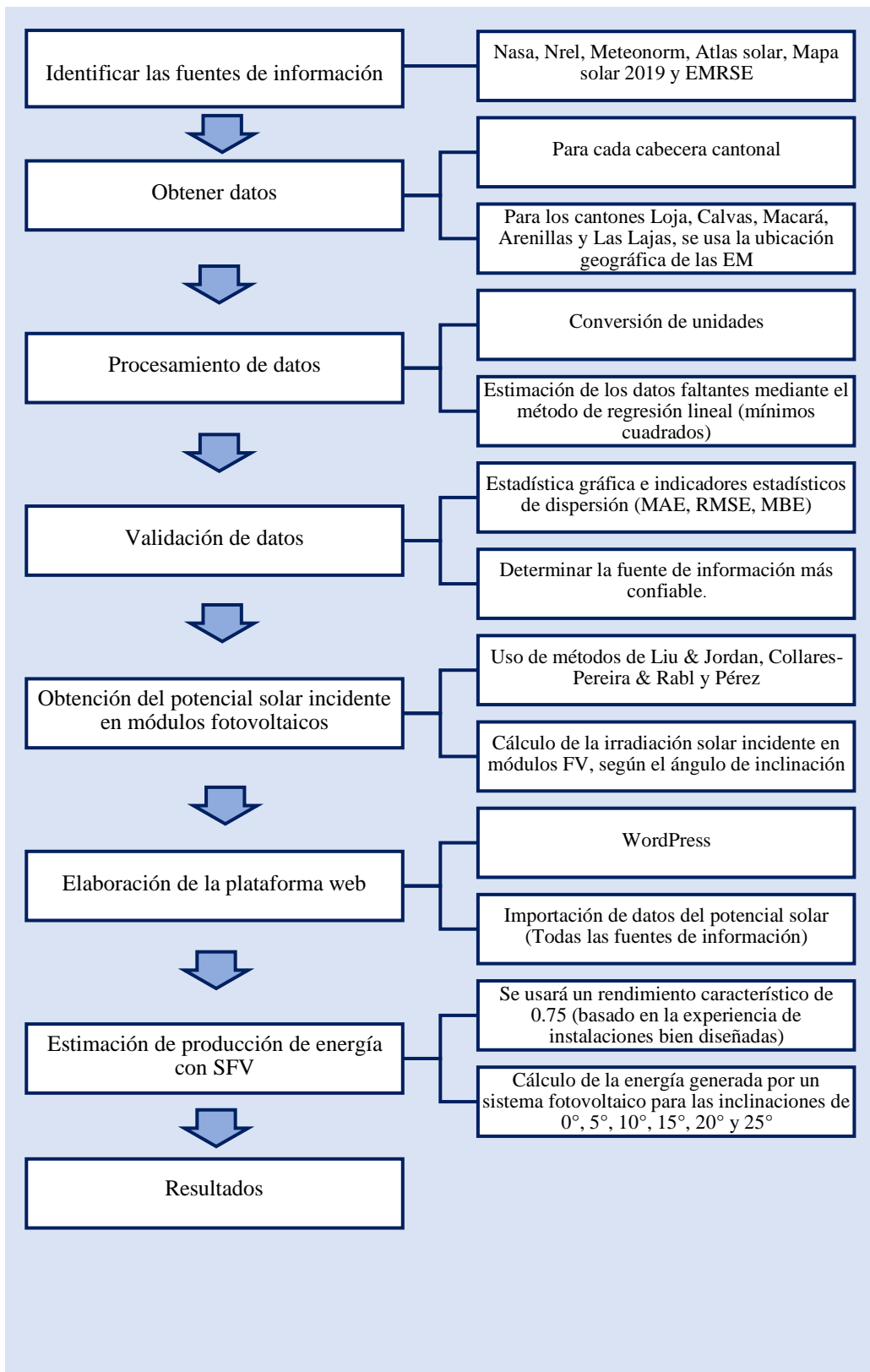


Figura 6. Esquema de la metodología propuesta en la presente investigación. **Fuente:** Autor

Para empezar se identifica las fuentes de información más importantes que proporcionan datos estimados y reales de irradiación solar en la Región Sur del Ecuador, en base a la revisión bibliográfica antes realizada, dichas fuentes de información se clasifican en fuentes de datos estimados (satelitales y Atlas solares) y reales (estaciones meteorológicas de la RSE).

Posteriormente, se obtiene los datos de IGH y temperatura de cada una de las fuentes de información identificadas anteriormente. Seguidamente, se organiza, procesa y valida los datos recolectados (satelitales y reales de la RSE), A continuación, se obtiene el potencial solar para cada cabecera cantonal, a partir de los datos de la fuente de información que presente mayor índice de confiabilidad en sus datos.

Finalmente, se elabora una página web permitirá la búsqueda e interpretación datos del potencial solar obtenidos en la Región Sur del Ecuador (todas las fuentes usadas en esta investigación y el potencial solar en el plano de captación). Adicionalmente dicha página web, contará con una herramienta de cálculo que estime la producción de energía mediante sistemas fotovoltaicos.

5.3. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio del presente trabajo es en la Región Sur del Ecuador, actualmente se denomina zona 7 del Ecuador, se encuentra localizado entre las coordenadas 3°30' y 5°0' de latitud sur y 78°20' y 80°30' de longitud oeste; se encuentra limitada al norte con la Provincia del Guayas, Azuay y Morona Santiago, al sur y oriente con Perú, al occidente con Perú y el océano Pacífico. Según la división política administrativa de la zona 7 del Ecuador, está comprendida en tres provincias: El Oro, con 14 cantones y 49 parroquias; Loja, con 16 cantones y 78 parroquias; y Zamora Chinchipe, con nueve cantones y 28 parroquias (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2015).

La Zona 7 posee una superficie de 27491.9 Km² que representa el 11% del territorio ecuatoriano, distribuido en sus tres provincias El Oro (5866.6 Km²), Loja (11065.6 Km²) y Zamora Chinchipe (10559.7 Km²) (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2015).

5.4. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE DATOS DE POTENCIAL SOLAR EN EL ECUADOR

La radiación solar en el Ecuador puede ser obtenida de diferentes fuentes de información en este apartado se seleccionará las bases de datos a utilizar en este estudio como son: estimados (satelitales, Atlas Solar del Ecuador) y reales (Estaciones Meteorológicas).

5.4.1. Bases de datos satelitales de radiación solar para el Ecuador

Las principales fuentes de información (Tabla 3), que proporcionan datos satelitales de radiación solar para el Ecuador son los siguientes:

Tabla 3. Fuentes de datos de radiación solar en Ecuador

<i>Nombre</i>	<i>Registro</i>	<i>Resolución temporal</i>	<i>Cobertura espacial</i>	<i>Resolución espacial</i>	<i>Carácter</i>
NASA SSE	1983 hasta 2005	Promedio diario, mensual y anual	Global	1 grado	Gratuito
NSRDB NREL	1991 hasta 2004	Horario	Estados Unidos	Malla de 10 km por 10 km	Gratuito
NSRDB NREL	1991 hasta 2009	Horario	Estados Unidos	Malla de 10 km por 10 km	Gratuito
NSRDB NREL	1998 hasta 2017	Cada 30 minutos	Entre las longitudes 25°W y 175°W, y entre las latitudes - 20°S y 60°N	Malla de 4 km por 4 km	Gratuito
Meteonorm	1981	Promedio Anual	Todo el Mundo	1 km x 1 km	Pagado
PVSyst	-	Promedio Anual	Todo el Mundo	Usa datos de la Nasa	Pagado

Fuente: Autor

A continuación, se plantearán las ventajas y desventajas del uso de los datos de radiación solar de las fuentes citadas anteriormente.

5.4.1.1. Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA)

La NASA, ha apoyado durante mucho tiempo los sistemas de satélite y la investigación con el fin de aportar con datos importantes para el estudio del clima y los procesos climáticos. Estos datos, contienen estimaciones a largo plazo de cantidades meteorológicas y los flujos de superficie de energía solar. Estos productos, principalmente basados en datos satelitales, han demostrado ser lo suficientemente precisos y fiables al momento de proporcionar datos sobre los recursos solares y meteorológicos en regiones donde las mediciones de la superficie son muy escasos o nulos, y tiene información global y es contigua en el tiempo. Sin embargo, suelen generar unos archivos de datos muy extensos que normalmente son demasiado complejos para los usuarios, específicamente para los usuarios que carecen de experiencia o pocos conocimientos para tratar con dichos grupos de datos. La predicción del recurso energético a nivel mundial (*Prediction Of Worldwide Energy Resource, POWER*) se da inicio en el año 2003, con la finalidad de mejorar las versiones anteriores del proyecto meteorología de superficie y Energía Solar (SSE), de tal manera que permita crear nuevos grupos de datos que se pueden usar en otras industrias. La plataforma web de POWER abarca el grupo de datos de SSE, adaptadas a área de energía renovable, así como los parámetros de medida de los edificios sostenibles, y las áreas de bioenergía (OJEDA FERNÁNDEZ, 2011).

Meteorología de superficie y Energía Solar (SSE)

Desde la NASA, se tiene a disposición el proyecto SSE creado para el uso de la energía renovable solar.

Para favorecer el uso comercial, la NASA desarrolló el proyecto de datos “*Surface meteorology and Solar Energy (SSE)*” que se ha desarrollado específicamente para solventar las necesidades de energía solar fotovoltaica y energías renovables. Es muy importante el acceso a estos datos, de tal manera que los diferentes parámetros de SSE están disponibles a través de plataformas web, en la cual se encuentra además de los datos de radiación, valores de temperatura (máxima, mínima, media, de rocío), humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del viento a 10 m de altura, así como también información de apoyo y aportes de diferentes fuentes como softwares de gestión de energías limpias. La primera aplicación web de datos de SSE, destinada a facilitar el acceso a los parámetros necesarios en la industria de las energías renovables tales como

energía solar y energía eólica, fue publicada en el año 1997 (OJEDA FERNÁNDEZ, 2011). Los datos meteorológicos y solares proporcionados en la primera versión de este proyecto se basaron en el programa SRB (*Surface Radiation Budget*) de la NASA/*World Climate Research* y del ISCCP (*International Satellite Cloud Climatology Project*) los mismos que se estimaron mediante el modelo físico de transferencia radiativa de Pinker y Laszlo (1992), los cuales emplearon datos de entrada de origen satelital de irradiancia a tope de atmósfera, nubes, vapor de agua, ozono y albedos de superficie más valores modelados de aerosoles (Reuni & Vol, 2017). Este proyecto en un principio demostró tener un valor limitado debido a que se usaron parámetros científicos no utilizados en el campo de las energías renovables. Después de muchas investigaciones y consultas con la industria de las energías renovables, el proyecto SSE en su segunda versión fue publicado en el año 1999 con diferentes parámetros específicamente relacionados con las necesidades de los usuarios del campo de las energías renovables. Las versiones posteriores del proyecto SSE se ha seguido incluyendo nuevos parámetros, más los datos revisados de la NASA. Como ya hemos dicho SSE es desarrollado por POWER de la Nasa, pero además cuenta con apoyo del sector de las energías renovables como es el NREL, el mismo que han contribuido para mejorar dicho proyecto (OJEDA FERNÁNDEZ, 2011).

Nosotros nos enfocamos en la última versión del proyecto SSE, la 6.0 en la cual usan la meteorología y la radiación solar datos que se obtuvieron a partir de satélites de la NASA y re-análisis de los proyectos de investigación. La versión 6.0 amplía la cobertura de los datos solares y meteorológicos de 10 años a más de 22 años así como por ejemplo, desde julio 1983 hasta junio de 2005, la cual incluye nuevos parámetros y estudios de validación de datos realizados por la NASA (Stackhouse et al., 2016).

SSE es un es un proyecto puesto en marcha por la NASA enfocado principalmente en el estudio meteorológico, el cual en su última versión ha tenido un sinnúmero de mejoras y cubre todo el mundo. Esta última versión de SSE tiene datos de irradiación solar comprendidos entre julio de 1983 y junio del 2005. La plataforma web nos permite descargar datos de irradiación diaria, promedios mensuales y anuales para cualquier ubicación geográfica. Para estimar la irradiancia solar se usan datos de los satélites *Goddard Earth Observing System model version 4* (GEOS-4) y (*Global energy and water cycle experiment*) (GEWEX) que tienen aproximadamente 200 parámetros solares y

meteorológicos básicos con una resolución espacial de 1° por 1°, lo cual equivale a 111 km por 111 km (Stackhouse et al., 2016).

En su base de datos se puede obtener información referente a geometría solar, paneles solares inclinados, nubosidad diurna, promedios mensuales y anuales de radiación global, etc (White, Hoogenboom, Stackhouse, & Hoell, 2008). En la Fig. 7, se muestra una captura de pantalla de la página web de la NASA donde se pueden obtener dichos datos.



Figura 7. Página inicial de la NASA. Fuente: (NASA, 2019).

5.4.1.2. Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL)

El Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos contiene una base de datos de radiación solar escala mundial llamada (NSRDB – *National Solar Radiation Database*) (NREL, 2007).

El Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL por sus siglas en inglés), cuenta con una larga historia de desarrollo de bases datos de recursos solares a nivel mundial, utilizando varias fuentes de información y herramientas de modelado. La Base Nacional de Datos de Radiación Solar del NREL, ha ido evolucionando con el pasar de los años, realizando grandes esfuerzos para desarrollar el Modelo Solar Físico (PSM por sus siglas

en inglés) y la radiación solar enfocada principalmente en satélites para mejorar la resolución y precisión de la NSRDB, la cual proporciona una revisión histórica, así como también presenta los detalles técnicos del Modelo Solar Físico y la validación de los datos basado en mediciones de radiación solar realizado para algunas localidades de los Estados Unidos (NSRDB, 2018).

Base Nacional de Datos de Radiación Solar (NSRDB)

El NSRDB, es una de las bases de datos de acceso público más completa de datos solares y meteorológicos, que incluye los parámetros más utilizados: irradiación horizontal global GHI, irradiación normal directa IND, irradiación horizontal difusa (IDH), Temperatura, Humedad, precipitación, velocidad y dirección del viento entre otros. Esta lista de datos se ha recopilado en una serie de ubicaciones con resoluciones temporales de 30 minutos y espaciales de 4 km, de tal manera que representan con precisión los climas de radiación solar global y regional (NSRDB, 2018). El NREL implementó algunas actualizaciones, en su base de datos original tres veces en el año 2007, 2012 y 2017. Las versiones de NSRDB se revisan brevemente a continuación:

La primera versión de la NSRDB se realizó en el año 2007, para los periodos que van desde el año 1991 hasta el año 2005. Los principales parámetros, incluyen irradiancias solares de 10×10 km a partir de datos del Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental (GOES) por cada hora y basado en un modelo empírico que desarrolló la Universidad Estatal de Nueva York (SUNY). Los datos basados en satélites, cubrieron 48 estados cercanos a los Estados Unidos desde el año 1998 hasta el año 2005 (NREL, 2007).

En el año 2012, el NREL en colaboración con *Clean Power Research* (CPR), actualizó la NSRDB para cubrir los periodos de 1991 hasta el año 2010. En esta segunda versión de la NSRDB se desarrolló utilizando un modelo empírico que desarrolló la Universidad Estatal de Nueva York (SUNY) en el cual se mejora en un intervalo por hora con una resolución espacial de 10×10 km, la cual se publicó a través de la plataforma web *Solar Prospector* de NREL, la misma que proporcionó datos hasta fines del año 2016 (Sengupta et al., 2018).

La última versión de la NSRDB, fue publicada en el año 2017 con datos que van desde el año de 1998 hasta el año 2016, con resoluciones temporales de media hora y espaciales de 4×4 km. Estos datos, se desarrollaron usando los datos del GOES, que cubren la

ubicación geográfica de 60 de latitud norte hasta los 20 de latitud sur. Los datos promedio de los IGH y IND diarios desde el año de 1998 hasta el año 2016 (NSRDB, 2018). En la Fig. 8, se muestra la página web del NREL donde se pueden obtener dichos datos antes mencionados.

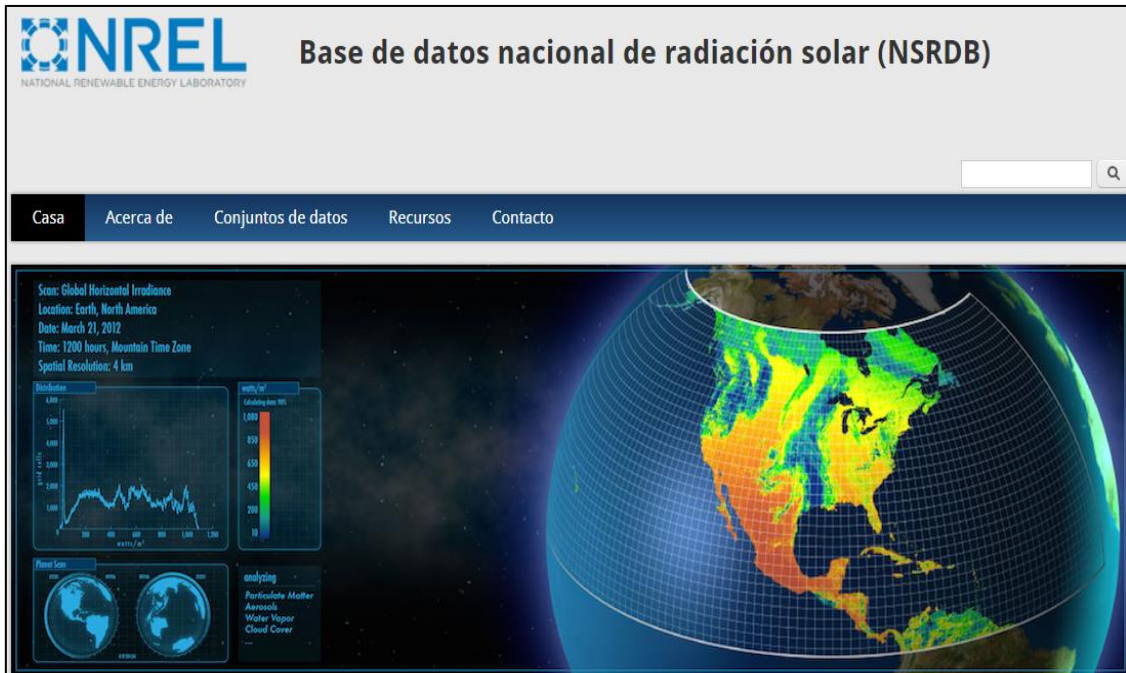


Figura 8. Página Principal NREL, Base de datos Nacional de Radiación Solar. **Fuente:**(NSRDB, 2019).

5.4.1.3. Meteonorm

Meteonorm, es un producto de la empresa *Meteotest* en Suiza, que tiene una plataforma que posee una combinación única de fuentes de datos climáticos y meteorológicos confiables usando modelos de cálculo de alta calidad (Estrada Cajigal, 2008). Su primera versión fue publicada en el año 1985 en papel como si fuese un manual. Diez años más tarde, el manual se convirtió en software de escritorio. En el año 1998, la disponibilidad de datos climáticos de la empresa Suiza se amplió para incluir la cobertura global. La cobertura mundial se dio en el año 2007, con la versión 6 de meteonorm. Este software permite el acceso a años típicos y series de tiempo históricas (Meteonorm, 2019).

El software Meteonorm, no es una herramienta gratuita, sin embargo, se ha podido acceder gratuitamente a su base de datos mediante el software PVsyst². Este software es

² PVsyst es un programa informático que permite realizar el diseño, simulación y análisis de datos de una instalación fotovoltaica, además cuenta con bases de datos de la NASA y METEONORM.

una herramienta que proporciona bases de datos de diferentes parámetros meteorológicos precisos para cualquier lugar del mundo como son: irradiación, temperatura, humedad, viento, precipitación y entre otros parámetros climáticos (Peña & Esteban, 2016).

Meteonorm, cuenta con una base de datos de 8325 estaciones meteorológicas, cinco satélites geoestacionarios y además cuenta con una experiencia 30 años, además cuenta con modelos de interpolación actualizados de manera que los datos climáticos obtenidos son precisos. Este software proporciona datos climáticos en más de 35 formatos, además utiliza Microsoft Excel para el análisis manual de los datos, también tiene la posibilidad de seleccionar entre los formatos estándar más utilizados en energía solar fotovoltaica, software de simulación de energía térmica, simulación de edificios y de energía solar en general (Meteonorm-Aiguasol, 2019). En la Fig. 9 se muestra la página web principal de meteonorm.



Figura 9. Página principal de Meteonorm. **Fuente:** (Meteonorm, 2019).

5.4.2. Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica

Los datos principales usados para realizar el Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica, fue obtenida del *Nacional Renewable Energy Laboratory* (NREL) de los Estados Unidos, el cual su finalidad es la investigación y el desarrollo de las energías renovables y eficiencia energética.

En este ámbito, el NREL elaboró el modelo CRS (*Climatological Solar Radiation Model*), mediante el cual se puede conocer la insolación diaria total sobre una superficie horizontal, en celdas de aproximadas a 40 km x 40 km alrededor del mundo y los datos obtenidos han sido validados con mediciones obtenidas por estaciones meteorológicas, determinándose que el error en dichos datos es de un 10%. También se usa información relacionada con la traza de gases³, vapor de agua atmosférico, nubosidad, cantidad de aerosoles.

Los datos disponibles, son para el período desde el 1 de enero de 1985 hasta el 31 de diciembre de 1991, los mismos que fueron publicados en el año 2006. Estos datos representan la energía solar mensual y anual de los valores diarios la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal, además contiene los promedios mensuales (dentro del período mencionado) de cada una de ellas, expresados en Wh/m²/día (CONELEC, 2013).

La Corporación para la Investigación Energética (CIE), utiliza los datos obtenidos por el modelo (CRS), en primera instancia se usa toda la información proporcionada por este modelo, hasta posteriormente seleccionar aquellos que corresponden únicamente al Ecuador y luego, ser enviados a una base de datos, compatible con la plataformas de trabajo seleccionada un Sistema de Información Geográfica (SIG). Mediante de dicho sistema se exporto los datos geográficos al sistema de proyección y coordenadas escogidas para nuestro país.

La selección de celdas, dio una cobertura de 472 puntos en el Ecuador, en celdas de 40 km x 40 km, que corresponden a los datos originales, al momento esta versión del Atlas solar contiene información únicamente sobre el Ecuador continental, en un futuro se pretende, incorporar a la región insular del país.

La base de datos, fue analizada estadísticamente para determinar su comportamiento y de esta forma elegir el método de interpolación que más se asemeje al fenómeno analizado, una vez elegido el método de interpolación, se obtuvieron celdas de información con una resolución de 1 km² (GUERRERO DUMAS & LEÓN BRABO, 2018).

³ Un gas traza es un gas presente en baja cantidad en una mezcla, exactamente, menos de 1% por volumen de la atmósfera de la Tierra, e incluye todos los gases excepto nitrógeno y oxígeno.

Este proceso se realizó para cada mes dentro de las insolaciones directa, difusa y global, en el cual se obtuvo 36 mapas mensuales, adicionalmente se obtuvo 3 mapas más que corresponden a los promedios anuales, dando un total de 39 mapas (CONELEC, 2013). En la Fig. 10, se muestra el mapa de radiación solar para el mes de enero proporcionado por el Atlas solar del Ecuador.

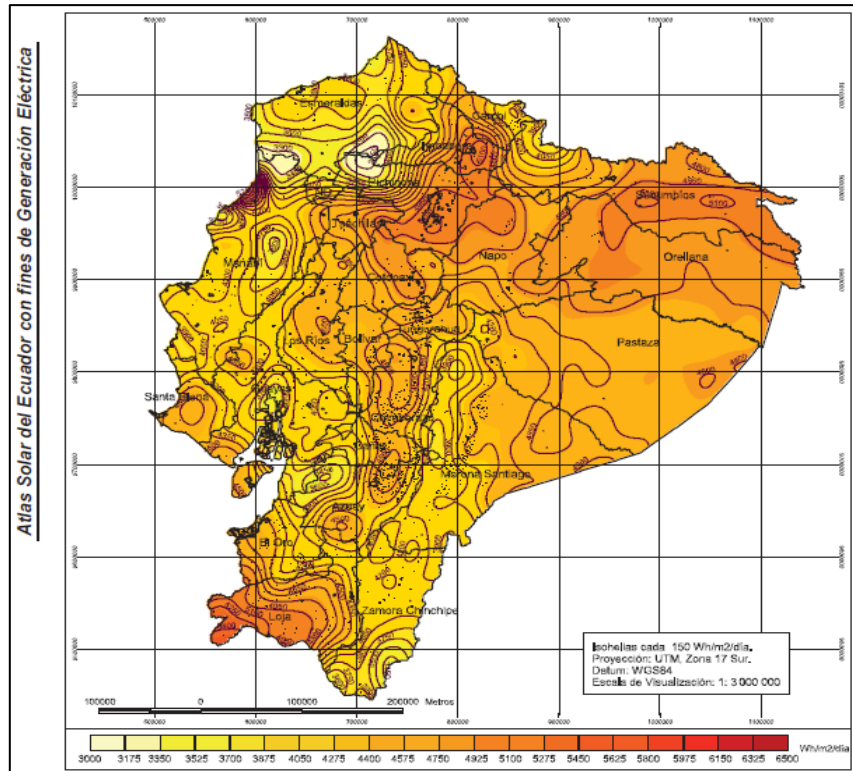


Figura 10. Mapa de insolaración global para el mes de enero. **Fuente:** (CONELEC, 2013).

5.4.3. Mapa solar del Ecuador 2019

En el mapa solar del Ecuador 2019, se compara los datos de irradiación solar global del NREL, con datos de irradiación global horizontal (IGH), de 41 estaciones meteorológicas pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), los datos proporcionados van desde el año 2004 hasta el 2006 y del 2007 hasta el 2015, sin embargo, se usaron datos desde el 2007 hasta el 2015. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), si bien es cierto esta institución viene trabajando por más de 50 años, únicamente proporcionan datos a partir del año 2014 y el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), instaló estaciones meteorológicas las mismas que se encuentran en las ciudades de Cuenca y Riobamba en el año 2014 (Vaca & Ordoñez, 2020).

Los datos de irradiación solar satelitales del NREL, son estimados utilizando el algoritmo PSM (*Physical Solar Model*), el cual fue elaborado en colaboración con la Universidad de Wisconsin y el *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA). Para el desarrollo de este modelo se utiliza imágenes captadas por los satélites GOES-WEST los cuales están ubicados en la línea ecuatorial a 75°W y 135°W, respectivamente, debido a la posición de cada uno de los satélites, los datos estimados cubren el área entre las longitudes 25°W y 175°W, y entre las latitudes -20°S y 60°N. Las imágenes satelitales, son tomadas en cinco bandas de longitud de onda: banda visible (0.64 μm) con 1 km de resolución y bandas infrarrojas (3.9 μm , 5.5 μm , 10.7 μm y 12 μm) con 4 km de resolución. Estas imágenes son insumos para el algoritmo AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) PATMO-x (*Pathfinder Atmospheres -extended*), que estima propiedades de nube. Adicionalmente, este modelo toma datos de vapor de agua, presión y temperatura del proyecto MERRA (NASA), de albedo de nieve del *National Snow and Ice Data Center* y del albedo de superficie, aerosoles y ozono de los satélites MODIS MISR y TOMS, OMI, todos estos datos son usados por el PSM, para numéricamente resolver la ecuación de transferencia radiativa y encontrar la difusión y transmisión de la radiación a través de la atmósfera terrestre. De esta manera, el modelo se divide en dos campos de cielo nublado y de cielo despejado. Para cielo nublado, la IGH se calcula por medio del modelo FARMS, ingresando las propiedades de nube y el espesor óptico de vapor de agua precipitable, en cambio para el cielo despejado, la IGH y la IND son obtenidos usando el modelo de cielo despejado (*clear sky*, REST2).

Para la elaboración de este mapa, se realizó una cuantificación de la precisión de las estimaciones satelitales IGH, obtenidos mediante NSRDB respecto a las mediciones terrestres del territorio ecuatoriano, para ello se usaron indicadores estadísticos de dispersión, raíz del error cuadrático medio (RMSE) y error de sesgo medio (MBE). Adicionalmente, para verificar el ajuste de las dos series de datos, se usó el test de *Kolmogorov-Smirnov* (KS test), este es un test usado específicamente para validar series de datos de radiación solar estimados frente a los datos de radiación solar medidos. Una vez validados los datos del NSRDB y conocida la precisión de sus datos, los mismos que fueron utilizados para la actualización del mapa solar de Ecuador 2019. La IGH en el Ecuador varía entre 2.9 Wh/m²/día a 6.3 Wh/m²/día, en general las zonas con mayor altitud, son las que poseen niveles más altos de IGH, mientras que las zonas de transición

hacia la costa poseen niveles mucho menores de IGH. Las provincias de Pichincha, Imbabura, Loja y Galápagos, son las que presentan mayores niveles de potencial solar. Los mapas elaborados muestran la IGH, IDH, IND en promedios anuales, así como la IGH y IND en promedios mensuales para todo el Ecuador (Vaca & Ordoñez, 2020). En la Fig. 11, se presenta el mapa de radiación solar global anual obtenido del Atlas solar del Ecuador.

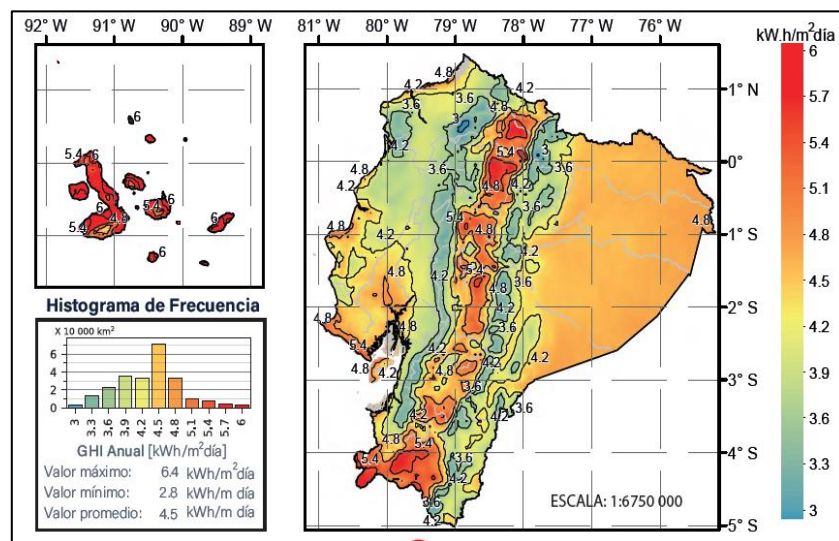


Figura 11. Mapa de Irradiación Solar Global Horizontal anual. **Fuente:** (Vaca & Ordoñez, 2020).

5.4.4. Estaciones meteorológicas administradas por el INAMHI

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), es una entidad de carácter público encargada de monitorear la mayoría de estaciones meteorológicas del país, los registros de temperatura se encuentran en el mayor número de estaciones del país, siendo de esta manera una variable de gran importancia, para el desarrollo de trabajos de investigación relacionados con el potencial solar (INAMHI, 1966).

Se seleccionaron las estaciones meteorológicas automáticas operadas por el INAMHI ya que su misión es generar y difundir información meteorológica y climática para el desarrollo de investigaciones, lo cual nos ha permitido poder obtener dicha información. Las estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI, se encuentran distribuidas por todo el Ecuador teniendo alta concentración de estaciones en la región sierra norte y baja concentración en la zona sur y la región oriental.

Resulta importante comprobar que los datos de radiación solar de cada estación meteorológica sean precisos y de buena calidad. De tal manera se recopiló información del mantenimiento y calibración de los instrumentos de medición utilizados en cada una de las estaciones meteorológicas en estudio. En las estaciones meteorológicas seleccionadas se pudo conocer que, se realiza el mantenimiento de los equipos antes mencionados dos veces al año, los trabajos incluyen la limpieza del piranómetro, de la misma manera la calibración se la realiza dos veces al año con un sensor patrón primario de marca *Kipp & Zonen* y modelo CMP22. Los equipos realizan toma de datos de irradiancia solar una vez por minuto tal como lo especifica la Organización Mundial de Meteorología (OMM) (INAMHI, 2014).

Según información proporcionada por el INAMHI, los piranómetros instalados y operados por el INAMHI, son de segunda y primera clase y sus equipos fueron adquiridos e instalados entre los años 2013 y 2014, además, siguen protocolos estrictos de calibración y mantenimiento, tal como lo exige la OMM de tal manera que los datos de radiación solar obtenidos son confiables para realizar la presente investigación, debido a que los datos recopilados van desde el año 2013 en adelante.

En la Tabla 4, se mencionan las características más importantes del instrumento utilizado en la calibración de los piranómetros.

Tabla 4. Características del sensor usado para calibrar los piranómetros

<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	<i>Características</i>
<i>Kipp & Zonen</i>	CMP22	<ul style="list-style-type: none"> • Según la marca <i>Kipp & Zonen</i>, es el mejor piranómetro disponible actualmente el mercado • Es de primera clase según ISO 9060 • Desviaciones térmicas reducidas • Rango espectral (total) 200 a 3600 nm • Error direccional se reduce por debajo de los 5 W/m² • Tempo de respuesta 5 s • Irradiación máxima 4000 W/m².

Fuente: Elaborado por el Autor, basado en (ZONEN, 2019).

5.5. DESCARGA, CLASIFICACIÓN, PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE LOS DATOS ESTIMADOS CON DATOS REALES DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Para continuar con el proceso de la presente investigación, se obtiene los datos de radiación solar de todas las fuentes de información seleccionadas como válidas en el apartado anterior, las mismas que cubren en su totalidad el área de estudio excepto los datos proporcionados por el INAMHI, que no cuenta con estaciones meteorológicas en la provincia de Zamora Chinchipe. Con los datos obtenidos de cada una de las diferentes fuentes de información, se procede a clasificar los diferentes parámetros de datos obtenidos y posteriormente realizar su procesamiento y validación. A continuación se describen cada una de las etapas de este proceso:

5.5.1. Descarga de datos

5.5.1.1. Meteorología de superficie y Energía Solar (NASA)

Para descargar los datos de la NASA, se tiene a disposición el proyecto SSE y para ello se debe seguir los siguientes pasos:

- Ingresar a la página web de la NASA, cuyo link es: <https://power.larc.nasa.gov>
- Seleccionar la opción *Data Access*, tal como como se ve en la Fig. 12.

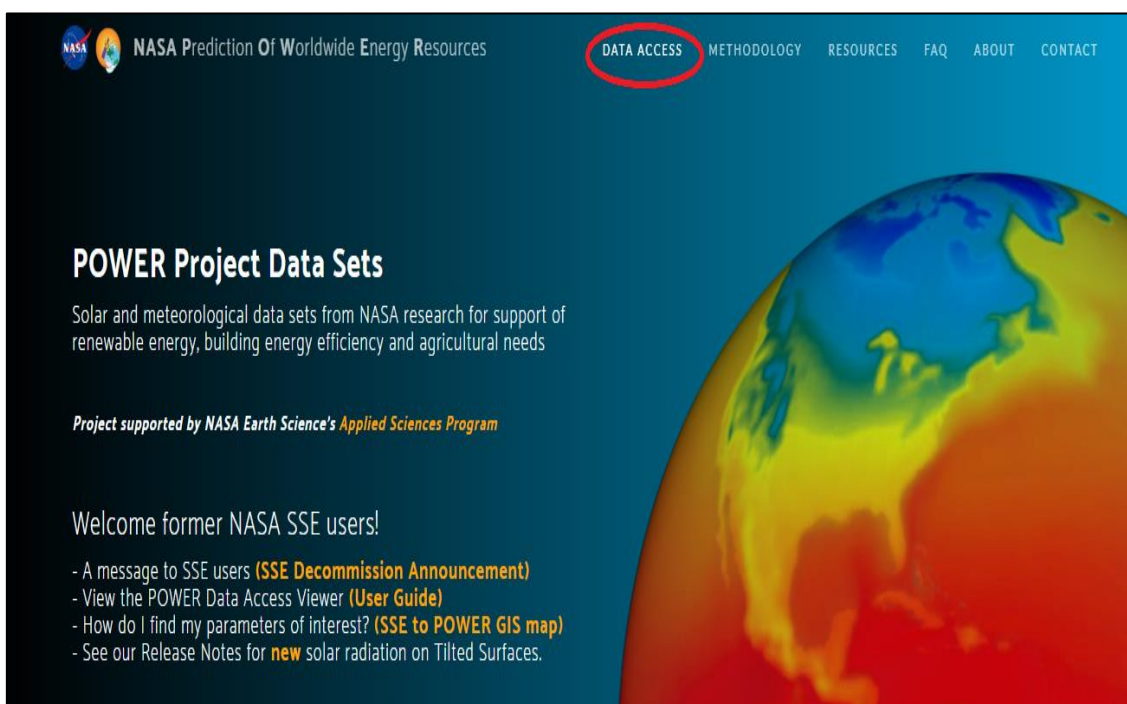


Figura 12. Página inicial de la NASA. Fuente: (NASA, 2019).

- Dar clic a la opción *Power Data Access Viewer* (botón de color celeste) y se desplegará un atlas mundial, exactamente como se muestra en la Fig. 13.

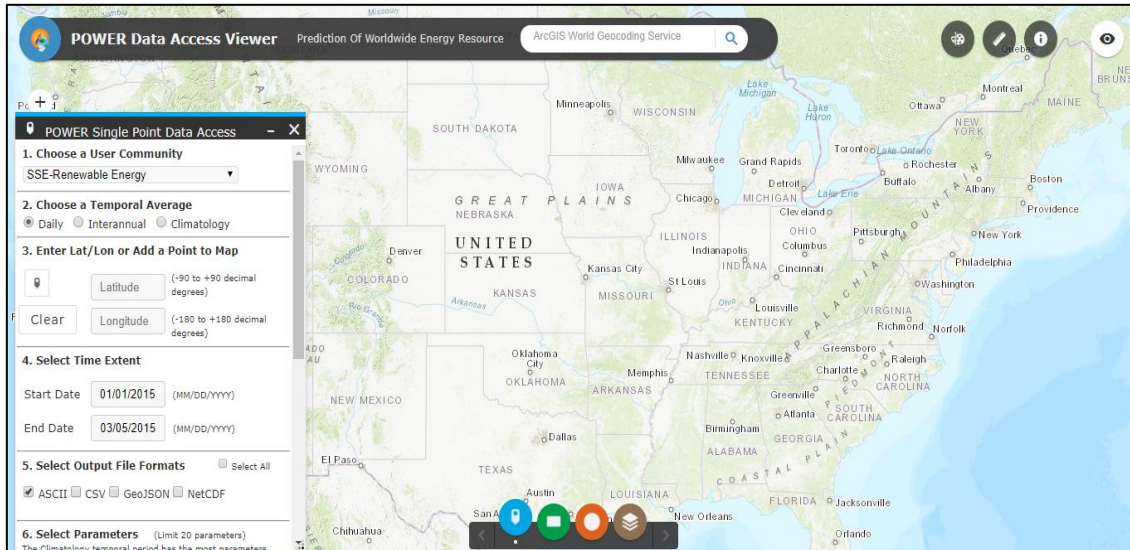


Figura 13. Atlas mundial de la NASA. Fuente: (NASA, 2018).

- Ingresar los datos en la ventana desplegada tal como se indica en la Fig. 14.

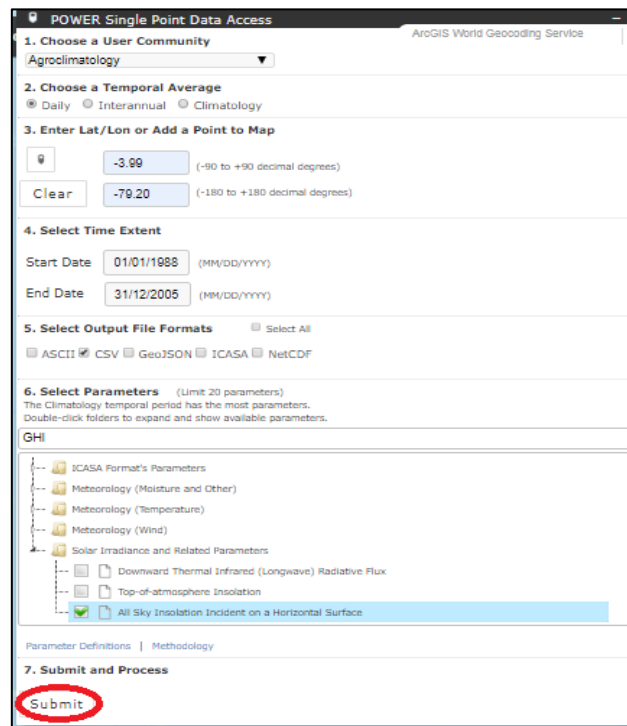


Figura 14. Ventana de ingreso de datos para acceder a los datos. Fuente: (NASA, 2018).

NOTA: Los datos seleccionados dependen de la localidad y de los parámetros que se necesite.

- Seleccionar la opción *Submit* y direccionará a la ventana de descarga en el formato que se haya seleccionado en la ventana de la Fig. 14.
- Por último, hacer clic en CSV (Ver Fig. 15) y la descarga iniciará automáticamente. El archivo descargado esta en este caso en formato .csv el mismo que puede ser leído en Excel fácilmente y transformado en formato .xls.

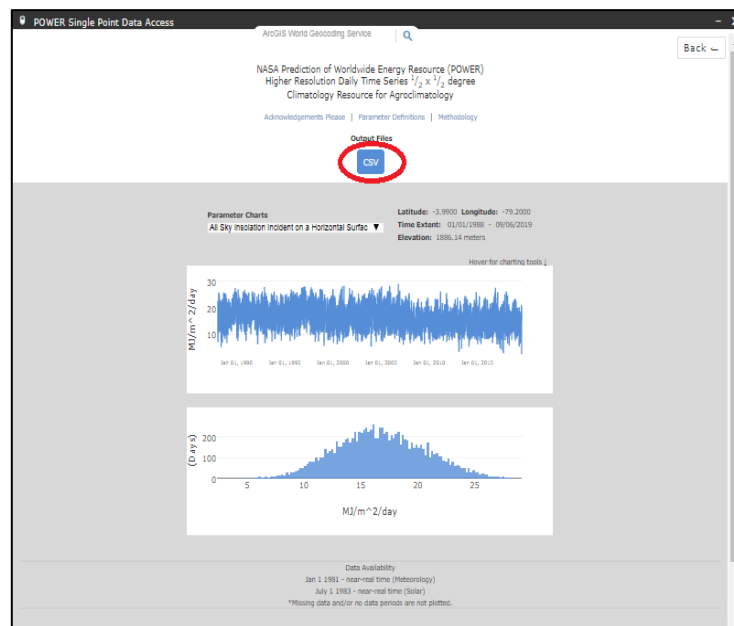


Figura 15. Ventana de descarga de datos. **Fuente:** (NASA, 2018).

NOTA: El nombre del link de descarga depende del formato en que se va a descargar.

5.5.1.2. Base Nacional de Datos de Radiación Solar (NREL)

Para descargar los datos del NREL, se tiene a disposición la base de datos nacional de radiación solar (NSRDB), para ello se debe seguir los siguientes pasos:

- Ingresar a la plataforma web del NREL, cuyo link es: <https://nsrdb.nrel.gov>
- Seleccionar la opción Data Sets, tal como se puede observar en la Fig. 16.
- Ingresar en la opción *Launch the NSRDB Viewer* (botón de color amarillo) y se desplegará el atlas mundial de NREL.

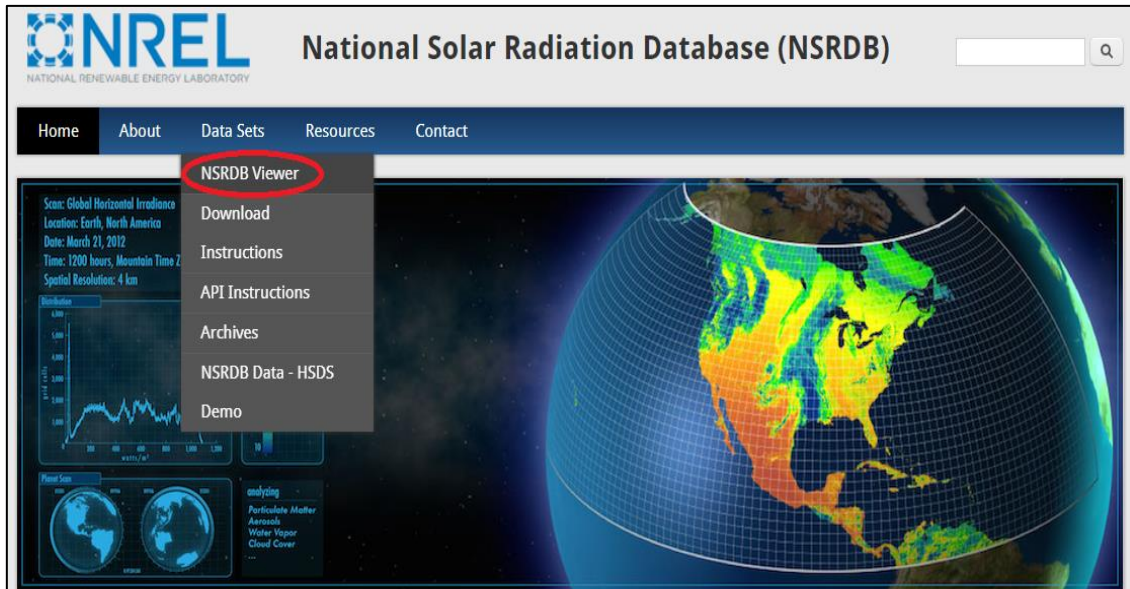


Figura 16. Página principal NREL Base de datos Nacional de Radiación. **Fuente:** (NSRDB, 2019).

- Seleccionar la opción *Download Data* y elegir la opción *NSRDB Data Download (Point)*, véase en la Fig. 17.

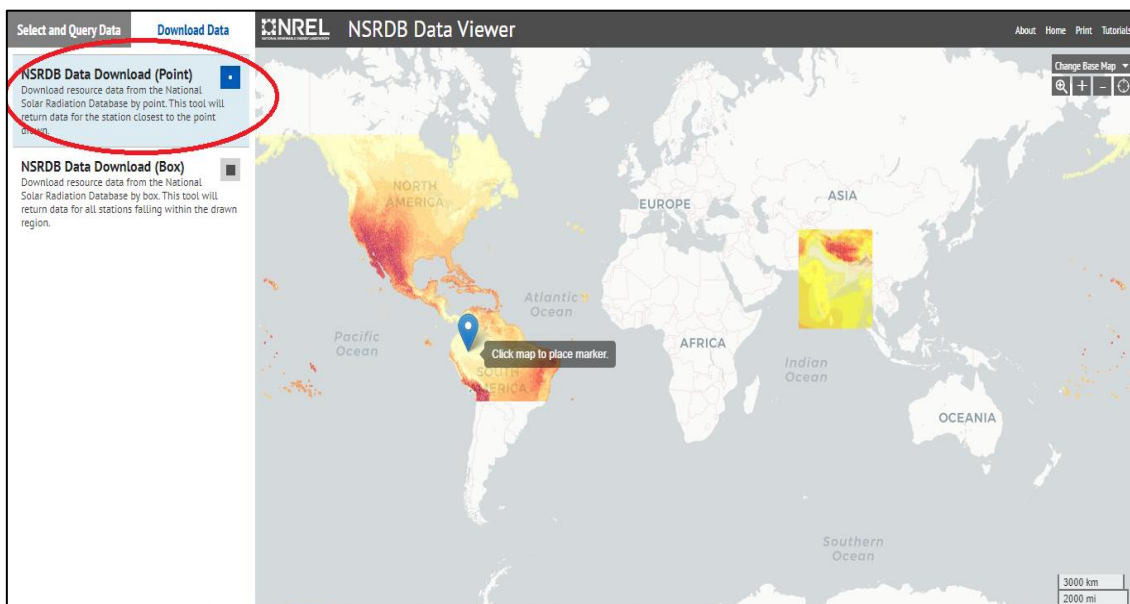


Figura 17. Mapa de descarga de datos del NREL. **Fuente:** (NREL, 2015a).

- Buscar y seleccionar la ubicación del sitio donde se desea los datos de irradiación.
- Ingresar los datos en la ventana desplegada tal como se indica en la Fig. 18 y seleccione continuar.

Data Download Information Form

Please fill out the following information in order to utilize the data download tool. This information helps us to justify improvements to the tool.

Note: All fields are required.

Full Name:

Email:

Organization/Affiliation:

Please keep me informed of future releases and publications.

Planned Use:

Figura 18. Ventana para ingresar datos de contacto para la descarga de datos. **Fuente:** (NREL, 2015b).

En la ventana desplegada, indica las opciones de descarga en la Fig. 19, se indica cómo se deberá seleccionar los parámetros meteorológicos necesarios, así como también los años para los cuales deseamos tener la información, convertir UCT a hora local y finalmente seleccionar la opción descargar datos (*Download Data*).

Data Download Wizard

Spectral TMY India | **PSM v3** | SUNY India | Spectral On-demand | PSM TMY

Physical Solar Model (PSM3)

The National Solar Radiation Database (NSRDB) is a serially complete collection of hourly and half-hourly values of the three most common measurements of solar radiation—global horizontal, direct normal, and diffuse horizontal irradiance—and meteorological data. These data have been collected at a sufficient number of locations and temporal and spatial scales to accurately represent regional solar radiation climates.

Supported by the U.S. Department of Energy's SunShot Initiative, the NSRDB is a widely used and relied-upon resource. The database is managed and updated using the latest methods of research by a

[Documentation](#)

Dr. Manojit Sengupta
National Renewable Energy Lab
[Contact](#)

Select Years [Select All](#) [Clear All](#)

2004 2005 2006 2007 2008 2009
 2010 2011 2012 2013 2014 2015
 2016 2017

Select Attributes [Select All](#) [Clear All](#)

The minimum required attributes for the SAM PV and CSP models have been selected by default.

DHI DNI GHI
 Clearsky DHI Clearsky DNI Clearsky GHI
 Cloud Type Dew Point Solar Zenith Angle
 Fill Flag Surface Albedo Wind Speed

Select Download Options [Select All](#) [Clear All](#)

Include Leap Day Convert UTC to Local Time Half Hour Intervals

Download Limit Indicator

[Edit User Info](#) [Download Data](#)

Figura 19. Ventana de selección de parámetros meteorológicos a descargar. **Fuente:** (NREL, 2015b).

- Después de unos minutos, el link de descarga estará disponible en el correo electrónico registrado en la Fig. 18.
- Como último al hacer clic en el link recibido descarga iniciará automáticamente. El archivo descargado se encuentra en formato .csv.

5.5.1.3. Meteonorm

Para descargar la información se accede a su base de datos mediante el programa PVsyst, sin costo alguno.

Para descargar los datos de meteonorm se realiza mediante el programa PVsyst en su versión 6.70, para ello se debe seguir los siguientes pasos:

- Abrir PVsyst V6.70.
- Seleccionar el botón Bases de datos, tal como se indica en la Fig. 20.

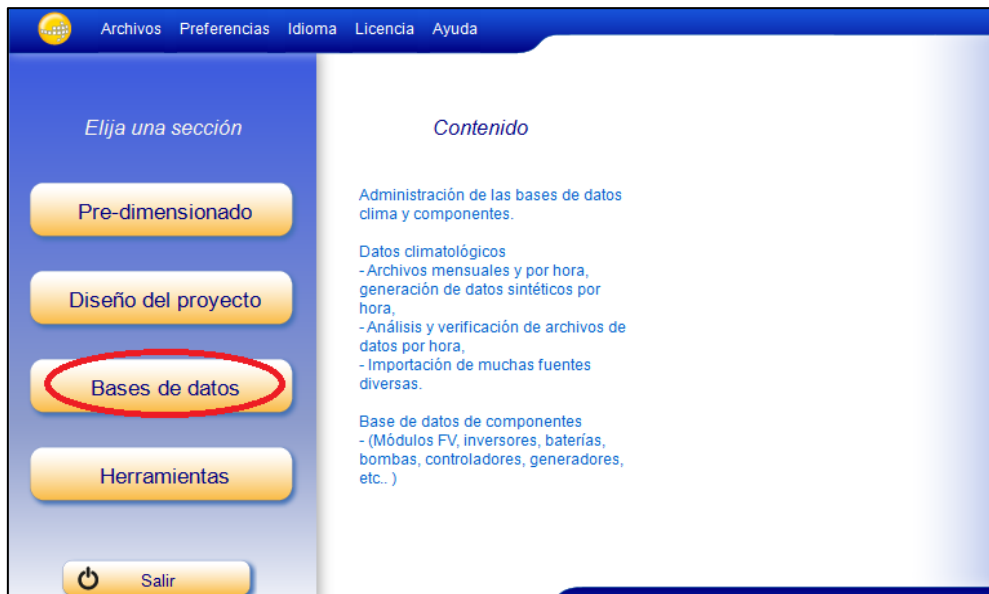


Figura 20. Ventana principal del programa PVsyst V6.70. Fuente: Autor.

- Seleccionar el botón Lugares geográficos, véase en la Fig. 21.

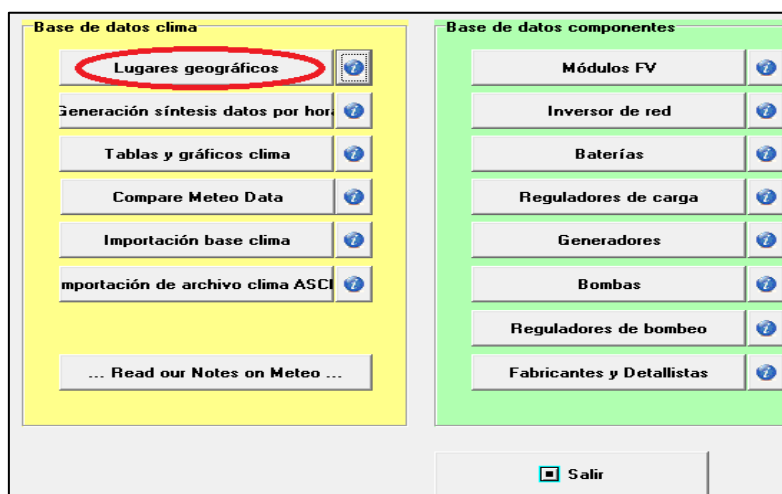


Figura 21. Ventana de base de datos de PVsyst. Fuente: Autor.

- En la siguiente ventana seleccionar nuevo, véase en la Fig. 22.

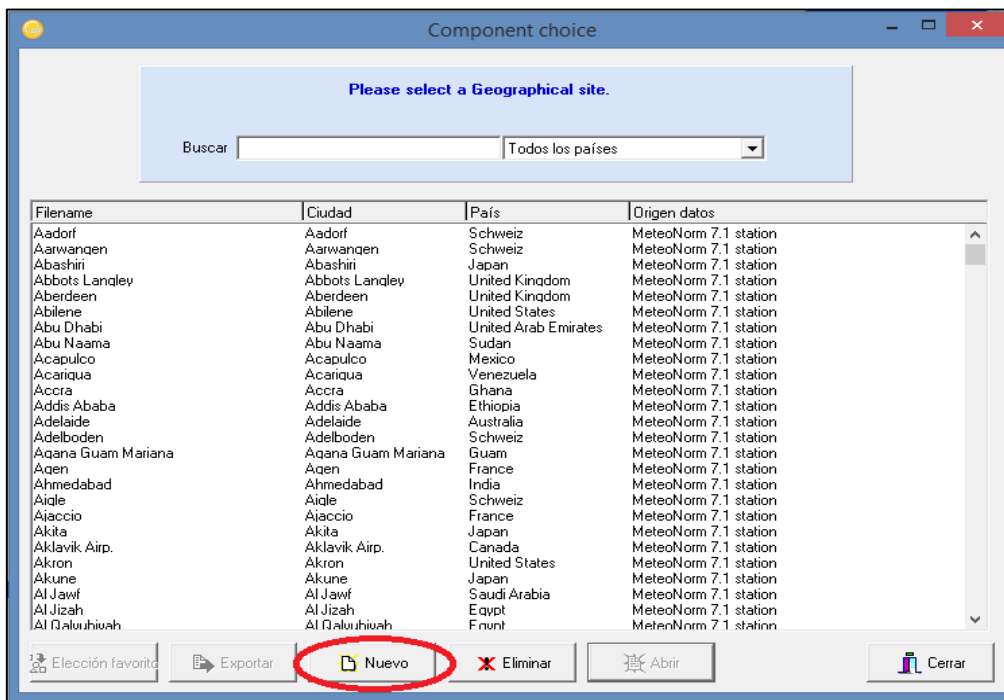


Figura 22. Ventana de búsqueda una nueva localidad. Fuente: Autor.

- A continuación, se desplegará un mapa con cobertura mundial en el que se deberá buscar y seleccionar la localidad deseada y luego importar, tal como se ve en la Fig. 23.

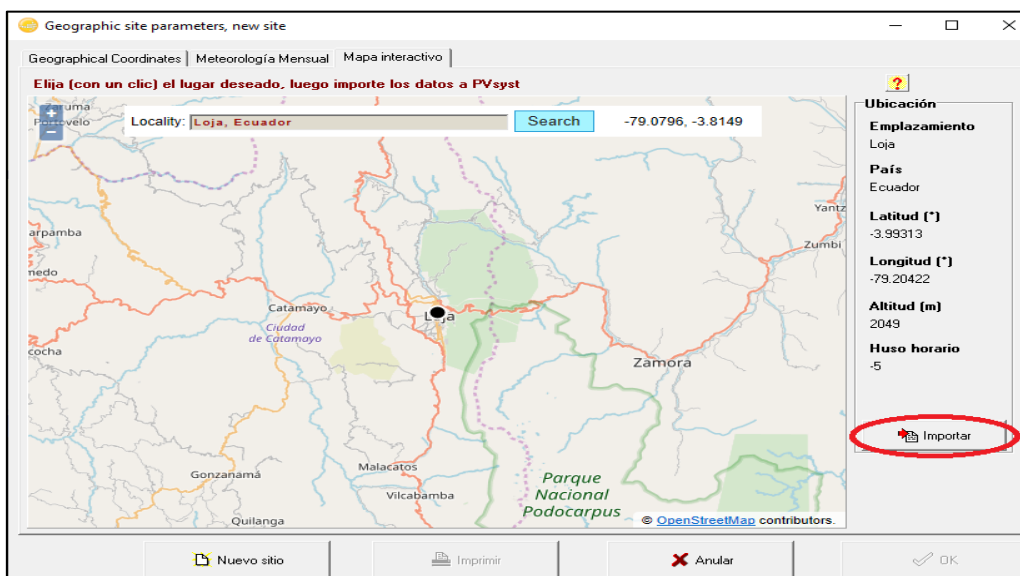


Figura 23. Mapa mundial de PVsyst. Fuente: Autor.

- En la ventana de la Fig. 24, se debe verificar que la información de la localidad es la correcta, seleccionar la fuente de la cual se desea obtener los datos y dar clic en importar.

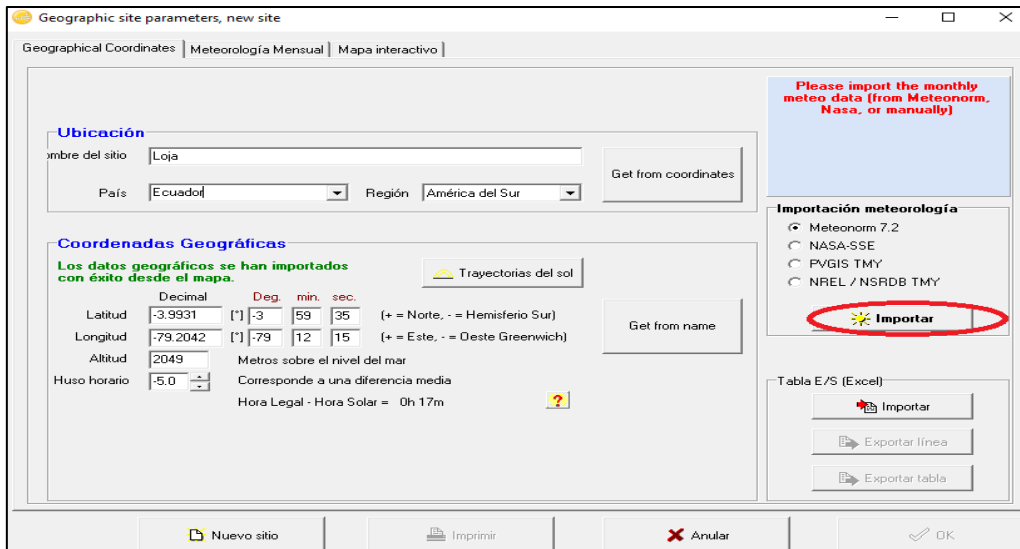


Figura 24. Ventana de verificación de datos de la localidad. Fuente: Autor.

- Seleccionar los parámetros de los datos requeridos y luego hacer clic en imprimir, véase en la Fig. 25.

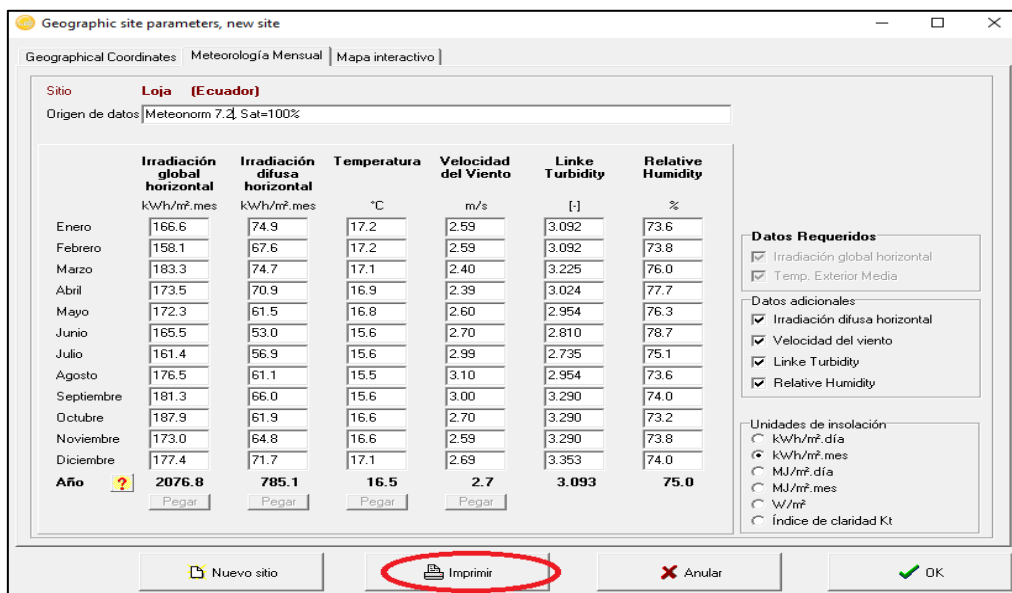


Figura 25. Ventana de selección de parámetros meteorológicos. Fuente: Autor.

- Finalmente, seleccionar la opción save to PDF, para guardar el archivo en Formato PDF, tal como se indica en la Fig. 26.

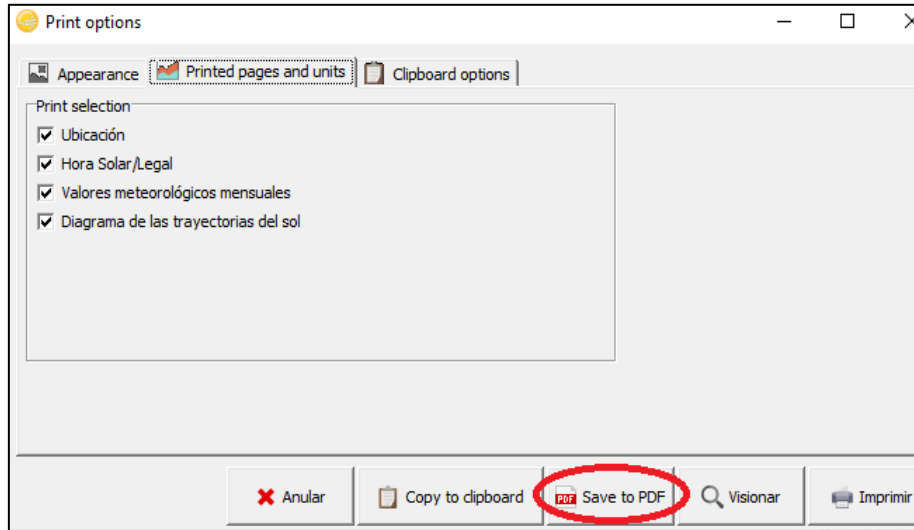


Figura 26. Ventana de descarga. **Fuente:** Autor.

5.5.1.4. Atlas Solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019

Para obtener los datos de irradiación solar global provenientes del Atlas solar del Ecuador y del mapa solar del Ecuador 2019, que los tenemos disponible en Formato PDF, basta con analizar e interpretar cada uno de los 36 mapas mensuales y los 3 más adicionales que corresponden a los promedios anuales.

Atlas Solar del Ecuador

Para obtener el valor de IGH en un determinado mes y lugar, primero se selecciona el mapa del mes respectivo y luego ubicar el lugar deseado, posteriormente establecer la isolínea más cercana al lugar, la cual se le asigna valor sumando desde el valor más bajo en el límite inferior de la franja de colores (ver colores), el incremento es de 150 Wh/m²/día correspondiente de cada isolínea, hasta llegar a la isolínea del lugar en consideración.

Una vez identificado el valor de IGH de la isolínea más cercana al lugar, se procede a interpolar dicha información (la interpolación se realiza solo si la isolínea no pasa por el lugar deseado).

Ejemplo:

Determinar la IGH, en el mes de marzo para el cantón Espíndola.

Según el mapa de IGH, correspondiente al mes de marzo, se determina que este cantón se encuentra localizado en una zona con valores entre 4.05 y 4.35 kWh/m²/día, interpolando dichos valores se obtiene un valor de 4,2 kWh/m²/día, que se asume como IGH promedio para el cantón Espíndola en el mes de marzo.

Mapa solar del Ecuador 2019

Para obtener el valor de IGH en un determinado mes y lugar, primero se selecciona el mapa del mes respectivo y luego ubicar el lugar deseado, posteriormente identificar el color del lugar, determinar el valor de IGH el cual se obtiene comparando el color del mapa, con el de la franja de colores situada en la parte derecha del mapa.

5.5.1.5. Estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI

Para obtener los datos de las estaciones meteorológicas automáticas operadas por el INAMHI en la Región Sur del Ecuador, se presentó un oficio dirigido al Ing. Max Encalada Córdova PhD director de investigación de la Universidad Nacional de Loja, en el cual se solicita que emita un oficio al INAMHI en la ciudad de Loja, solicitando información de las estaciones meteorológicas automáticas operativas en la Región Sur del Ecuador, esto es en las provincias de El Oro, Zamora Chinchipe, específicamente los datos de irradiación solar global y temperatura desde el año 2014 hasta el año 2018.

Una vez aceptada y aprobada la petición el director de investigación de la Universidad Nacional de Loja, emite un oficio dirigido al Ing. Augusto Araque Arias COORDINADOR DEMARCACIÓN JUBONES-PUYANGO INAMHI, en el cual solicita la información antes señalada, la misma que será utilizada para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

La información fue proporcionada en un lapso de 2 meses, por el Ing. Augusto Araque Arias, los datos entregados corresponden a 7 estaciones meteorológicas automáticas dispuestas en las provincias de Loja y el Oro, de las cuales dos de ellas solo presentan información de temperatura, por lo tanto no se tomará en cuenta para este proyecto de investigación. En la provincia de Zamora Chinchipe el INAMHI, carece de estaciones meteorológicas automáticas. En la Tabla 5, se puede observar la lista de las estaciones meteorológicas automáticas con información disponible que usaremos en el presente estudio. En los Anexo 1, 2 y 3, se citan los oficios mencionados anteriormente.

Tabla 5. Estaciones meteorológicas usadas en el presente estudio

<i>Provincia</i>	<i>Nombre de la estación</i>	<i>Código</i>	<i>Latitud</i>	<i>Longitud</i>	<i>Años</i>
LOJA	LA ARGELIA	M0033	-4,04	-79,20	2017 2018
LOJA	CARIAMANGA	M0146	-4,33	-79,56	2015 2016 2017 2018
LOJA	MACARÁ	M1259	-4,38	-79,94	2017 2018
EL ORO	LAS LAJAS	M1246	-3,80	-80,04	2015 2016 2017 2018
EL ORO	LA CUCA	M0012	-3,55	-80,07	2015 2016 2017 2018

Fuente: Autor.

5.5.2. Clasificación y procesamiento de los datos

Para realizar, la clasificación y procesamiento de la información, se utilizó el software cálculo como lo es Microsoft Excel®, el mismo que permite la importación de datos a partir de un archivo de texto pudiendo seleccionar el tipo de delimitador utilizado para separar las columnas, así mismo da la facilidad para trabajar con extensas cantidades de datos, permitiendo realizar un sinnúmero de operaciones, las mismas que serán necesarias para realizar la conversión de unidades de los datos obtenidos. Por último, nos da la posibilidad de mostrar los resultados en forma gráfica, facilitando así el análisis y la interpretación de los resultados.

Una vez descargados los datos satelitales de las diferentes plataformas web, extraídos los datos del atlas solar del Ecuador y recopilados los datos de las estaciones meteorológicas automáticas de la Región Sur del Ecuador, se identifica y organiza los datos de IGH y temperatura a utilizar en el presente trabajo de investigación, todo esto se elaboró en un libro de Excel, para luego utilizarlo en procesos posteriores. En el caso de la base de datos de las estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI, se obtuvo información incompleta para algunos días y en algunos casos para 1 mes completo, para estimar los datos faltantes de cada uno de los parámetros considerados para este estudio, se utilizó el método de regresión lineal mediante una hoja de cálculo en Microsoft Excel®, en el cual

se consideró que el factor de correlación sea igual o mayor a 0.7, el mismo que determina la relación directa entre las dos variables (Carollo, 2011), con la finalidad de garantizar la mayor confiabilidad posible en los datos estimados.

5.5.2.1. Estimación de datos de faltantes para estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI

Para la estimación de los datos faltantes se utiliza el método de regresión lineal

Regresión lineal: El objetivo de un modelo de regresión lineal, consiste en obtener la ecuación de una recta que permita explicar la relación lineal que existe entre dos variables. La variable dependiente o respuesta se le identifica como Y (Datos a estimar), y la variable predictora o independiente como X (Datos de la estación meteorológica). Dicho modelo de regresión lineal se describe mediante la ecuación:

$$Y = A + Bx \qquad \qquad \qquad \text{Ec. 1}$$

Donde:

Y = Variable dependiente (Datos estimados)

X = Variable independiente (Datos de la estación meteorológica).

A = Altura en que la recta de regresión corta el eje y.

B = Pendiente de la recta de regresión.

La estimación de los datos se realiza mediante la herramienta análisis de datos del software Microsoft Excel®, para ello se debe seguir los siguientes pasos:

- Abrir la hoja de cálculo Microsoft Excel, donde se encuentren la base de datos del INAMHI.
- Ir a archivo, opciones y complementos (Ver Fig. 27).

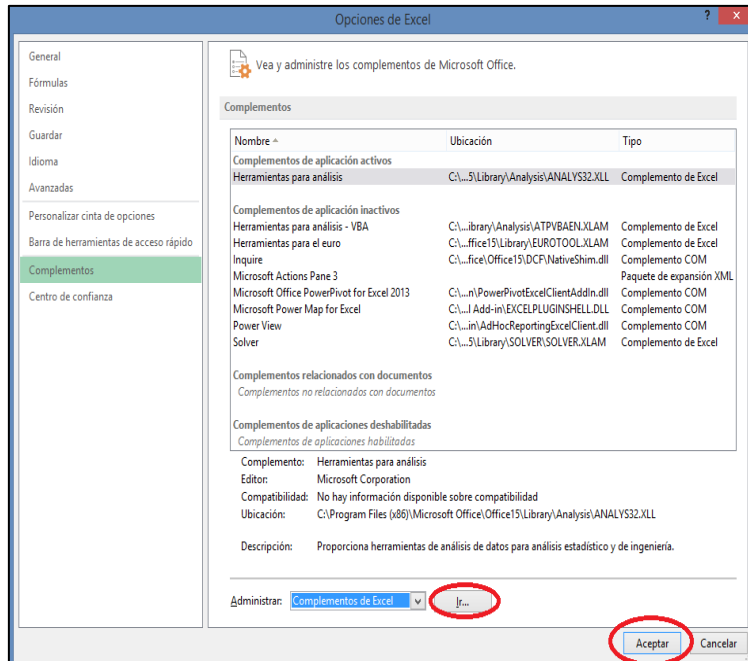


Figura 27. Ventana de activación de herramienta para análisis. **Fuente:** Autor.

- Seleccionar el complemento, herramienta para análisis.
- Seleccionar ir y aceptar, tal como se indica en la Fig. 27.
- A continuación, en la barra de herramientas seleccionar el comando análisis de datos, que se encuentra en la parte superior derecha, en la cual despliega una ventana en la que se debe seleccionar la función Regresión y luego aceptar, véase en la Fig. 28.

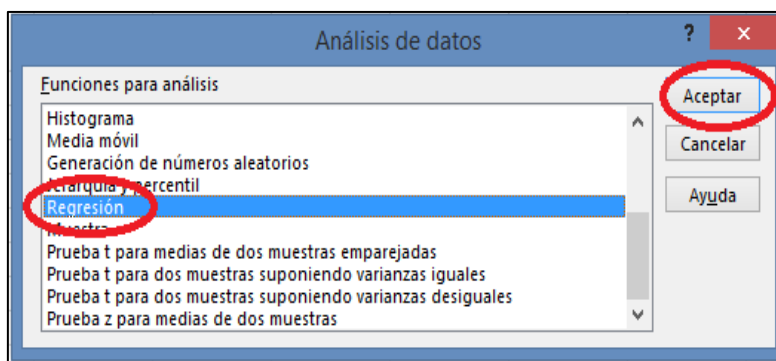


Figura 28. Ventana de análisis de datos. **Fuente:** Autor.

- Ahora, se despliega la ventana de la Fig 29, aquí se debe establecer en rango en Y, X de las variables, seleccionar la opción en una hoja nueva escribir el nombre con el que se va a guardar y le dar clic en aceptar.

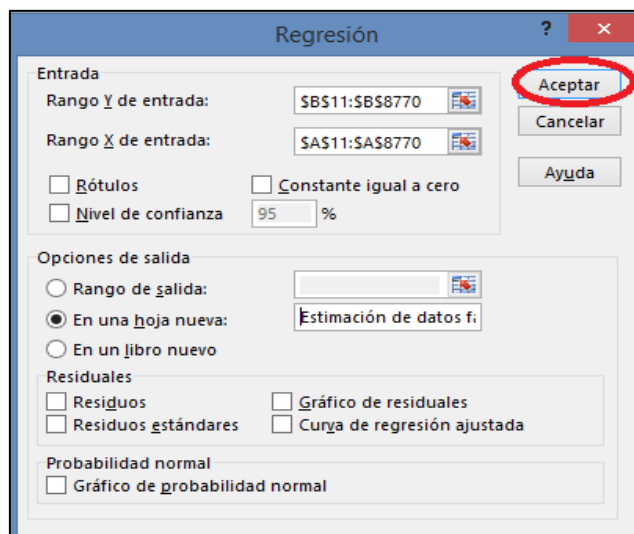


Figura 29. Ventana de Regresión. **Fuente:** Autor.

- A continuación, se genera una hoja de cálculo, con los datos pronosticados aplicado automáticamente el modelo matemático de regresión lineal, además se obtiene el coeficiente de correlación que sirve para determinar la relación entre las dos variables.
- Finalmente, seleccionar los datos obtenidos y completamos los datos que nos faltan.

Es necesario recalcar, que se debe aplicar este proceso para completar los datos de cada una estaciones meteorológicas automáticas excepto para la estación meteorológica MACARÁ, debido que esta no tiene ausencia de datos.

A partir de los datos, de cada una de las bases de datos obtenidas para este proyecto de investigación, se realizó el cálculo de los valores promedio mensuales y anuales de irradiación global horizontal, así como también de temperatura, para el período años incluidos en cada una de las base de datos. Una vez obtenidos todos los valores promedios, para cada una de las cabeceras cantonales del área en estudio se procede a su comparación.

5.5.3. Validación de datos.

Los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas corresponden a los catones de Loja, Calvas y Macará, pertenecientes a la Provincia de Loja, así como también los cantones de Arenillas y las Lajas pertenecientes a la Provincia de el Oro, por lo tanto la validación de datos se realizará para dichos cantones ya que son los únicos cantones que se cuenta

con datos de radiación solar reales, los mismos que fueron proporcionados por el INAMHI, la descarga de los datos satelitales en el caso de los 5 cantones para los cuales se dispone de datos de estaciones meteorológicas, se realizó para las mismas coordenadas geográficas, en las que se encuentran ubicadas cada una de las 5 estaciones meteorológicas, en el caso del Atlas Solar del Ecuador y el Mapa solar del Ecuador 2019, se obtuvo los datos de IGH, interpretando los mapas para cada localidad en estudio.

Una vez obtenidos los datos de irradiación solar tanto de las estaciones meteorológicas así como también para las diferentes bases de datos satelitales, posteriormente se procedió a analizar la relación de dichos datos utilizando el programa Microsoft Excel®, para este análisis se utilizó una comparación gráfica y analítica de irradiación estimados y reales.

5.5.3.1. Estadística comparativa de las fuentes de información

Para la comparación entre los datos de irradiación solar satelitales y los datos reales de las estaciones meteorológicas automáticas, se realizará gráfica y analíticamente. A continuación se describen las herramientas estadísticas que se usarán para el análisis comparativo:

Estadística comparativa gráfica

Para la comparación estadística gráfica, se usarán algunas herramientas que harán posible la relación entre los datos de radiación solar satelitales y los datos de radiación solar reales. Para ello se aplicarán las siguientes herramientas estadísticas graficas:

Diagramas de barras: En este diagrama, se representarán en el eje de abscisas los distintos valores, de cada una de las bases de datos de irradiación solar y sobre cada una de las fuentes de datos se eleva una barra de longitud igual, a la frecuencia correspondiente es decir igual al valor de radiación solar que le corresponda, con la finalidad de conocer el comportamiento y tendencia de los datos estimados frente a los datos reales de las estaciones meteorológicas.

5.5.3.2. Indicadores estadísticos para la comparación de datos de irradiación solar

Según (Djebbar, Morris, Thevenard, Perez, & Schlemmer, 2012; NSRDB, 2018; Raush, Chambers, Russo, & Crump, 2016; Raush et al., 2012), proponen usar indicadores estadísticos de dispersión y similitud para la validación de datos de radiación solar, además afirman que son los indicadores estadísticos más utilizados para el análisis de

datos de radiación solar estos indicadores son: error medio absoluto (MAE), raíz del error cuadrático medio (RMSE), error de sesgo medio (MBE), coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación (R cuadrado) .

Error medio absoluto (MAE): El error medio absoluto, indicador estadístico, que permitirá visualizar el error absoluto entre los dos grupos de datos, con la finalidad de indicar el rendimiento de los datos estimados. El MAE se lo expresa en unidades y porcentajes, el cual debe acercarse a cero para afirmar que el método de estimación de cada una de las fuentes de información se ajusta a la realidad, el rango aceptable se encuentra entre el 0% a 30%. (Vaca Revelo, 2018). A continuación se muestra la ecuación para calcularlos:

$$MAE (kWh/m^2/día) = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |x_{sat,i} - x_{real,i}| \right) \quad Ec. 2$$

$$MAE (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_{sat,i} - x_{real,i}}{x_{real,i}} \right| \quad Ec. 3$$

Donde:

n = Número de datos

x_{sat} = Datos IGH satelitales

x_{real} = Datos IGH reales

El error absoluto medio (MAE) se obtendrá, entre la diferencia del valor de irradiación solar satelital y el valor de irradiación real, es decir el valor verdadero.

Raíz del error medio cuadrático (RMSE): El error medio cuadrático es un indicador estadístico que permitirá conocer, el error global entre los dos grupos de datos, los datos de irradiación solar estimados de cada una de las fuentes de información y los datos reales de las EM. Para que los datos de irradiación solar sean similares a los datos reales, el indicador estadístico RMSE deberá ser bajo. El RMSE se expresara en porcentajes ya que facilita la interpretación del error obtenido. El rango aceptable esta entre 0% a 30%, mientras RMSE se acerca más a cero, indica que los datos estimados están más

aproximados o son similares a los datos reales (Raush et al., 2016). Para obtener, la raíz el error medio cuadrático (RMSE), únicamente se eleva al cuadrado el error medio absoluto (MAE), después se promedia todos los cuadrados y se obtiene su raíz cuadrada. A continuación se presentan las fórmulas para calcularlos:

$$RMSE (kWh/m^2/día) = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (x_{sat,i} - x_{real,i})^2 \right)} \quad Ec. 4$$

$$RMSE (\%) = \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n (x_{sat,i} - x_{real,i})^2 \right)}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{real,i}^2 \right)}} * 100 \quad Ec. 5$$

Donde:

n = Número de datos

x_{sat} = Datos IGH satelitales

x_{real} = Datos IGH reales

Error de sesgo medio (MBE): El error de sesgo medio o sesgo porcentual medio es un indicador que mostrará la medida de sesgo de estimación promedio, es decir permite visualizar si existe una sobreestimación o subestimación promedio entre los datos estimados y datos reales.

Este indicador se obtiene restando los valores de radiación solar estimados y los valores de radiación reales de las EM. Un resultado positivo indicara que los datos estimados sobrestiman a los valores reales y en caso de ser negativo indicara que los datos estimados subestiman a los valores reales. El valor óptimo del sesgo porcentual BIAS, es de 0.0, el cual indica una precisión en los datos satelitales (Díaz Egüez, 2018). A continuación se muestran las ecuaciones para calcularlos:

$$MBE (kWh/m^2/día) = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_{sat,i} - x_{real,i} \right) \quad Ec. 6$$

$$MBE (\%) = \left(\frac{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_{sat,i} - x_{real,i} \right)}{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{real,i} \right)} \right) * 100 \quad Ec. 7$$

Donde:

$n =$ Número de datos

$x_{sat} =$ Datos IGH satelitales

$x_{real} =$ Datos IGH reales

Coefficiente de correlación: El coeficiente de correlación Pearson, es el índice que mide la relación lineal entre dos variables relacionadas, es decir mide el grado de relación entre las dos variables (Díaz Egüez, 2018). A continuación se presenta la fórmula para calcularlo:

$$r = \frac{n(\sum_{i=1}^n x_{sat,i} * x_{real,i}) - (\sum_{i=1}^n x_{sat,i}) * (\sum_{i=1}^n x_{real,i})}{\sqrt{(n * \sum_{i=1}^n x_{sat,i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{sat,i})^2) * (n * \sum_{i=1}^n x_{real,i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{real,i})^2)}} \quad Ec. 8$$

Donde:

$n =$ Número de datos

$x_{sat} =$ Datos IGH satelitales

$x_{real} =$ Datos IGH reales

Mediante, este coeficiente se podrá analizar el comportamiento de dos variables, para la presente investigación, se utilizará, para comprobar la relación entre las distintas fuentes de información de radiación solar en la Región Sur del Ecuador, para comprobar la veracidad y precisión de los datos satelitales en relación a los datos de las estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI.

Para calcular el valor del coeficiente de correlación de Pearson, se realizará en el software Microsoft Excel, de manera muy sencilla usando el comando COEF.DE.CORREL, posteriormente seleccionamos las dos matrices X, Y tal como se muestra en la Fig. 30.

MES	RADIACIÓN		
	INAMHI	NASA	METEONORM
ENERO	4,001	4,830	5,270
FEBRERO	4,457	4,800	5,610
MARZO	3,930	5,190	5,950
ABRIL	4,057	4,880	5,710
MAYO	3,903	4,650	5,270
JUNIO	3,286	4,600	5,320
JULIO	2,552	4,650	5,210
AGOSTO	2,951	4,930	5,840
SEPTIEMBRE	3,858	5,180	5,980
OCTUBRE	4,727	4,950	5,950
NOVIEMBRE	4,888	5,260	5,610
DICIEMBRE	3,705	5,070	5,370
Coefficiente de correlación	=COEF.DE.CORREL(B4:B15;C4:C15)		

Figura 30. Cálculo del coeficiente de correlación de Pearson. Fuente: Autor.

R-Cuadrado: El coeficiente de determinación R^2 , es un parámetro estadístico usado para relacionar datos reales y datos estimados. El coeficiente R^2 cuadrado puede tener valores entre 0 y 1. Al tener el valor de 1, muestra que la relación lineal entre los datos satelitales y reales de irradiación solar son precisos. Para afirmar que dos grupos de datos se encuentran relacionados, el coeficiente de determinación R^2 debe ser igual o mayor a 0.7 (Raush et al., 2016). A continuación, se muestra la fórmula para calcularlo a partir del coeficiente de correlación de Pearson:

$$R^2 = \left[\frac{n(\sum_{i=1}^n x_{sat,i} * x_{real,i}) - (\sum_{i=1}^n x_{sat,i}) * (\sum_{i=1}^n x_{real,i})}{\sqrt{(n * \sum_{i=1}^n x_{sat,i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{sat,i})^2) * (n * \sum_{i=1}^n x_{real,i}^2 - (\sum_{i=1}^n x_{real,i})^2)}} \right]^2 \quad Ec. 9$$

Donde:

n = Número de datos

x_{sat} = Datos IGH satelitales

x_{real} = Datos IGH reales

Para calcular el valor del coeficiente R^2 , al igual, que el coeficiente de correlación de Pearson, se realizará en el software Microsoft Excel, de manera muy sencilla utilizando

el comando COEFICIENTE.R2, y posteriormente seleccionar las dos matrices X, Y tal como se muestra en la Fig. 31.

OMEDIO			
A	B	C	D
MES	INAMHI	NASA	RADIACIÓN METEONORM
ENERO	4,001	4,830	5,270
FEBRERO	4,457	4,800	5,610
MARZO	3,930	5,190	5,950
ABRIL	4,057	4,880	5,710
MAYO	3,903	4,650	5,270
JUNIO	3,286	4,600	5,320
JULIO	2,552	4,650	5,210
AGOSTO	2,951	4,930	5,840
SEPTIEMBRE	3,858	5,180	5,980
OCTUBRE	4,727	4,950	5,950
NOVIEMBRE	4,888	5,260	5,610
DICIEMBRE	3,705	5,070	5,370
Coefficiente de correlación		0,473	0,358
Coefficiente R ²	=COEFICIENTE.R2(C4:C15;B4:B15)		

Figura 31. Cálculo de del coeficiente de determinación R^2 . Fuente: Autor.

Finalmente, para que los datos de radiación solar estimados se asemejen a lo datos reales de las estaciones meteorológicas los indicadores estadísticos MAE, RMSE deben ser bajos, por otro lado el coeficiente de determinación R^2 y el coeficiente de correlación de Pearson deberán ser altos, además el coeficiente de correlación de Pearson debe ser positivo para demostrar los datos satelitales de irradiación solar se ajustan a los datos reales.

5.5.3.3. Obtención del potencial solar incidente los módulos fotovoltaicos

Una vez aplicados los indicadores estadísticos antes mencionados, en el cual se identificará la fuente de información con mayor índice de confiabilidad en sus datos y a partir de esos datos estimar la irradiación solar incidente sobre cada uno de los cantones de la RSE.

La irradiación solar incidente sobre una superficie determinada depende principalmente de su inclinación y orientación, los métodos más usados en la actualidad, es la obtención

de datos de irradiación solar a partir de imágenes satelitales, pudiéndose obtener información en cualquier parte de la superficie terrestre, normalmente en lugares donde no se dispone de estaciones meteorológicas, sin embargo sus resultados no son del todo precisos ya que en su mayoría presentan errores considerables comparándolas con datos de estaciones meteorológicas, además no se considera la inclinación del plano de captación ya que los datos obtenidos son sobre una superficie horizontal.

A continuación, se detalla el procedimiento para obtener los datos de irradiación solar incidente a diferentes ángulos de inclinación, los mismos que serán usados para estimar la producción de energía con sistemas fotovoltaicos.

Como primer paso se mencionan las ecuaciones que determinan la posición del sol para cualquier punto de la superficie terrestre.

Declinación solar: Es el ángulo formado por los rayos del sol y el plano ecuatorial (Duffie, Beckman, & Blair, 1976). Para calcular el valor de la declinación solar se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$\delta(^{\circ}) = 23.45 \text{sen} \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right] \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

d_n = Día del año (Ver Tabla 6)

Tabla 6. Día del año para calcular la declinación para cada mes.

Mes	Día del año (d_n)
Enero	17
Febrero	46
Marzo	75
Abril	105
Mayo	135
Junio	161
Julio	198
Agosto	228
Septiembre	258
Octubre	289
Noviembre	319
Diciembre	345

Fuente: Elaborado por el autor basado en (Caamaño & Egido, 2005)

Las fechas utilizadas no coinciden con el día central del mes por que división del año solar es muy arbitraria (Caamaño & Egido, 2005).

Ángulo solar horario: El ángulo solar horario al amanecer se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\omega_s = -\arccos(-\tan\delta * \tan\Phi) \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

$\Phi = \text{Latitud del lugar}$

La posición del sol en un determinado momento, depende básicamente de la declinación del día y el ángulo solar horario, sin embargo estos dos ángulos no se encuentran referenciados en el sistema de referencia, por lo que es más adecuado determinar la posición del sol usando el ángulo cenital (θ_{zs}) y acimutal (ψ_s) (Caamaño & Egido, 2005).

$$\theta_{zs} = \text{sen}\delta * \text{sen}\Phi + \text{cos}\delta * \text{cos}\Phi * \text{cos}\omega = \text{sen}\gamma_s \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$\gamma_s = \text{Ángulo de elevación}$

$$\text{cos}\psi_s = \frac{\text{sen}\gamma_s * \text{sen}\Phi - \text{sen}\delta}{\text{cos}\gamma_s * \text{cos}\Phi} \quad \text{Ec. 13}$$

Para calcular el ángulo de incidencia es necesario definir la orientación de la superficie mediante los ángulos α y β , donde α indica el acimut de la superficie y β el ángulo que forma la superficie con el plano horizontal (Caamaño & Egido, 2005), por lo tanto el ángulo de incidencia para cualquier valor de α y β se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\text{cos}\theta_s = \text{sen}\delta * \text{sen}\Phi * \text{cos}\beta - \text{sen}\delta * \text{cos}\Phi * \text{sen}\beta * \text{cos}\alpha + \text{cos}\delta * \text{cos}\Phi * \text{cos}\beta * \text{cos}\omega + \text{cos}\delta * \text{sen}\Phi * \text{sen}\beta * \text{cos}\alpha * \text{cos}\omega + \text{cos}\delta * \text{sen}\alpha * \text{sen}\omega * \text{sen}\beta \quad \text{Ec. 14}$$

Radiación solar extraterrestre: Es la cantidad de energía que se recibe fuera de la atmósfera (Duffie et al., 1976), para obtener el valor de la irradiación extraterrestre a lo largo de 1 día se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$B_{0d}(0) = \left(\frac{24}{\pi}\right) * B_{sc} * \varepsilon_0 * (\cos\Phi * \cos\delta) * (\omega_s \cos\omega_s - \text{sen}\omega_s) \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

B_{sc} = Constante solar (1367 W/m²)

ε_0 = Factor de corrección de la excentricidad de la órbita de la Tierra para otras distancias sol-tierra y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360d_n}{365}\right) \quad \text{Ec. 16}$$

El siguiente paso en el cálculo consiste en separar la irradiación solar global horizontal ($IGH_{dm}(0)$) en sus componentes irradiación solar directa y difusa, para ello se usa el método propuesta por (Collares-Pereira & Rabl, 1979), en el que sugiere el uso del índice de claridad K_T , que es la relación entre la irradiación global y la irradiación extraterrestre y la fracción difusa K_D , que no es más que la relación de la irradiación global y la irradiación difusa, para la correlación se usa las siguientes expresiones:

$$K_{Tm} = \frac{IGH_{dm}(0)}{B_{0dm}(0)} \quad \text{Ec. 17}$$

$$K_{Dm} = 1 - 1.13K_{Tm} \quad \text{Ec. 18}$$

$$IDH_{dm}(0) = K_{Dm} * IGH_{dm}(0) \quad \text{Ec. 19}$$

En resumen, con los valores de irradiación global horizontal de la fuente de información con mayor índice de confiabilidad, se procede a calcular la irradiación extraterrestre diaria, posteriormente con el uso de estos valores se obtiene el índice de claridad diario y el valor de la fracción difusa, por último se obtiene la irradiación difusa diaria, y la

irradiación directa diaria se obtiene restando el valor de la irradiación difusa del valor de la irradiación global.

A continuación, a partir de los cálculos mencionados anteriormente se aplica un procedimiento, que permita obtener valores de irradiación incidente sobre la superficie de cada uno de los cantones de la RSE. Se usará un procedimiento válido para cualquier tipo de orientación ya que el cálculo se realizará en intervalos horarios, de modo que se obtenga valores de irradiación incidente para cada hora, sobre cada una de las superficies (cabeceras cantonales RSE).

Para calcular los valores de irradiación horarios a partir de los datos e irradiación diarios calculados anteriormente, se usa las siguientes expresiones:

$$IGH_h(0) = IGH_d(0) * r_g \quad \text{Ec. 20}$$

$$IDH_h(0) = IDH_d(0) * r_d \quad \text{Ec. 21}$$

Donde, los parámetros r_g y r_d se calculan mediante el método propuesto por (Liu & Jordan, 1993):

$$r_d = \frac{\pi}{T} \left(\frac{\cos\omega - \cos\omega_s}{\omega_s \cos\omega_s - \text{sen}\omega_s} \right) \quad \text{Ec. 22}$$

$$r_g = r_d * (a + b * \cos\omega) \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

$T = \text{Longitud del día en horas } (T=24)$

$$a = 0.409 - 0.5016 * \text{sen}(\omega_s + 1.047) \quad \text{Ec. 24}$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 * \text{sen}(\omega_s + 1.047) \quad \text{Ec. 25}$$

Nota: ω y ω_s se debe expresar en radianes

Para obtener la irradiación directa horaria, restamos el valor de la irradiación difusa horaria $IDH_h(0)$ del valor de la irradiación global horaria $IGH_h(0)$.

En general, las fuentes de información que proporcionan datos de irradiación solar, siempre se refieren a superficies horizontales, esto suele ser una incertidumbre ya que en raras ocasiones los módulos fotovoltaicos son instalados en dicha posición, el ángulo que forma el módulo fotovoltaico con el plano horizontal β , y el ángulo que forma el módulo fotovoltaico con el meridiano α , son definidos de acuerdo a sus aplicaciones, por lo tanto pueden tener diferentes valores. Teniendo en cuenta lo antes mencionado es imprescindible obtener las componentes (difusa, directa y albedo) de la irradiación solar horaria sobre una superficie inclinada, utilizando los valores de la irradiación horaria sobre el plano horizontal tanto difusa como directa.

Para calcular la irradiación solar sobre una superficie inclinada $IGH_h(\beta, \alpha)$, primero se obtiene por separado cada una de sus componentes la irradiación directa $IND_h(\beta, \alpha)$, irradiación difusa $IDH_h(\beta, \alpha)$, y la irradiación reflejada $IR_h(\beta, \alpha)$. A continuación se menciona las expresiones para calcularlas:

$$IND_h(\beta, \alpha) = \frac{IND_h(0)}{\cos\theta_{zs}} * \max(0, \cos\theta_s) \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

θ_{zs} = Ángulo cenital

θ_s = Ángulo de incidencia

Para calcular la radiación solar difusa, existen algunos modelos de estimación de irradiación solar por ejemplo Liu y Jordan, Collares-Pereira y Rabl, Pérez entre otros, en esta investigación se usará el modelo de Pérez, que se caracteriza por ser uno de los más utilizados por su nivel de precisión, este modelo considera tres regiones desde donde llega la radiación difusa hasta el plano de captación: una región circunsolar en la que se supone que toda la radiación proviene de un único punto central, una banda horizontal en la que toda la radiación emitida proviene del horizonte y el resto del hemisferio celeste en el que

se supone que se comporta como un emisor isotrópico⁴ de radiación. A continuación se mencionan las expresiones para su cálculo:

$$IDH_{Ch}(\beta, \alpha) = IDH_h(0) * \left[k_3 \frac{\cos\theta_s}{\cos\theta_{zs}} \right] \quad \text{Ec. 27}$$

$$IDH_{Ih}(\beta, \alpha) = IDH_h(0) * \left[\frac{(1 + \cos\beta)(1 - k_3)}{2} + k_4 * \text{sen}\beta \right] \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

$IDH_{Ch}(\beta, \alpha)$ = Irradiación difusa circunsolar horaria

$IDH_{Ih}(\beta, \alpha)$ = Irradiación difusa isotrópica horaria (suma de la irradiación proveniente del horizonte y del cielo)

k_3 y k_4 = Parámetros adimensionales que definen el aporte de la región circunsolar y del horizonte a la sumatoria total de la irradiación difusa.

$$k_3 = k_{31}(\varepsilon) + k_{32}(\varepsilon)\Delta + k_{33}(\varepsilon) * \theta_{zs} \quad \text{Ec. 29}$$

$$k_4 = k_{41}(\varepsilon) + k_{42}(\varepsilon)\Delta + k_{43}(\varepsilon) * \theta_{zs} \quad \text{Ec. 30}$$

$$\varepsilon = \frac{IDH_h(0) + IND_h(0) / \cos\theta_{zs}}{IDH_h(0)} \quad \text{Ec. 31}$$

$$\Delta = \frac{IDH_h(0)}{B_{sc} * \cos\theta_{zs}} \quad \text{Ec. 32}$$

Para la obtención de los coeficientes k_{31} , k_{32} , k_{33} , k_{41} , k_{42} y k_{43} , se realizará a partir de la Tabla 7, los cuales dependen del valor de ε los mismos que serán utilizados, para el cálculo de la irradiación difusa mediante el modelo de Pérez, en cualquier lugar de la superficie terrestre.

⁴ Isotrópico: Es igual en todas la direcciones del espacio.

Tabla 7. Coeficientes para aplicar el modelo de Pérez

<i>Intervalo de \mathcal{E}</i>	k_{31}	k_{32}	k_{33}	k_{41}	k_{42}	k_{43}
1.000 - 1.056	-0.011	0.748	-0.080	-0.048	0.073	-0.024
1.056 - 1.253	-0.038	1.115	-0.109	-0.023	0.106	-0.037
1.253 - 1.586	0.166	0.909	-0.179	0.062	-0.021	-0.050
1.586 - 2.134	0.419	0.646	-0.262	0.140	-0.167	-0.042
2.134 - 3.230	0.710	0.025	-0.290	0.243	-0.511	-0.004
3.230 - 5.980	0.857	-0.370	-0.279	0.267	-0.792	0.076
5.980 - 10.080	0.734	-0.073	-0.228	0.231	-1.180	0.199
10.080 - ∞	0.421	-0.661	0.097	0.119	-2.125	0.446

Fuente: elaborado por el autor basado en (Perez et al., 1987)

Finalmente, se obtiene la irradiación reflejada por la superficie terrestre que incide sobre la superficie de captación, para ello se usa la siguiente expresión:

$$IR_h(\beta) = IGH_h(0) * \rho \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right] \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

$\rho =$ Es la reflectividad del suelo ($\rho = 0.2$)

Una vez obtenidas las 3 componentes de la irradiación solar, se suman para obtener la irradiación global horaria en la superficie de captación.

$$IGH_h(\beta, \alpha) = IND_h(\beta, \alpha) + IDH_h(\beta, \alpha) + IR_h(\beta, \alpha) \quad \text{Ec. 34}$$

La sumatoria de los valores de irradiación captada a lo largo de un día, será la irradiación diaria media $IGH_{dm}(\beta, \alpha)$.

En la Fig. 32, se muestra en forma resumida el proceso de obtención del potencial solar incidente en el plano de captación, específicamente en módulos fotovoltaicos, dependiendo de su ángulo de inclinación β , el proceso se repite para las ubicaciones geográficas de cada uno de los cantones de la RSE.

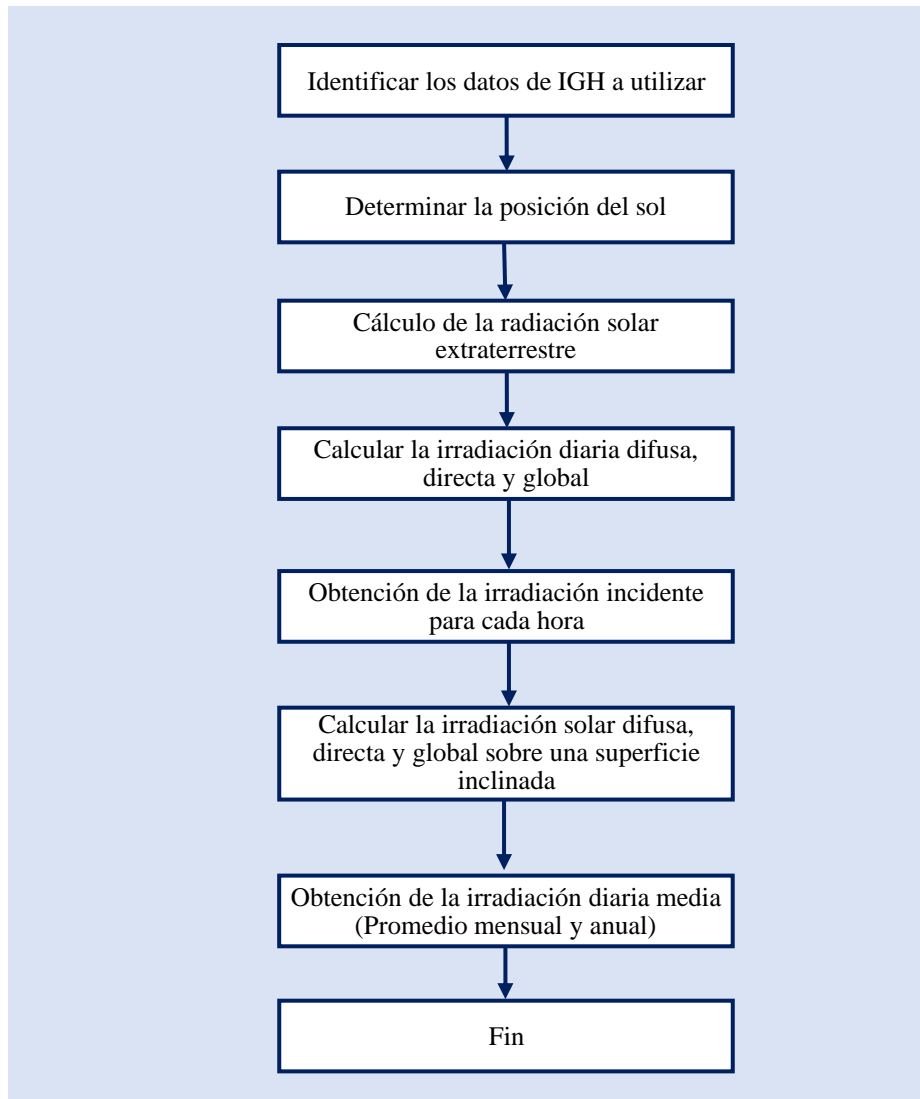


Figura 32. Proceso de obtención del potencial solar en cada cantón de la RSE. **Fuente:** Autor.

5.6. ELABORACIÓN DE LA PLATAFORMA WEB

A continuación, para culminar con el presente trabajo de investigación, se elaborará una plataforma web, en la que se mostrará los datos de irradiación solar global horizontal y temperatura de cada una de las fuentes de información, los mismos que serán obtenidos (ítem 5.4) y validados (ítem 5.5), mediante los procesos mencionados en el apartado anterior, así mismo se mostrará los datos del potencial solar incidente sobre el plano de captación específicamente en módulos fotovoltaicos, los mismos que serán calculados analíticamente, a partir de los datos de la fuente de información que más se ajusta a los datos reales, tal como se menciona en el apartado anterior (ítem 5.5.3.3), finalmente se elaborará una calculadora que estime la producción de energía mensual y anual con

sistemas fotovoltaicos, para una inclinación β de 0° , 5° , 10° , 15° , 20° y 25° , utilizando los datos del potencial solar calculados, dicho contenido que se presentará en la web será de acceso público. A continuación se describe detalladamente el proceso de elaboración de la plataforma web en cada una de sus etapas.

5.6.1. Elección del Software a utilizar

Analizando las diferentes softwares para creación de páginas web, se ha optado por un CMS (Sistema de gestión de contenido), debido a que su contenido se puede gestionarse de manera fácil, sencilla y sobre todo con conocimientos de programación muy básicos, y en algunos casos, se puede gestionar sin conocimientos de programación. Por lo tanto, se descartó la posibilidad de realizarla en HTML5, CSS3 y JavaScript, ya que para usar estos medios se requiere conocimientos de programación avanzados.

Al momento de escoger el CMS, que más se adapte a las necesidades de la plataforma a elaborar y teniendo en cuenta, el tipo de contenido que se va a publicar, se elige WordPress, decisión que se ha tomado en base al mayor número de aplicaciones y funcionalidades, que tiene WordPress, en comparación con otros sistemas de gestión de contenido tales como: Joomla! y PrestaShop.

WordPress, permite crear prácticamente cualquier tipo de páginas web: no sólo sitios personales y blogs, sino también webs corporativas, revistas, tiendas online incluso para periódicos digitales, WordPress, es una de las mejores opciones a la hora de crear páginas web, por ser un CMS de código abierto se puede personalizar y utilizar complementos que se ajustan a nuestras necesidades.

5.6.2. Obtención de un hosting y dominio

Se ha elegido un alojamiento básico en HostGator⁵ que es de pago, esta decisión se tomó con el propósito de mejorar las condiciones de eficiencia y seguridad respecto a los alojamientos gratuitos que se puede acceder a la versión de prueba que en la mayoría de los casos no supera los 30 días.

Al contratar un alojamiento en HostGator, se debe contar con un dominio obligatoriamente, no es posible activar los servicios de alojamiento sin el dominio. En nuestro caso al no contar con un dominio propio se realiza la compra del dominio en el

⁵ HostGator es una empresa Estadounidense proveedora de alojamientos web.

mismo HostGator, con el nombre potencial-solar-rse.com. A continuación en la Tabla 8, se presentan las características más importantes del alojamiento contratado:

Tabla 8. Características del alojamiento web contratado

<i>Características</i>	
Precio del Alojamiento	\$ 53.78
Precio del dominio	\$ 15
Espacio de almacenamiento	Ilimitado
Ancho de Banda	Ilimitado
Soporte al consumidor	24 horas los 365 días del año
Cuentas FTP ⁶	Ilimitadas
Almacenamiento de correo electrónico	Correo electrónico con tu nombre de dominio
Instalación de WordPress	Con un solo clic
Garantía de devolución del dinero	45 días

Fuente: Autor

5.6.3. Estructura de la página Web

Antes de comenzar con el proceso de elaboración de la página web, es necesario conocer el diseño a realizar. El diseño de la página web, **Potencial solar en la Región Sur del Ecuador**, se caracteriza por tener una estructura común, sencilla pero con estilo moderno en la que se pueda localizar los datos de irradiación solar global, tanto horizontal como en el plano de captación, así mismo se presentará una herramienta de cálculo que permita obtener la producción de energía con sistemas fotovoltaicos y finalmente se presentará una descripción general y resumida del presente proyecto de investigación, véase en la Fig. 33.

⁶ FTP Protocolo de transferencia de archivos. Es decir, es un sistema que sirve para transferir archivos de un ordenador a otro.

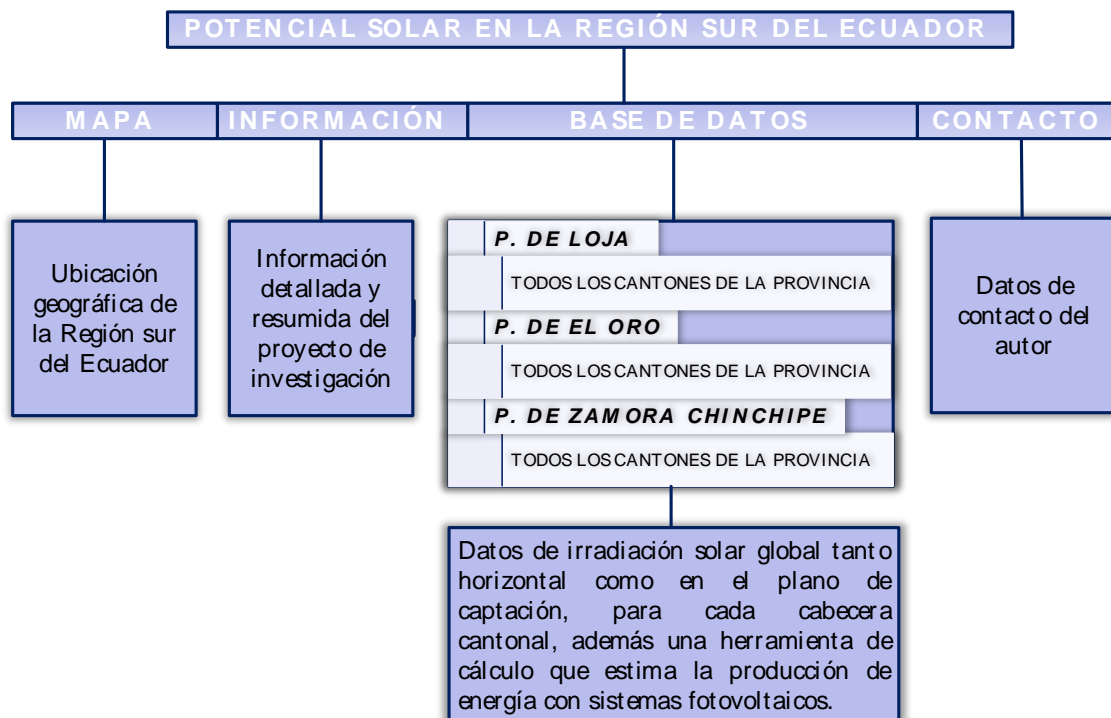


Figura 33. Estructura de la página web. Fuente: Autor

5.6.4. Estimación de la producción de Energía con SFV

Según algunos autores (Ente Vasco de la Energía, 1392; Salamanca-Avila, 2017; Schallenberg et al., 2008), la energía producida por los sistemas fotovoltaicos, se calcula multiplicando la potencia del módulo fotovoltaico o la potencia de la instalación en W (Vatios) por el número de horas sol pico, dado que no todas las horas de sol son de la intensidad considerada como pico (1000 W/m²). El número de horas sol pico de un día concreto se obtendrá dividiendo toda la energía producida en ese día (en Wh/m²) entre 1 kW/m².

$$E_U = P_M * HSP$$

Ec. 35

Donde:

E_U = Energía generada (Wh/día)

P_M = Potencia pico del módulo fotovoltaico o instalación fotovoltaica (W)

HSP = Hora sol pico (h/día)

Para calcular el número de módulos fotovoltaicos se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$N_M = \frac{P_{NI}}{P_M} \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

N_M = Número de módulos fotovoltaicos

P_{NI} = Potencia nominal de la instalación fotovoltaica (W)

P_M = Potencia nominal de los módulos fotovoltaicos (W)

Desde otro punto de vista los autores (Ávila, Bravo, & Puebla, 2014; Romero Jacobo, 2013), afirman, que la máxima energía que puede producir un sistema fotovoltaico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$E_U = I * \eta_M * A_M \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

E_U = Energía útil (Wh/día)

I = Irradiación solar global (kWh/m²/día)

η_M = Eficiencia de los módulos fotovoltaicos

A_M = Área del módulo fotovoltaico (m²)

5.6.4.1. Estimación de energía de un SFV según la inclinación de los módulos FV

Para estimar la energía útil que generaría un SF, según el plano de captación, es decir de acuerdo al ángulo de inclinación (β) de los módulos fotovoltaicos, según (Caamaño & Egido, 2005; Energema, 2014) la energía esperada por un SF se obtiene mediante las siguiente expresiones:

$$E_U = P_{NI} * Y_R * (1 - FS) * PR \quad \text{Ec. 38}$$

Donde:

$E_U =$ *Energía útil estimada*

$P_{NI} =$ *Potencia Nominal de la instalación (W)*

$Y_R =$ *Número de horas sol pico*

$FS =$ *Factor de pérdidas por sombras*

$PR =$ *Rendimiento característico de la instalación (%)*.

El factor de pérdidas por sombras (FS) depende de la ubicación de la instalación, la cual hace referencia a obstáculos que proyecten sombras sobre la superficie de captación (módulos fotovoltaicos), que interfieran en la irradiación incidente que llega a la misma, para estimar la producción de energía se usa un factor de pérdidas de cero, debido a que este valor depende si existen o no sombras en el lugar de la instalación (Factor que debe considerar el diseñador).

El rendimiento característico (PR), incluye pérdidas en DC y AC, en cables, temperatura de las células fotovoltaicas, polvo y suciedad en los módulos FV, pérdidas en el inversor, seguimiento del PMP, etc. Para estimar la producción de energía que tendría una instalación fotovoltaica, (Lorenzo, Navarrete, Leloux, & Villagrà, 2011) afirman que el factor PR es un valor que varía de acuerdo a los fallos y el tipo (tamaño) de instalaciones, según (Energema, 2014; Urrejola et al., 2016) recomiendan usar un rendimiento característico de 0.70 – 0.75, valores basados en la experiencia y análisis de instalaciones bien diseñadas, para la elaboración de la calculadora solar en la presente investigación se usará un rendimiento de 0.75.

6. RESULTADOS

A continuación, en este capítulo se presentan los resultados obtenidos, una vez aplicada la metodología planteada en el capítulo anterior. Los resultados que se muestran corresponden al analizar los datos obtenidos para cada una de las 5 estaciones de meteorológicas en estudio, en el caso de la Provincia de Loja se analizó la información para los cantones: Loja, Calvas y Macará, así como también los cantones de Arenillas y las Lajas pertenecientes a la Provincia de el Oro, esto con la finalidad de determinar la fuente de información más confiable, datos que se utilizaron, para la obtención del potencial solar incidente en módulos fotovoltaicos, dependiendo de su ángulo de inclinación, para las coordenadas geográficas de cada uno cantones de la RSE.

Finalmente, se detallan los resultados obtenidos en la elaboración de la plataforma web, que permita la obtención de datos de cada uno de los cantones en estudio, así como también una herramienta de cálculo que estime la producción de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, utilizando el potencial solar incidente, obtenido en cada uno de los cantones de la RSE.

6.1. Datos de estaciones meteorológicas

Una vez recopilados y organizados los datos de cada una de las respectivas estaciones meteorológicas en estudio, las mismas que son operadas por el INAMHI, se procedió a hacer un registro del número de datos faltantes para cada estación meteorológica y adicionalmente se analizó también aquellos valores fuera de rango, para lo cual se descartaron los valores mayores a 1 W/m^2 entre las 19h00 y 05h00. Posteriormente el número de datos faltantes para cada una de las estaciones meteorológicas, se expresó en porcentajes para una mejor interpretación (Tabla 9).

Tabla 9. Calidad de datos de las estaciones meteorológicas.

<i>Provincia</i>	<i>Nombre de la estación</i>	<i>Número de datos Faltantes</i>	<i>Datos Faltantes (%)</i>
LOJA	CARIAMANGA	1092	3.12%
LOJA	MACARÁ	0	0%
EL ORO	LAS LAJAS	778	2.22%
EL ORO	LA CUCA	453	1.29%

Fuente: Autor

La estación meteorológica “MACARÁ M1259”, ubicada en la Provincia de Loja, presentó una mejor calidad en los datos de irradiación solar, con un 0% de ausencia de datos, seguido de las estaciones Meteorológicas “LA CUCA M0012” y “LAS LAJAS M1246” ubicadas en la provincia del Oro, con 1.293% y 2.22% respectivamente, finalmente las estaciones meteorológicas “LA ARGELIA M0033” y “CARIAMANGA M0146” pertenecientes a la Provincia de Loja, son las que presentaron una mayor ausencia en sus datos con un 2.75% y 3.12% respectivamente. Es importante mencionar que para las estaciones meteorológicas, “MACARÁ M1259” y “LA ARGELIA M0033”, se obtuvo información para los años 2017 y 2018, mientras que para las otras tres estaciones meteorológicas se obtuvo datos para los años 2015-2018. En el caso de los datos de temperatura, no es necesario realizar ningún procesamiento previo al análisis, ya que no presentan ausencia en sus datos para ninguna de las estaciones meteorológicas (Ver los Anexos 4, 10, 11, 20 y 26).

6.2. Datos satelitales

Para las fuentes de información de la NASA y METEONORM se descargaron datos satelitales promedio mensuales de radiación solar global y temperatura en unidades de kWh/m²/día y °C respectivamente, por su parte para el NREL se descargaron datos horarios de radiación solar global en W/m² así como también de temperatura en °C, los cuales corresponden a los años 2013-2017. Esta base de datos no presenta ausencia de datos ni datos fuera de rango, por lo que no fue necesario ningún procesamiento previo de los datos antes usarlos, solamente fue necesario realizar conversión de unidades.

Los datos se obtuvieron, para las coordenadas geográficas de cada una de las cabeceras cantonales de la Región Sur del Ecuador, excepto para los cantones para los cuales se dispone información de las estaciones meteorológicas, en este caso se descargó los datos usando coordenadas geográficas de cada una de las 5 estaciones meteorológicas a analizar (Véase los Anexos 4-42).

6.3. Datos del Atlas solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019

Los datos de radiación solar global provenientes del atlas solar del Ecuador y del mapa solar del Ecuador 2019, se obtuvieron analizando e interpretando cada uno de los mapas mensuales de irradiación solar global horizontal, en Wh/m²/día, en el caso del Atlas solar

del Ecuador y en kWh/m²/día, para el mapa solar del Ecuador 2019. En este caso es necesario recalcar que estas fuentes de información carecen de datos de temperatura (Véase en los Anexos 4-42).

6.4. Análisis de datos de IGH

6.4.1. Análisis estadístico de datos de radiación solar

Una vez estimados los datos faltantes, para cada estación meteorológica usando el método de regresión lineal, se procedió al análisis de los mismos. En el caso de los datos del NREL y estaciones meteorológicas en primer lugar, se realizó una sumatoria diaria, mensual y anual así como también promedio diario mensual y anual en kWh/m²/día. Para los datos de la NASA, METEONORM, Atlas solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019, no fue necesario realizar ningún cálculo ya que se obtuvieron los datos directamente en promedios mensuales y anuales.

El análisis comparativo entre cada fuente de información se realizó para los datos promedios mensuales y anuales, debido a que las fuentes de información de la NASA, METEONORM, Atlas solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019, solo se obtuvo datos promedios mensuales y anuales.

Posteriormente, se calculó el error absoluto medio (MAE) y el error medio cuadrático (RMSE) para cada uno de los meses, entre los datos reales y cada una de las bases de datos de las distintas fuentes de información. Además, se obtuvo el coeficiente de correlación Pearson, usado para analizar el comportamiento de las dos variables y el coeficiente de determinación R^2 , parámetro estadístico usado para relacionar datos reales y datos estimados, mediante el cual se determina el nivel de confiabilidad, de los datos de cada una de las fuentes de información. Finalmente, se determinó el error de sesgo medio o sesgo porcentual medio (MBE), usando los valores promedios anuales de irradiación solar para cada una de las fuentes de información utilizadas en este estudio.

6.4.1.1. Estación Agrometeorológica M0033 "LA ARGELIA"

Según la Tabla 10, en la estación la ARGELIA, se obtuvo un valor del coeficiente de correlación de Pearson menor a 0.7, para las fuentes de información de la NASA y METEONORM, lo cual indica una correlación muy baja entre los datos satelitales y reales, pero en el caso del Atlas Solar del Ecuador, NREL y el Mapa solar del Ecuador

2019, la correlación fue mucho mayor presentando valores de 0.825, 0.845 y 0.862 respectivamente. De la misma manera el coeficiente de determinación R^2 para la NASA y METEONORM son bajos, lo cual indica que los datos satelitales no presentan un índice de confiabilidad aceptable, no siendo así para el Atlas Solar del Ecuador, NREL y Mapa solar del Ecuador 2019, que presentan valores superiores a 0.7, indicando un elevado índice de confiabilidad en sus datos.

Por otro lado el MAE y RMSE, en el caso de la NASA y METEONORM, presentan un MAE y RMSE superior al aceptable, lo cual indica que los datos no son comparables, mientras tanto que para los datos del Atlas Solar del Ecuador, NREL y el Mapa solar del Ecuador 2019, presentan valores inferiores al 30%, lo cual afirma, que los datos de irradiación solar global son comparables. Finalmente, analizado el sesgo porcentual medio (MBE), se pudo determinar que los datos de todas las fuentes de información utilizadas en este estudio, son mayores a los datos reales, es decir existe una sobreestimación de datos, véase en el Anexo 43, más detalladamente los valores estadísticos utilizados en este análisis.

Tabla 10. Indicadores estadísticos para la estación agrometeorológica M0033 “LA ARGELIA”.

<i>VARIABLES</i>	<i>MAE (%)</i>	<i>MBE (%)</i>	<i>RMSE (%)</i>	<i>R²</i>	<i>PEARSON</i>
INAMHI/NASA	31.054%	27.699%	38.479%	0.224	0.473
INAMHI/METEONORM	49.113%	45.089%	55.835%	0.128	0.358
INAMHI/ATLAS SOLAR	15.202%	13.229%	19.528%	0.680	0.825
INAMHI/NREL	19.237%	17.481%	23.255%	0.715	0.845
INAMHI/M. SOLAR 2019	20.445%	20.691%	25.828%	0.743	0.862

Fuente: Autor

6.4.1.2. Estación Meteorológica Automática M0146 "CARIAMANGA"

En la estación la CARIAMANGA, los datos de METEONORM presentaron un coeficiente de correlación de Pearson de 0.58, lo cual indica una correlación fuera del rango aceptable, a diferencia de la NASA, Atlas Solar del Ecuador, NREL y el Mapa solar del Ecuador 2019, se obtuvo valores del coeficiente de correlación de Pearson mayores, con valores de 0.803, 0.871, 0.703 y 0.814 respectivamente lo cual indica una correlación aceptable entre los datos satelitales y reales. En el caso del coeficiente de determinación R^2 , para 4 de las 5 fuentes de información se obtuvo valores por debajo

del rango aceptable, lo cual indica que los datos satelitales presentan un bajo índice de confiabilidad, siendo únicamente el Atlas solar del Ecuador el que presenta un valor 0.76, el cual se encuentra dentro del rango aceptable.

Por otro lado METEONORM, presenta errores MAE y RMSE superiores al 30%, el cual indica que los datos satelitales no son comparables con los reales, mientras tanto que para la NASA, Atlas Solar del Ecuador, NREL y Mapa solar del Ecuador 2019, los errores MAE y RMSE se encuentran dentro del rango permitido, demostrando de la misma manera que los datos son comparables. Al analizar los valores del sesgo porcentual medio (MBE), se determinó que los datos de todas las fuentes de información son superiores a los datos reales, por lo tanto los datos satelitales presentan una sobreestimación frente a los datos reales (véase la Tabla 11), en el Anexo 44 se puede ver detalladamente cada uno de los valores estadísticos obtenidos en este análisis.

Tabla 11. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M0146 “CARIAMANGA”.

<i>VARIABLES</i>	<i>MAE</i> (%)	<i>MBE</i> (%)	<i>RMSE</i> (%)	<i>R²</i>	<i>PEARSON</i>
INAMHI/NASA	22.774%	21.267%	25.908%	0.645	0.803
INAMHI/METEONORM	34.280%	32.150%	38.448%	0.330	0.575
INAMHI/ATLAS SOLAR	21.727%	19.935%	24.552%	0.759	0.871
INAMHI/NREL	24.710%	22.693%	29.170%	0.495	0.703
INAMHI/M. SOLAR 2019	20.374%	19.935%	24.285%	0.662	0.814

Fuente: Autor

6.4.1.3. Estación Meteorológica Automática M1259 "MACARÁ"

En el caso de la estación MACARÁ, se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson superior a 0.7, para todas las fuentes de información, mediante lo cual indica una correlación óptima para la comparación de datos satelitales y reales (véase la Tabla 12). Por otro lado, el coeficiente de determinación R^2 presenta un valor por debajo del rango aceptable, únicamente para METEONORM, con un valor de 0.522, mediante el cual se determina un bajo índice de confiabilidad de los datos satelitales, no siendo así para las otras 4 fuentes de información, ya que se obtuvo un valores de R^2 superiores a 0.7, que es el rango mínimo aceptable, lo cual afirma que los datos satelitales son bastante aproximados a la realidad.

Los resultados obtenidos del MAE y RMSE son todos inferiores al 30%, para cada una de las fuentes de información, los mismos que indican que los datos satelitales son comparables con los datos reales. A continuación, se analizaron los valores del sesgo porcentual medio (MBE), en el cual se determina, que todos los datos de cada una de las fuentes de información sobreestiman a los datos reales de las estaciones meteorológicas, debido a que presentan valores positivos en todos los casos (véase en la Tabla 12). Obsérvese detalladamente todos los cálculos en el Anexo 45.

Tabla 12. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M1259 “MACARÁ”

<i>VARIABLES</i>	<i>MAE (%)</i>	<i>MBE (%)</i>	<i>RMSE (%)</i>	<i>R²</i>	<i>PEARSON</i>
INAMHI/NASA	14.547%	13.886%	16.337%	0.773	0.879
INAMHI/METEONORM	19.842%	18.892%	22.385%	0.522	0.722
INAMHI/ATLAS SOLAR	17.531%	15.763%	19.148%	0.766	0.875
INAMHI/NREL	6.190%	2.292%	7.759%	0.849	0.922
INAMHI/M. SOLAR 2019	11.827%	12.635%	12.952%	0.764	0.874

Fuente: Autor

6.4.1.4. Estación Meteorológica Automática M0012 "LA CUCA"

En la estación LA CUCA, para los datos de la NASA se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson de 0.507, de tal manera que se encuentra fuera del rango permitido para relacionar dos variables, a diferencia de METEONORM, Atlas Solar del Ecuador, NREL y el Mapa solar del Ecuador 2019, que se obtuvieron valores del factor de correlación de Pearson mayores a 0.7, lo cual afirma una correlación aceptable entre los datos satelitales y reales (ver Tabla 13). En el caso del coeficiente de determinación R^2 para la NASA y el Atlas Solar del Ecuador se obtuvieron valores por debajo del rango aceptable, lo cual indica que los datos satelitales presentan un bajo índice de confiabilidad, no siendo así para METEONORM, NREL y el Mapa solar del Ecuador 2019, ya que se obtuvieron valores de 0.722, 0.791 y 0.707 respectivamente.

Por otro lado la NASA, presentó un error de MAE y RMSE superior al 30%, el cual indica que los datos satelitales no son comparables con los reales, mientras tanto que para METEONORM, Atlas Solar del Ecuador, NREL y el Mapa solar del Ecuador 2019, MAE y RMSE se encuentran dentro del rango permitido, de tal manera que se afirma que los datos son comparables. Finalmente, con el análisis de valores del sesgo porcentual medio (MBE), se determinó que los datos de todas las fuentes de información son superiores a

los datos reales, por lo tanto los datos satelitales presentan una sobreestimación frente a los datos reales, ya que los valores porcentuales presentan una inclinación positiva (véase la Tabla 13), en el Anexo 46 se puede observar todos los cálculos obtenidos detalladamente.

Tabla 13. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M0012 “LA CUCA”

<i>VARIABLES</i>	<i>MAE</i> (%)	<i>MBE</i> (%)	<i>RMSE</i> (%)	<i>R²</i>	<i>PEARSON</i>
INAMHI/NASA	50.621%	49.226%	52.889%	0.257	0.507
INAMHI/METEONORM	23.049%	22.587%	24.369%	0.722	0.850
INAMHI/ATLAS SOLAR	6.968%	5.959%	10.947%	0.562	0.750
INAMHI/NREL	7.712%	7.116%	9.615%	0.791	0.889
INAMHI/M. SOLAR 2019	7.478%	3.595%	9.397%	0.707	0.841

Fuente: Autor

6.4.1.5. Estación Meteorológica Automática M1246 " LAS LAJAS"

En el análisis de datos de la estación LAS LAJAS, los datos NASA y METEONORM se obtuvo un valor del coeficiente de correlación de Pearson inferior al mínimo permisible, lo cual indica una correlación muy baja entre los datos satelitales y reales, pero en el caso del Atlas Solar del Ecuador, NREL y el Mapa Solar del Ecuador 2019, se obtuvieron valores de 0.808, 0.912 y 0.845 respectivamente, mediante lo cual se afirma una correlación muy alta entre los datos satelitales y los datos reales. Así mismo, el coeficiente de determinación R^2 , en el caso de la NASA y METEONORM, presentan valores muy bajos, afirmando que los datos estimados no son confiables, mientras tanto el Atlas solar del Ecuador, tiene un R^2 , aproximado al mínimo aceptable, con un valor de 0.652, a diferencia del NREL y el Mapa solar del Ecuador 2019, que presentan valores superiores al mínimo aceptable, con valores de 0.831 y 0.715 respectivamente.

La NASA, presenta un MAE y RMSE de 44% y 45.5% respectivamente, lo cual implica que los datos estimados no son comparables con los datos reales, mientras tanto para las otras 4 fuentes de información, el MAE y RMSE se encuentran dentro del rango aceptable, lo cual afirma que los datos de radiación solar satelitales y los datos de radiación solar reales son comparables.

Finalmente, se analizó el sesgo porcentual medio (MBE), con lo cual se determinó que los datos de todas las fuentes de información, son mayores que los datos reales, es decir existe una sobreestimación de los datos satelitales frente a los datos reales (véase en la

Tabla 13). En el Anexo 47, se puede observar más detalladamente cada uno de los indicadores estadísticos obtenidos.

Tabla 14. Indicadores estadísticos para la estación meteorológica M1246 “LAS LAJAS”.

<i>VARIABLES</i>	<i>MAE (%)</i>	<i>MBE (%)</i>	<i>RMSE (%)</i>	<i>R²</i>	<i>PEARSON</i>
INAMHI/NASA	44%	43.564%	45.555%	0.097	0.311
INAMHI/METEONORM	25.095%	24.817%	26.543%	0.257	0.507
INAMHI/ATLAS SOLAR	7.228%	7.178%	10.327%	0.652	0.808
INAMHI/NREL	2.663%	1.182%	3.160%	0.831	0.912
INAMHI/M. SOLAR 2019	3.682%	6.783%	4.541%	0.715	0.845

Fuente: Autor

6.4.2. Análisis mediante estadística gráfica

Para el análisis mediante gráficos entre cada fuente de información, se realizará para los datos promedios mensuales, debido a que las fuentes de información de la NASA, METEONORM y Atlas solar del Ecuador y el Mapa solar del Ecuador 2019, solo se obtuvo datos promedios mensuales y anuales, tal como se realizó para el análisis de los indicadores estadísticos. Tras comparar y analizar las gráficas de datos de irradiación solar global horizontal para cada una de las 5 fuentes de información, frente a los datos reales de las estaciones meteorológicas, se obtuvieron los resultados que serán expuestos a continuación.

6.4.2.1. Estación Agrometeorológica M0033 "LA ARGELIA"

En el presente apartado se expone los resultados obtenidos para la estación meteorológica, LA ARGELIA. Se representa el promedio mensual de radiación solar global para cada una de las fuentes de información utilizadas en el presente estudio en kWh/m²/día, donde se puede apreciar en forma gráfica los valores mensuales de cada mes para cada una de las fuentes de información (Fig. 34).

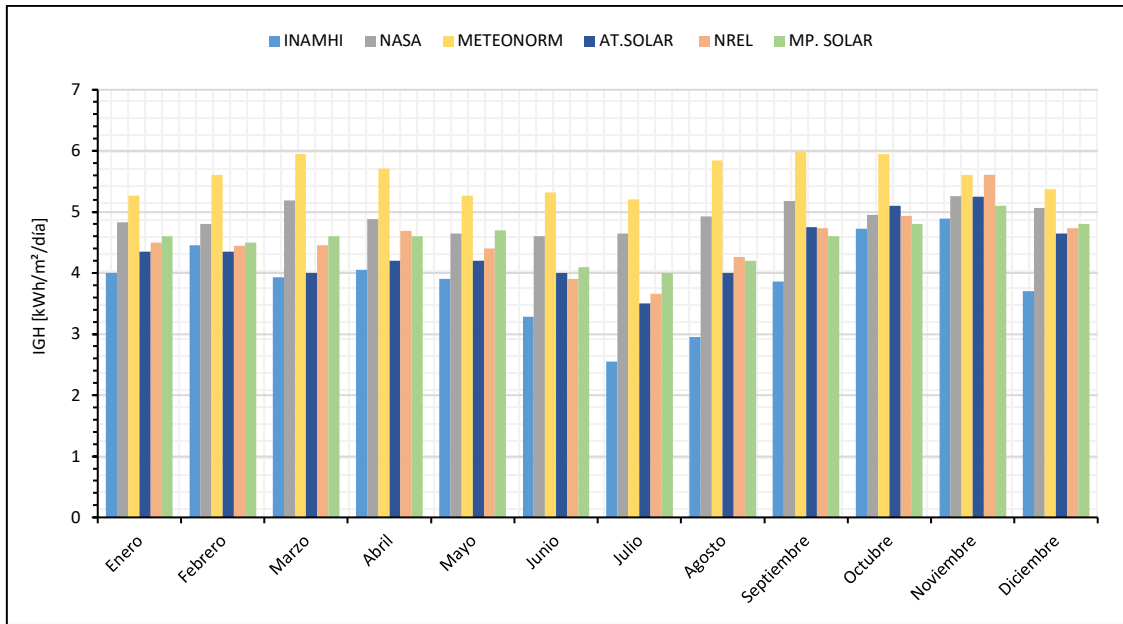


Figura 34. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación agrometeorológica M0033 “LA ARGELIA”. **Fuente:** Autor

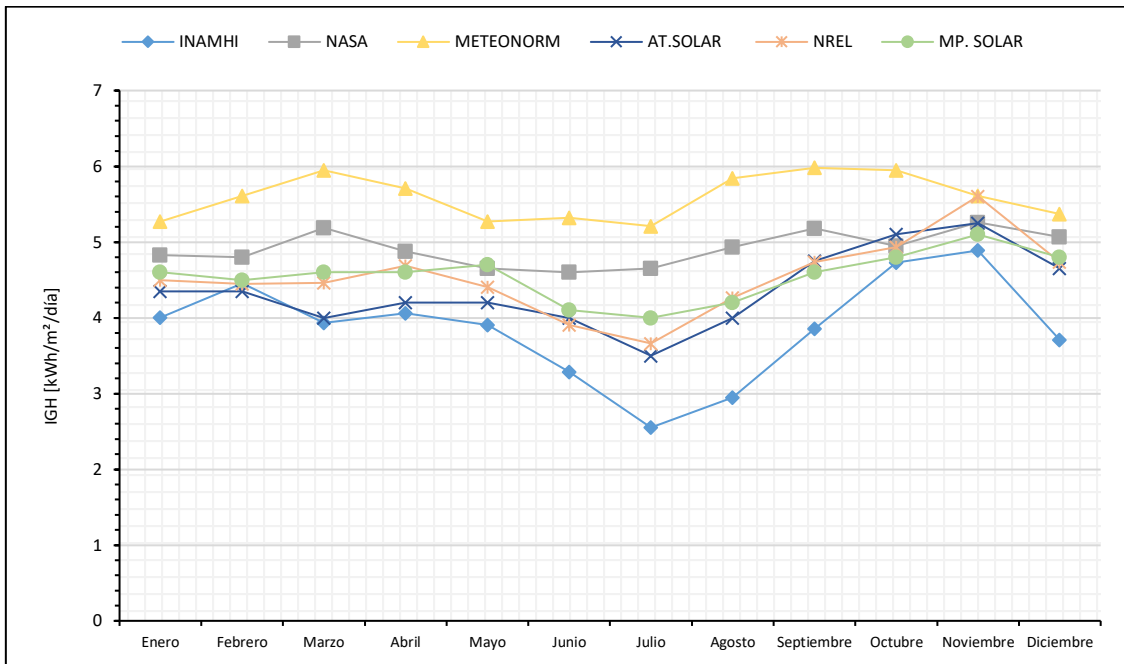


Figura 35. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación agrometeorológica M0033 “LA ARGELIA”. **Fuente:** Autor

En la Fig. 35, se puede observar que los valores oscilan entre 2.5 y 6 kWh/m²/día, donde las 6 fuentes de información, presentan una tendencia similar respecto a sus picos máximos alcanzados y sus puntos mínimos, en donde se puede apreciar que en el primer

y último cuatrimestre del año presentan la mayor irradiación solar a lo largo de todo el año, siendo estos los máximos alcanzados y que el mes coincidente con menor radiación solar es en el mes de julio. Sin embargo, es necesario mencionar que los datos de METEONORM, presentan una diferencia considerable en sus datos respecto a los datos reales. Finalmente, se afirma que los datos satelitales sobrestiman a los datos reales, tal como se expuso en el análisis del error de sesgo medio (MBE) (Ver Sección 6.4.1.1).

6.4.2.2. Estación Meteorológica Automática M0146 "CARIAMANGA"

Para la estación meteorológica CARIAMANGA, se muestra un resumen de los resultados obtenidos mediante un gráfico de barras (véase en la Fig. 36), mediante el cual se representan los datos de radiación solar global para cada una de las fuentes de información utilizadas en el presente estudio en kWh/m²/día, en donde se puede observar claramente que los datos de METEONORM, son las que presentan una diferencia notoria respecto a los datos reales, tal como se expuso en la Sección 6.4.1.2.

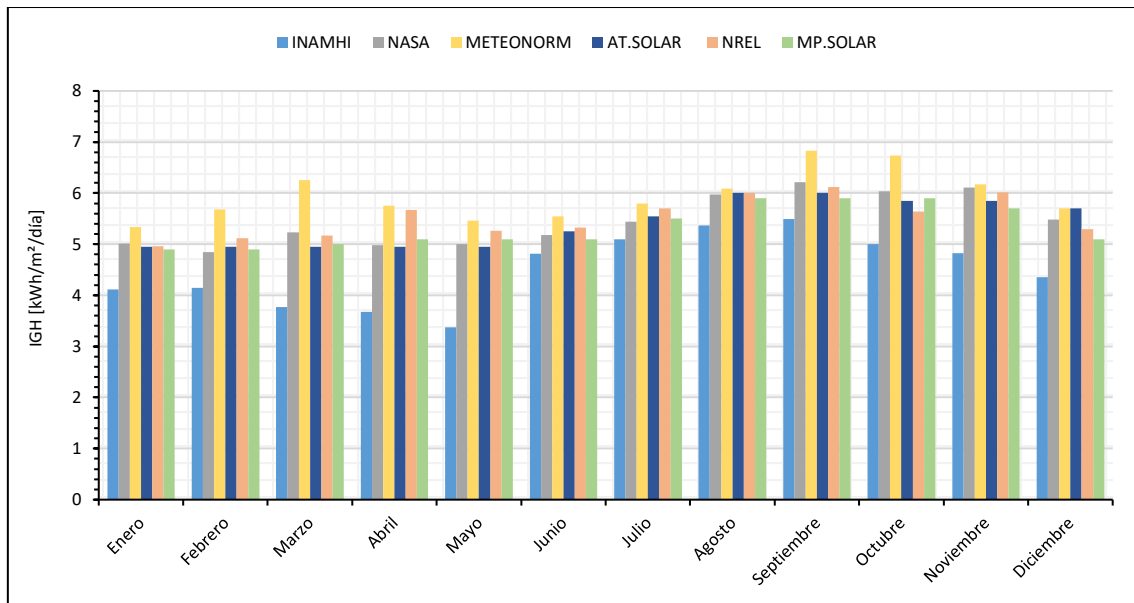


Figura 36. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M0146 "CARIAMANGA". **Fuente:** Autor.

A continuación en la Fig. 37, se puede observar que los valores oscilan entre 3.2 y 6.9 kWh/m²/día aproximadamente, donde las 6 fuentes de información utilizadas, presentan una tendencia similar respecto a sus picos máximos alcanzados y sus puntos mínimos, en donde se puede apreciar que en el mes de septiembre presenta la mayor irradiación solar

global horizontal a lo largo de todo el año, siendo estos datos los máximos alcanzados y que el mes coincidente con menor irradiación solar global es el mes de mayo. En general, el comportamiento de los datos satelitales es similar respecto a los datos reales de la estación meteorológica, verificando así la relación existente entre los datos satelitales y reales.

Por otro lado, se determinó que los datos satelitales sobrestiman a los datos de la estación meteorológica, tal como se mostró anteriormente en el análisis de indicadores estadísticos.

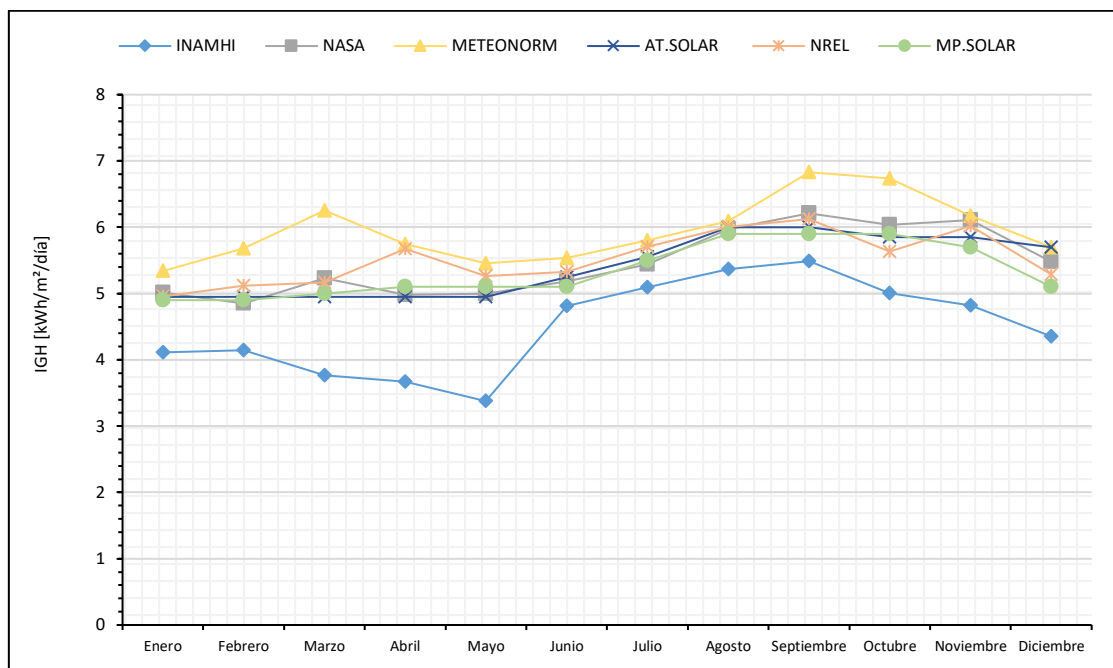


Figura 37. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M0146 "CARIAMANGA". **Fuente:** Autor

6.4.2.3. Estación Meteorológica Automática M1259 "MACARÁ"

En la Fig. 38, se expone gráficamente los resultados obtenidos de la comparación de datos de irradiación solar global horizontal, para cada una de las fuentes de información NASA, METEONORM, NREL, Atlas Solar del Ecuador, Mapa solar del Ecuador 2019 y datos reales de las estación meteorológica automática M1259 "MACARÁ", en kWh/m²/día. Los datos representados gráficamente corresponden a los promedios mensuales, para cada uno de los meses del año, además de eso se puede notar claramente que los datos satelitales son bastante similares respecto a los datos reales, lo cual indica un elevado

índice de confiabilidad y precisión en sus datos. De tal manera que estos resultados afirman los resultados obtenidos mediante indicadores estadísticos (Ver Sección 6.4.1.3).

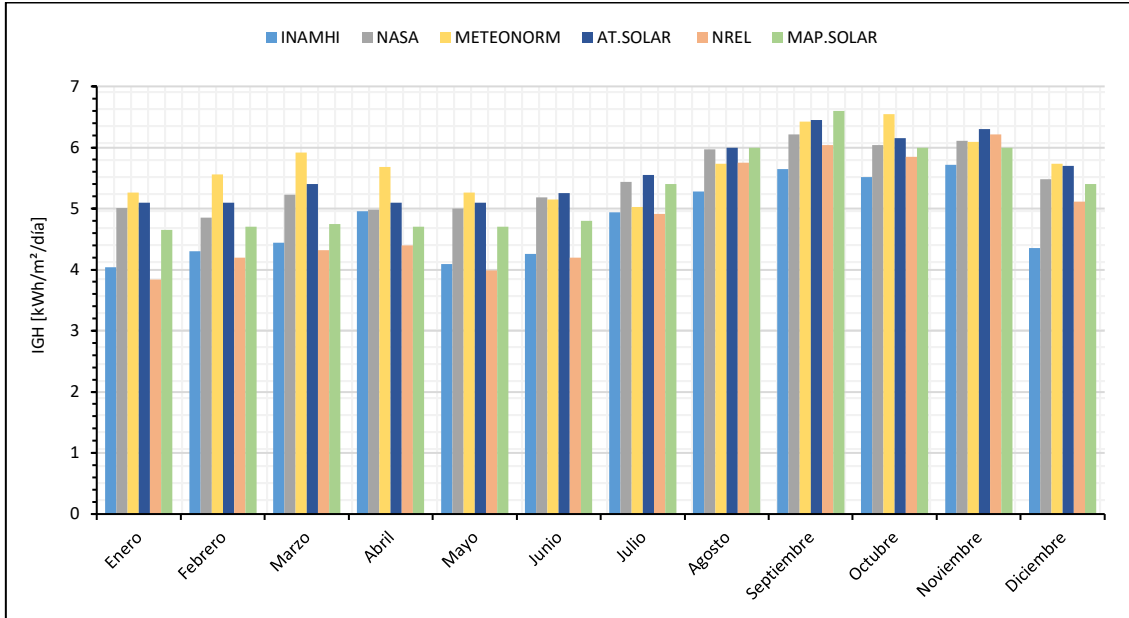


Figura 38. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M1259 “MACARÁ”. **Fuente:** Autor

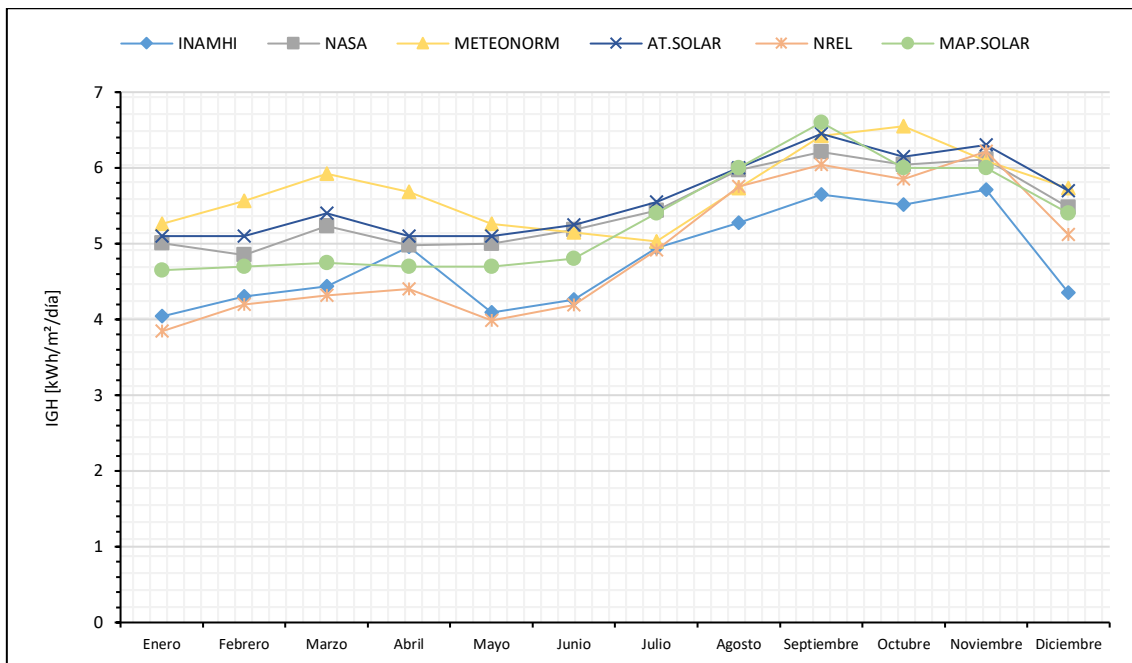


Figura 39. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M1259 “MACARÁ”. **Fuente:** Autor

Por otro lado en la Fig. 39, se puede apreciar claramente que los datos de todas las fuentes de información oscilan entre 3.8 y 6.6 kWh/m²/día aproximadamente, donde los datos satelitales, presentan una tendencia similar, respecto a sus picos máximos alcanzados y sus puntos mínimos, en donde se puede apreciar que en el último cuatrimestre de año presenta la mayor irradiación solar a lo largo de todo el año siendo estos datos los máximos alcanzados y que el mes coincidente con menor irradiación solar es en mayo. En general comportamiento es similar de los datos satelitales respecto a los datos de la estación meteorológica, verificando así la relación y el comportamiento existente entre los datos de cada una de las fuentes de información y los datos reales de la estación Meteorológica MACARÁ. Al igual que en las estaciones meteorológicas analizadas anteriormente, se afirma que los datos satelitales sobrestiman a los datos reales de las estaciones meteorológicas tal como se expuso mediante el error de sesgo medio (MBE).

6.4.2.4. Estación Meteorológica Automática M0012 "LA CUCA"

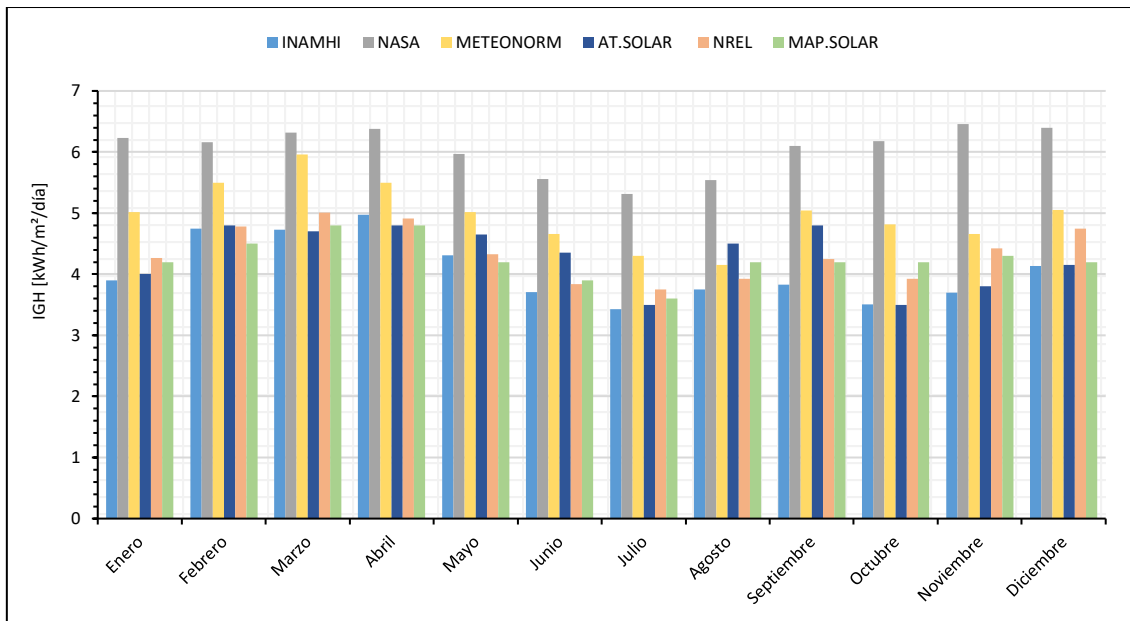


Figura 40. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M0012 "LA CUCA". **Fuente:** Autor

En la Fig. 40, se presentan los resultados obtenidos de la estación meteorológica automática LA CUCA, en el cual se representan mediante un gráfico de barras los datos de irradiación solar global horizontal para cada una de las fuentes de información utilizadas en la presente investigación expresadas en kWh/m²/día, para cada uno de los

meses, en los cuales se puede observar la similitud entre los datos satelitales y reales excepto los datos de la NASA, que presentan una diferencia bastante notoria respecto a los datos reales para todos los meses del año, de tal manera que se afirma lo expuesto en la Sección 6.4.1.4.

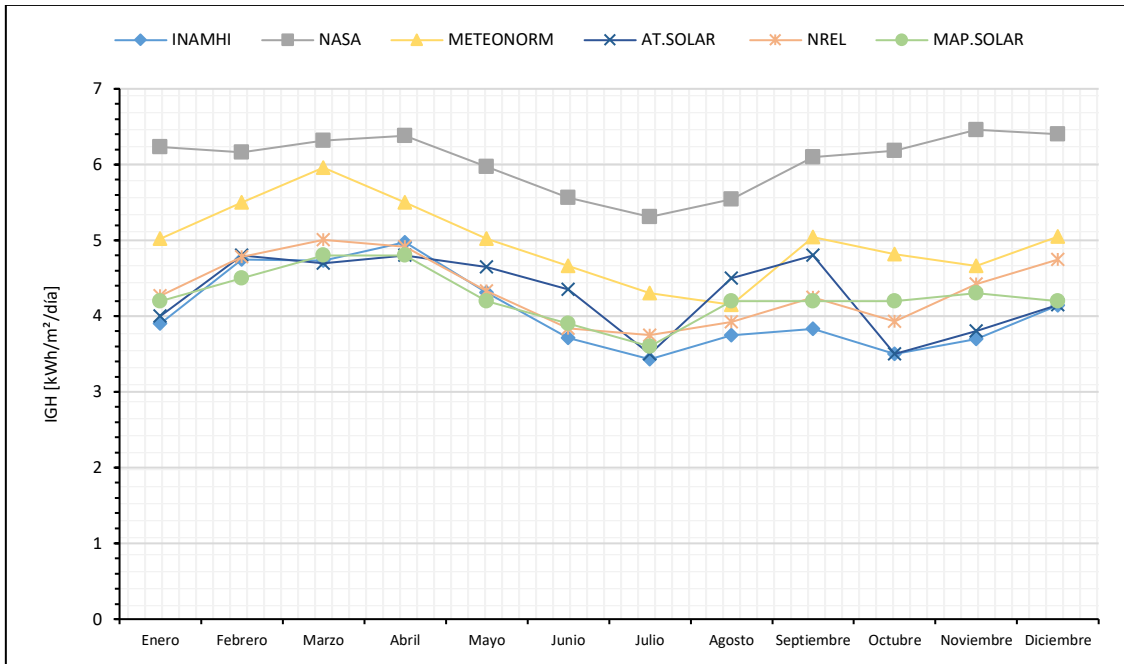


Figura 41. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M0012 “LA CUCA”. **Fuente:** Autor

A continuación en la Fig.41, se observa que las curvas de los datos satelitales oscilan entre 3.4 y 6.5 kWh/m²/día aproximadamente, donde los datos satelitales presentan una tendencia similar respecto a sus picos máximos alcanzados y sus puntos mínimos, en donde se puede apreciar que en el primer y último cuatrimestre de año presenta la mayor irradiación solar a lo largo de todo el año, siendo estos datos los máximos alcanzados y que el mes coincidente con menor irradiación solar es julio. En general comportamiento es similar de los datos satelitales respecto a los datos de la estación meteorológica, verificando así la relación existente entre los datos estimados y reales. Al igual que en las estaciones anteriores se afirma que los datos satelitales sobrestiman a los datos reales de las estación meteorológica.

6.4.2.5. Estación Meteorológica Automática M1246 " LAS LAJAS"

En el presente apartado se muestran los resultados obtenidos de la estación LAS LAJAS (Ver Fig. 42), en el cual se representan gráficamente los datos de radiación solar global, para cada una de las bases de datos utilizadas en la presente investigación en kWh/m²/día, en los cuales se puede observar una proximidad entre los datos estimados y los datos reales. Sin embargo para los datos de la NASA, existe una diferencia muy elevada respecto a los datos reales de la estación meteorológica automática LAS LAJAS, por lo que se determina un bajo índice de confiabilidad y precisión en sus datos afirmado los resultados expuestos en la Sección 6.4.1.5.

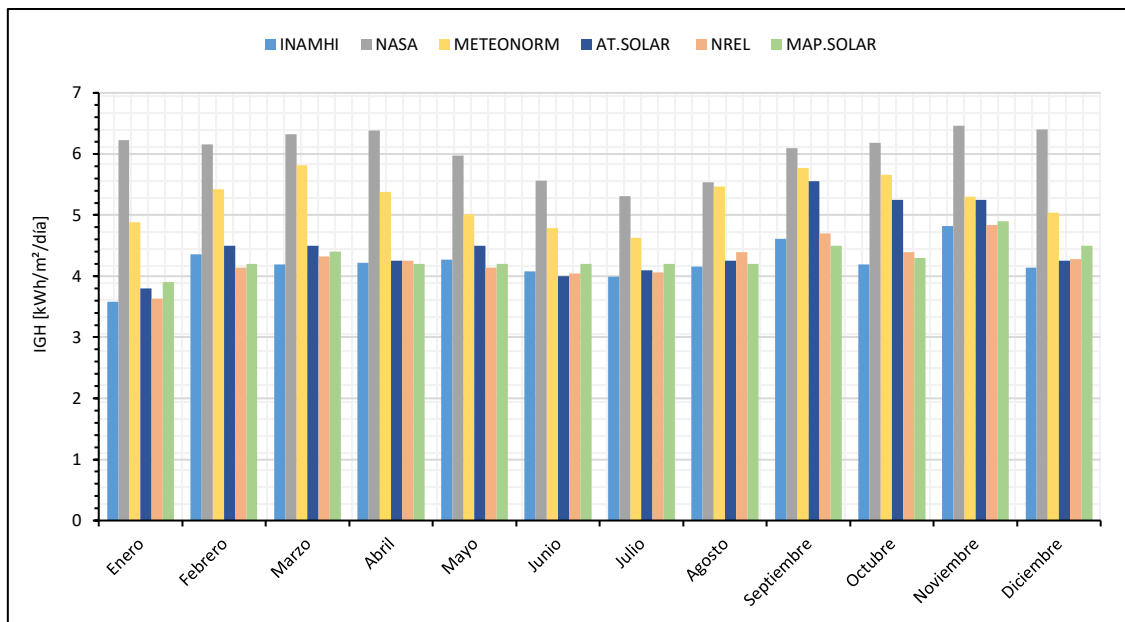


Figura 42. Irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M1246 "LAS LAJAS". **Fuente:** Autor.

Por último en la Fig. 43, se representa las curvas de los datos satelitales que oscilan entre 3.5 y 6.5 kWh/m²/día aproximadamente, donde los datos satelitales presentan una tendencia similar respecto a sus picos máximos alcanzados y sus puntos mínimos, en donde se puede apreciar que en el primer y último cuatrimestre de año presenta la mayor irradiación solar a lo largo de todo el año siendo estos datos los máximos alcanzados y que los meses coincidente con menor irradiación solar son junio y julio. En general, el comportamiento es similar de los datos satelitales respecto a los datos de la estación meteorológica, verificando así la relación existente entre los datos satelitales y reales. Al

igual que en las estaciones anteriores se afirma que los datos satelitales sobrestiman a los datos reales de la estación meteorológica.

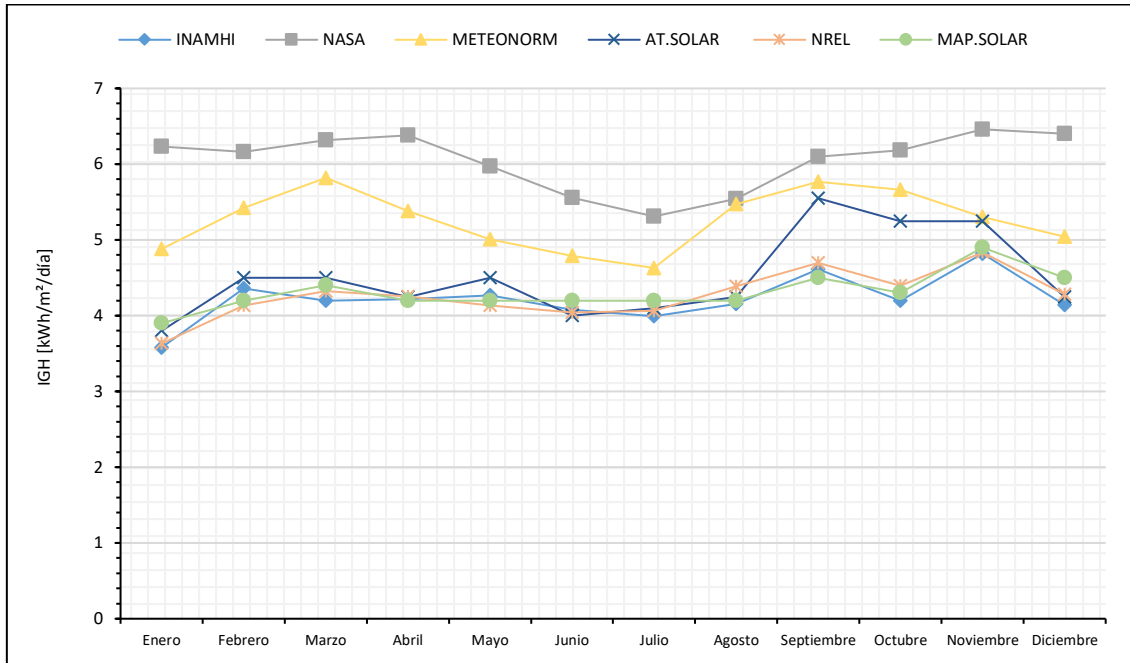


Figura 43. Tendencia de los datos de irradiación solar global horizontal mensual para la estación meteorológica M1246 “LAS LAJAS”. **Fuente:** Autor.

6.4.3. Análisis general

A continuación, se realizó un análisis general de los indicadores estadísticos obtenidos, de cada una de las estaciones meteorológicas, con la finalidad de identificar la base de datos más representativa, para ello se realiza un análisis comparativo mediante gráficos entre los indicadores estadísticos obtenidos entre cada una de las fuentes de información utilizadas en esta investigación, para cada una de las 5 estaciones meteorológicas estudiadas.

6.4.3.1. Coeficiente de correlación de Pearson

Según la Tabla 15, se puede observar los valores del coeficiente de correlación de Pearson, para cada una de las fuentes de información utilizadas en esta investigación, en el caso de la NASA se obtuvo coeficiente de Pearson, con valores fuera del rango mínimo aceptable para las estaciones LA ARGELIA, LA CUCA y LAS LAJAS con valores de 0.47, 0.51 y 0.31 respectivamente, el cual indica un bajo índice de relación entre las variables, a diferencia de las estaciones CARIAMANGA y MACARÁ presentaron

valores de 0.8 y 0.88 respectivamente, lo cual afirma un alta relación entre los datos satelitales y datos reales de IGH.

Tabla 15. Coeficiente de correlación de Pearson para cada una de las fuentes de información utilizadas.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	Meteonorm	Atlas Solar del Ecuador	NREL	Mapa Solar del Ecuador 2019
LA ARGELIA	0.473	0.358	0.825	0.845	0.862
CARIAMANGA	0.803	0.575	0.871	0.703	0.814
MACARÁ	0.879	0.722	0.875	0.922	0.874
LA CUCA	0.507	0.850	0.750	0.889	0.841
LAS LAJAS	0.311	0.507	0.808	0.912	0.845

Fuente: Autor.

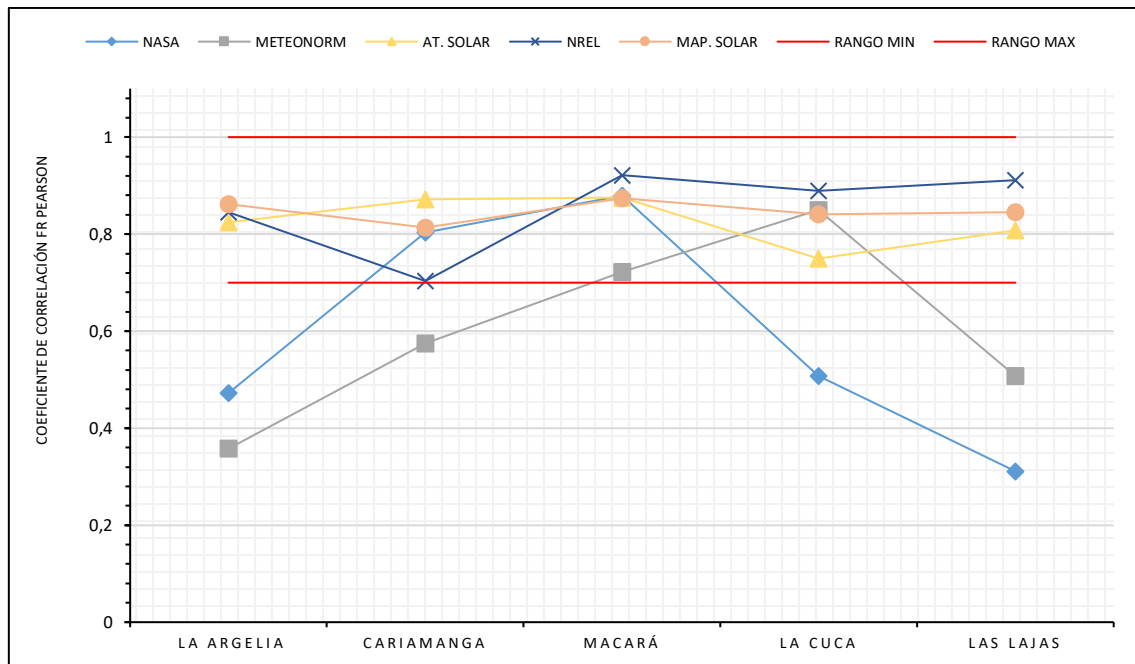


Figura 44. Coeficiente de correlación de Pearson para cada una de las fuentes de información utilizadas.

Fuente: Autor

Así mismo, para el caso de METEONORM se obtuvo valores de 0.36, 0.58 y 0.51, para las estaciones meteorológicas, LA ARGELIA, CARIAMANGA y LAS LAJAS, respectivamente, lo cual indica, un bajo índice de relación entre los datos satelitales y datos reales de IGH, en cambio para las estaciones MACARÁ y LA CUCA, se obtuvieron valores bastante aceptables de 0.72 y 0.85, afirmando un elevado índice de relación entre los datos satelitales, frente a los datos reales. Por otro lado, el Atlas Solar del Ecuador,

NREL y el Mapa solar del Ecuador 2019, presentan valores entre 0.7 y 0.91, para todas las estaciones meteorológicas en estudio, lo cual afirma una relación bastante aceptable entre los datos de cada una de las fuentes de información en mención, frente a los datos reales de las estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI (Ver en la Fig. 44).

6.4.3.2. Coeficiente de determinación R^2

En la Tabla 16, se puede observar los valores del coeficiente de determinación R^2 , para cada una de las fuentes de información utilizadas, el cual debe presentar valores, iguales o superiores a 0.7 para afirmar que la relación lineal entre los datos estimados y datos reales de irradiación solar global horizontal son precisos y confiables. Es necesario mencionar, que en el caso de la NASA se obtuvieron valores del coeficiente de determinación muy inferiores a 0.7, esto para las estaciones meteorológicas, LA ARGELIA, CARIAMANGA, LA CUCA y LAS LAJAS, así mismo para METEONORM se obtuvo valores inferiores al mínimo aceptable para las estaciones meteorológicas, LA ARGELIA, CARIAMANGA MACARÁ y LAS LAJAS, el cual indica la un bajo índice en la precisión de los datos satelitales frente a los datos reales.

Por otro lado, el Atlas solar del Ecuador presenta valores fuera del rango mínimo aceptable para las estaciones meteorológicas, LA ARGELIA, LA CUCA y LAS LAJAS. Finalmente el NREL y Mapa solar del Ecuador 2019, presentan un coeficiente de determinación por debajo del mínimo aceptable, únicamente para la estación meteorológica CARIAMANGA, lo cual afirma que estas dos últimas fuentes de información, presentan una mejor relación lineal en sus datos de IGH, frente a los datos reales de las estaciones meteorológica pertenecientes al INAMHI, véase en la Fig. 45.

Tabla 16. Coeficiente de determinación R^2 para cada una de las fuentes de información utilizadas.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	Meteonorm	Atlas Solar del Ecuador	NREL	Mapa Solar del Ecuador 2019
LA ARGELIA	0.224	0.128	0.680	0.715	0.743
CARIAMANGA	0.645	0.330	0.759	0.495	0.662
MACARÁ	0.773	0.522	0.766	0.849	0.764
LA CUCA	0.257	0.722	0.562	0.791	0.707
LAS LAJAS	0.097	0.257	0.652	0.831	0.715

Fuente: Autor

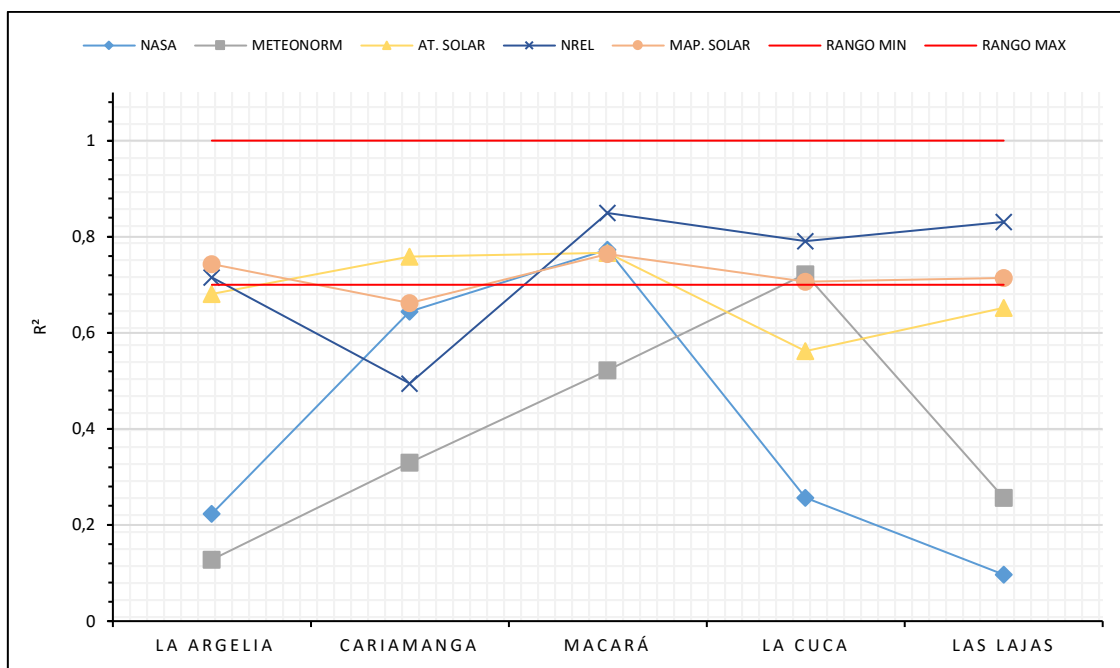


Figura 45. Coeficiente de determinación R^2 para cada una de las fuentes de información utilizadas.

6.4.3.3. Error medio absoluto (MAE)

En la Tabla 17, se presenta el error medio absoluto (MAE) para cada una de las estaciones meteorológicas estudiadas en esta investigación, en el caso de la NASA se obtuvo un MAE superior al rango máximo aceptable, para las estaciones meteorológicas LA ARGELIA, LA CUCA y LAS LAJAS, con valores porcentuales de 31%, 50.6% y 44% respectivamente, por otro lado, para las estaciones meteorológicas CARIAMANGA y MACARÁ, se obtuvo valores inferiores al 30%, mediante los cuales se puede afirmar, que los datos satelitales IGH son confiables.

Tabla 17. Error medio absoluto para cada una de las fuentes de información utilizadas.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	Meteonorm	Atlas Solar del Ecuador	NREL	Mapa Solar del Ecuador 2019
LA ARGELIA	31.054%	49.113%	14.802%	19.205%	20.445%
CARIAMANGA	22.774%	34.280%	21.727%	24.710%	20.374%
MACARÁ	14.547%	19.842%	17.531%	1.869%	11.827%
LA CUCA	50.621%	23.049%	6.258%	7.508%	7.478%
LAS LAJAS	44.000%	25.095%	6.916%	1.162%	3.682%

Fuente: Autor.

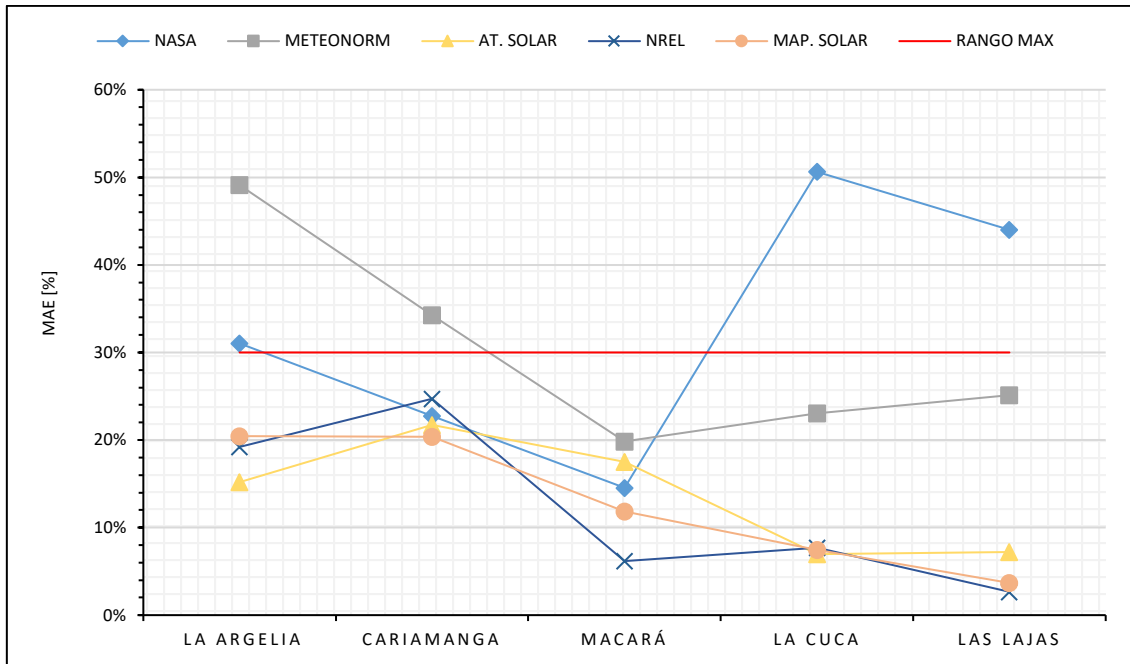


Figura 46. Error medio absoluto para cada una de las fuentes de información utilizadas. **Fuente:** Autor.

De la misma manera, en el caso de METEONORM se obtuvo valores porcentuales de 49.1% y 34.2%, para las estaciones meteorológicas, LA ARGELIA y CARIAMANGA respectivamente, lo cual determina que los datos satelitales y los reales de IGH no son confiables, a diferencia de las estaciones meteorológicas, MACARÁ, LA CUCA y LAS LAJAS, que si se obtuvo valores porcentuales dentro del rango aceptable. Por otro lado el Atlas Solar del Ecuador, NREL y Mapa solar del ecuador 2019, presentaron valores inferiores al 30% lo cual indica claramente que los datos estimados y los datos reales son confiables, en la Fig. 46 se puede observar más detalladamente.

6.4.3.4. Error medio cuadrático (RMSE)

A continuación, se presenta los valores del indicador estadístico RMSE, aplicados a los datos de radiación solar satelitales y reales para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Raíz del Error medio cuadrático para cada una de las fuentes de información utilizadas

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	Meteonorm	Atlas Solar del Ecuador	NREL	Mapa Solar del Ecuador 2019
LA ARGELIA	38.479%	55.835%	19.528%	23.255%	25.828%
CARIAMANGA	25.908%	38.448%	24.552%	29.170%	24.285%
MACARÁ	16.337%	22.385%	19.148%	7.759%	12.952%
LA CUCA	52.889%	24.369%	10.947%	9.615%	9.397%
LAS LAJAS	45.555%	26.543%	10.327%	3.160%	4.541%

Fuente: Autor.

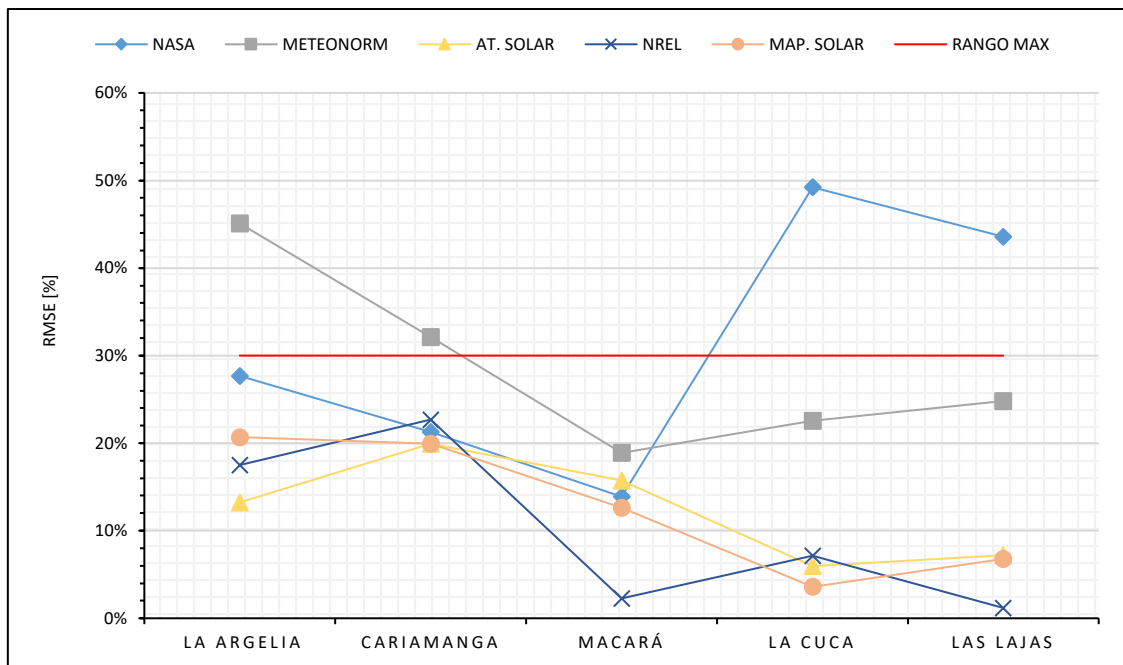


Figura 47. Raíz del error medio cuadrático para cada una de las fuentes de información utilizadas.

Fuente: Autor.

En el caso de la NASA, se obtuvo un RMSE superior al aceptable, para las estaciones meteorológicas, LA ARGELIA, LA CUCA y LAS LAJAS, con valores porcentuales de 38.5%, 52.9% y 45.6% respectivamente, por otro lado las estaciones meteorológicas, CARIAMANGA y MACARÁ si presentan valores dentro del rango aceptable, afirmando que los datos satelitales son confiables, de la misma manera en el caso de METEONORM se obtuvo valores de 55.8% y 38.4%, para las estaciones meteorológicas LA ARGELIA y CARIAMANGA respectivamente, con lo cual se determina que los valores satelitales

no son confiables, a diferencia de las estaciones meteorológicas, MACARÁ, LA CUCA y LAS LAJAS, que si presentan valores dentro del rango aceptable. Por otro lado, el Atlas Solar del Ecuador, NREL y Mapa solar del Ecuador 2019, presentaron valores inferiores al 30%, lo cual indica claramente que los datos satelitales y los datos reales de IGH son confiables (Véase en la Fig. 47).

6.4.3.5. Error de sesgo medio (MBE)

Analizando los valores del MBE obtenidos, al relacionar los datos de radiación solar satelitales y los datos reales de irradiación solar global horizontal, para cada una de las estaciones meteorológica utilizadas en esta investigación.

El MBE en todos los casos se obtuvo valores positivos, mediante lo cual se determina que los datos estimados sobreestiman a los datos reales de todas las estaciones meteorológicas en estudio, tal como se puede observar en la Tabla 19. Sin embargo, es necesario mencionar en el caso de la NASA se obtuvo un MBE superior al 30%, para las estaciones LA CUCA y LAS LAJAS con valores porcentuales de 49.2% y 43.6% respectivamente, así como también en el caso de METEONORM se obtuvo valores de 45.1% y 32.2%, para las estaciones LA ARGELIA y CARIAMANGA, véase detalladamente en la, Fig. 48.

Tabla 19. Error de sesgo medioo sesgo porcentual para las fuentes de información utilizadas

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	Meteonorm	Atlas Solar del Ecuador	NREL	Mapa Solar del Ecuador 2019
LA ARGELIA	27.699%	45.089%	13.229%	17.481%	20.691%
CARIAMANGA	21.267%	32.150%	19.935%	22.693%	19.935%
MACARÁ	13.886%	18.892%	15.763%	2.292%	12.635%
LA CUCA	49.226%	22.587%	5.959%	7.116%	3.595%
LAS LAJAS	43.564%	24.817%	7.178%	1.182%	6.783%

Fuente: Autor.

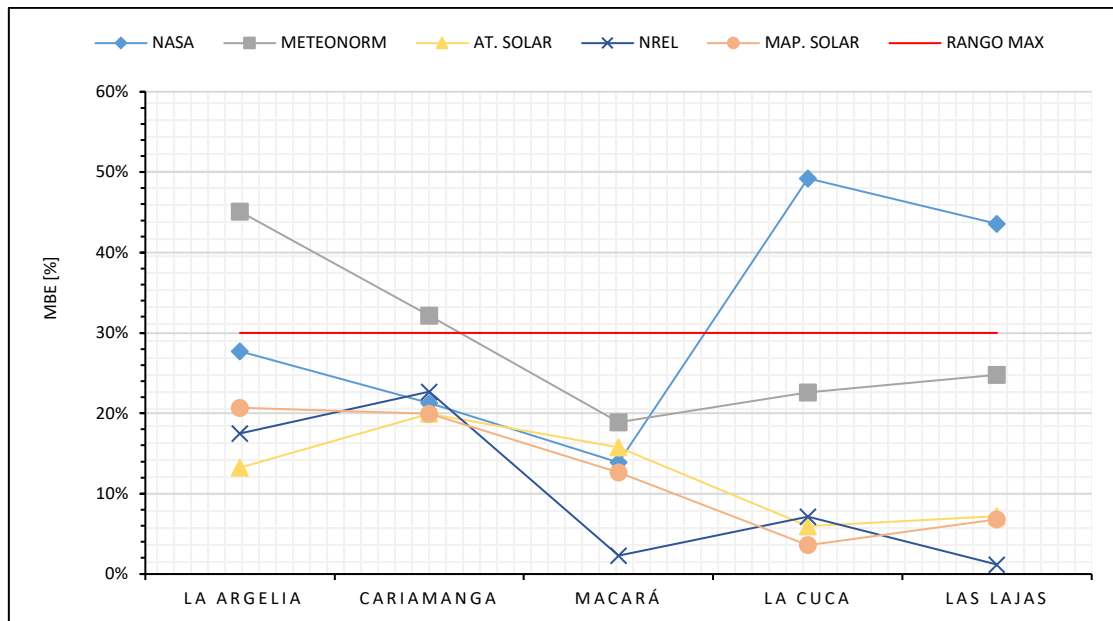


Figura 48. Error de sesgo medio o sesgo porcentual medio para cada una de las fuentes de información utilizadas. **Fuente:** Autor.

6.4.3.6. Irradiación solar global promedio anual

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las estaciones meteorológicas estudiadas en la presente investigación, en la cual se representan gráficamente los datos de irradiación solar global anual, para cada una de las fuentes de información, expresadas en kWh/m²/día.

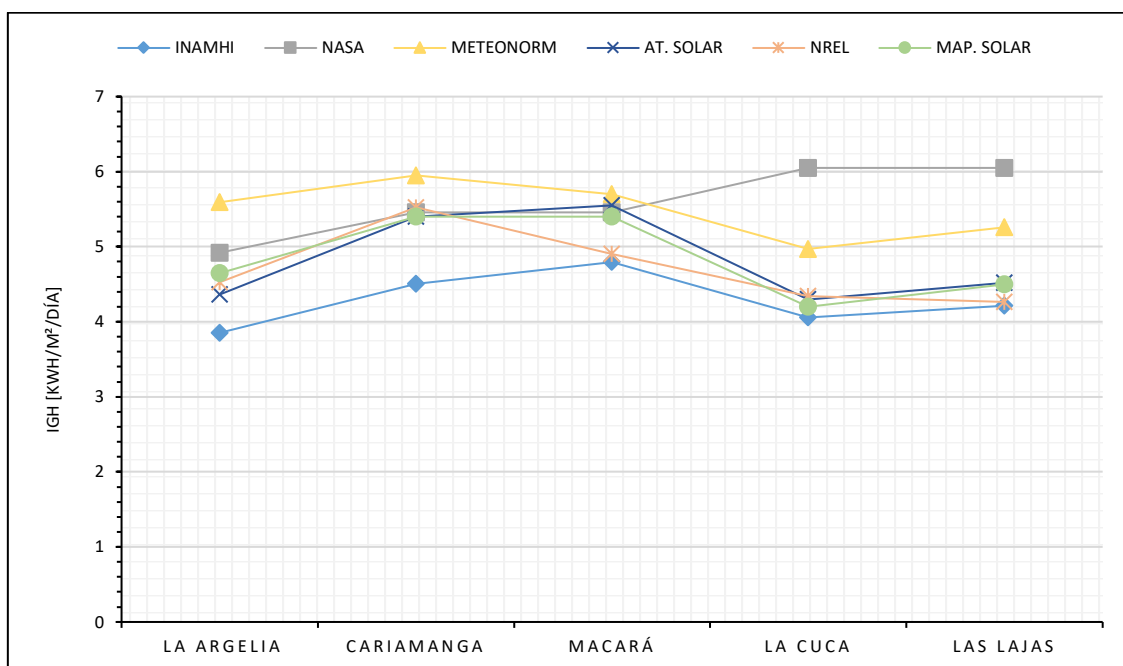


Figura 49. Irradiación solar global horizontal anual.

Según el análisis gráfico, en el cual se relacionaron los datos de irradiación solar global horizontal, de cada una de las fuentes de información de datos de IGH estimados, frente a los datos de IGH reales de las estaciones meteorológicas, en la Fig. 49, se observa claramente, una proximidad entre los datos estimados del NREL, Atlas Solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019, frente a los datos reales de las estaciones Meteorológicas operadas por el INAMHI. Sin embargo, para los datos de la NASA y METEONORM, existe una diferencia levemente superior respecto a los datos reales.

Tabla 20. Indicadores estadísticos para todas las fuentes de información

<i>Indicador Estadístico</i>	NASA	Meteonorm	Atlas Solar del Ecuador	NREL	Mapa Solar del Ecuador 2019
COEF. CORRE	0.595	0.602	0.826	0.854	0.847
R ²	0.354	0.363	0.684	0.736	0.718
MAE	32.599%	30.276%	13.447%	10.891%	12.761%
RMSE	35.834%	33.516%	16.900%	14.592%	15.401%
MBE	31.128%	28.707%	12.413%	10.153%	12.728%

Fuente: Autor.

En la Tabla 20, se puede ver los valores de los indicadores estadísticos para cada una de las fuentes de información, los cuales indican el índice de precisión y confiabilidad en cada una de sus bases de datos, de tal manera que se afirma que los datos de NREL son los más precisos, luego se encuentran los datos del Mapa solar del Ecuador 2019 y el Atlas Solar del Ecuador respectivamente, finalmente tenemos los datos de la NASA y METEONORM, que presentan datos levemente fuera del rango aceptable.

Según la Fig. 50, se muestra claramente que los datos del NREL presentan mayor precisión en sus datos según los indicadores estadísticos con valores promedios en sus coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R², de 0.854 y 0.736 respectivamente, posteriormente tenemos al Mapa solar del Ecuador 2019, con valores de 0.847 y 0.718 respectivamente, a continuación se encuentra el Atlas Solar del Ecuador con valores de 0.826 y 0.69. Así mismo, se puede notar que los valores que presenta la NASA y METEONORM, se encuentran por debajo del rango mínimo aceptable, siendo la NASA la que presente valores levemente inferiores.

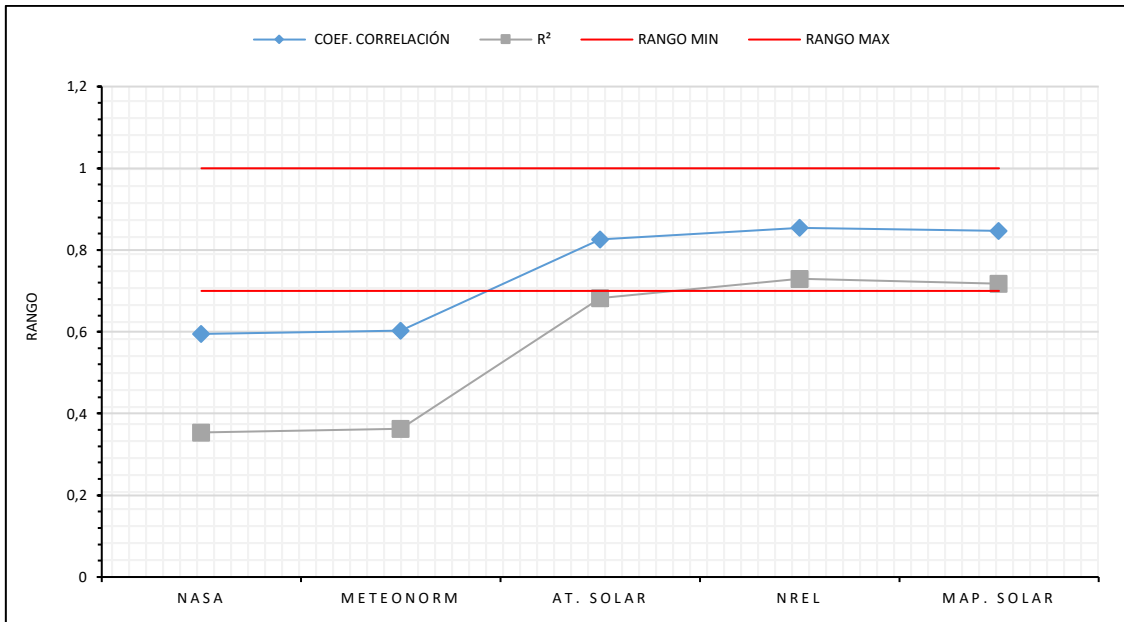


Figura 50. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación R^2 , para todas las fuentes de información. **Fuente:** Autor.

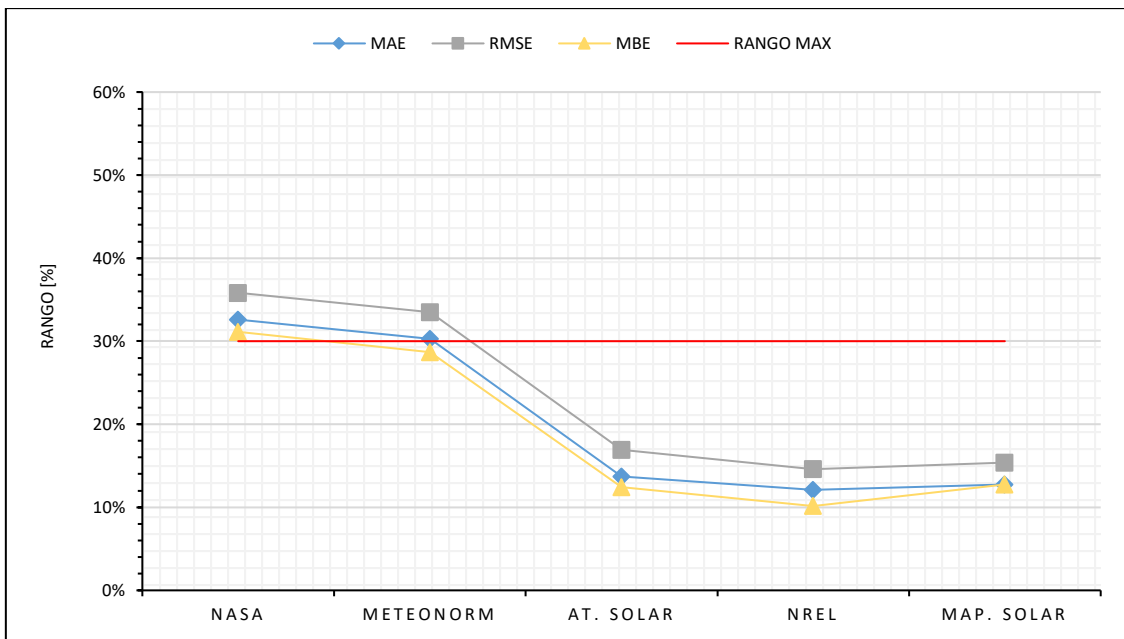


Figura 51. MAE, MRSE y MBE para todas las fuentes de información. **Fuente:** Autor.

Por último en la Fig. 51, se representa gráficamente los valores promedios del MAE y RMSE, los cuales afirman la confiabilidad de los datos estimados. Por su parte el NREL, Mapa solar del Ecuador 2019 y el Atlas Solar del Ecuador, presentan indicadores estadísticos con valores que se encuentran dentro del intervalo aceptable, a diferencia de la NASA y METEONORM que presentan valores fuera del rango aceptable, por otro lado

el MBE afirma, que los datos satelitales para todas las fuentes de información sobreestiman a los datos reales de las estaciones meteorológicas.

En resumen, mediante el análisis comparativo realizado se determinó, que la fuente de información que presenta datos más representativos es el NREL, por lo tanto se usa dicha base de datos, como punto de partida para la obtención del potencial solar en cada una de las cabeceras cantones de la RSE.

6.5. Obtención del potencial solar incidente en módulos fotovoltaicos

Una vez aplicada la metodología expuesta anteriormente (ítem 5.5.3.3), se obtiene el potencial solar en el plano de captación para cada cantón de la RSE, para lo cual se ha seguido el mismo procedimiento para cada uno de los cantones de la RSE.

6.5.1. Obtención del potencial solar en el cantón de Loja

Primero, se define ubicación del cantón Loja (Lat. = -4.04), a continuación utilizando la ecuación 10 y 11 se obtiene la declinación solar y el ángulo solar horario.

Cálculo de la declinación solar para el mes de enero

$$\delta(^{\circ}) = 23.45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right]$$

$$\delta(^{\circ}) = 23.45 \operatorname{sen} \left[\frac{360}{365} (17 + 284) \right]$$

$$\delta(^{\circ}) = -20.916^{\circ} = -0.3651 \operatorname{rad}$$

Cálculo del ángulo horario al amanecer para el mes de enero

$$\omega_s = -\arccos(-\tan \delta * \tan \Phi)$$

$$\omega_s = -\arccos(-\tan(-20.916) * \tan(-4.04))$$

$$\omega_s = -1.597 \operatorname{rad}$$

Cálculo de la irradiación solar extraterrestre para el mes de enero.

Así mismo se usa la ecuación 15, para obtener la radiación solar extraterrestre. Para ello se requiere la obtención del factor de excentricidad de la órbita de la tierra mediante la ecuación 16.

$$\varepsilon_0 = 1 + 0.033 \cos \left(\frac{360d_n}{365} \right)$$

$$\varepsilon_0 = 1.032$$

$$B_{0d}(0) = \left(\frac{24}{\pi} \right) * B_{sc} * \varepsilon_0 * (\cos\Phi * \cos\delta) * (\omega_s \cos\omega_s - \text{sen}\omega_s)$$

$$B_{0d}(0) = \left(\frac{24}{\pi} \right) * 1367 * 1.032 * (\cos(-0.0705) * \cos(-0.3651)) \\ * (-1.597 \cos(-1.597) - \text{sen}(-1.597))$$

$$B_{0d}(0) = 10458.66 \text{ Wh/m}^2$$

A continuación, se muestran los valores obtenidos para cada mes (Ver Tabla 21).

Tabla 21. Datos obtenidos para el catón Loja.

<i>Mes</i>	(d_n)	δ (°)	ω_s (rad)	$B_{0d}(0)$ kWh/m ²	<i>IGH</i> kWh/m ²
Enero	17	-20.92	-1.60	10.467	4.498
Febrero	46	-13.29	-1.59	10.647	4.448
Marzo	75	-2.42	-1.57	10.552	4.459
Abril	105	9.41	-1.56	10.010	4.689
Mayo	135	18.79	-1.55	9.278	4.402
Junio	161	23.01	-1.54	8.860	3.905
Julio	198	21.18	-1.54	9.003	3.662
Agosto	228	13.45	-1.55	9.633	4.261
Septiembre	258	2.22	-1.57	10.273	4.736
Octubre	289	-9.97	-1.58	10.550	4.934
Noviembre	319	-19.15	-1.60	10.460	5.605
Diciembre	345	-23.12	-1.60	10.350	4.736

Fuente: Autor.

Cálculo de la irradiación directa y difusa

El siguiente paso consistió en obtener la irradiación solar difusa y directa por separado mediante la ecuación 19, cuya expresión corresponde al modelo propuesto por (Collares-Pereira & Rabl, 1979). Para ello es necesario determinar el índice de claridad K_T , y el la fracción difusa K_D , con el uso de las ecuaciones 17 y 18 respectivamente.

$$K_{Tm} = \frac{IGH_{dm}(0)}{B_{0dm}(0)} = \frac{4.498 \text{ kWh/m}^2}{10.467 \text{ kWh/m}^2} = \mathbf{0.429}$$

$$K_{Dm} = 1 - 1.13K_{Tm} = \mathbf{0.514}$$

$$IDH_{dm}(0) = K_{Dm} * IGH_{dm}(0) = 0.514 * 4.498 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = \mathbf{2.314 \text{ kWh/m}^2}$$

$$IND_{dm}(0) = IGH_{dm}(0) - IDH_{dm}(0) = \mathbf{2.184 \text{ kWh/m}^2}$$

En la Tabla 22 se muestran los cálculos de irradiación difusa y directa para cada uno de los meses.

Tabla 22. Irradiación directa y difusa para el cantón Loja

<i>Mes</i>	K_{Tm}	K_{Dm}	$IDH_{dm}(0)$ Wh/m ²	$IND_{dm}(0)$ Wh/m ²
Enero	0.4297	0.5144	2314	2184
Febrero	0.4178	0.5279	2348	2100
Marzo	0.4226	0.5225	2330	2129
Abril	0.4684	0.4707	2207	2482
Mayo	0.4745	0.4638	2042	2360
Junio	0.4408	0.5020	1960	1945
Julio	0.4067	0.5404	1979	1683
Agosto	0.4423	0.5002	2131	2130
Septiembre	0.4610	0.4791	2269	2467
Octubre	0.4676	0.4716	2327	2607
Noviembre	0.5359	0.3945	2211	3394
Diciembre	0.4576	0.4829	2287	2449

Fuente: Autor.

Cálculo de la irradiación solar horaria

A continuación, a partir de los cálculos obtenidos, se obtiene la irradiación solar horaria incidente sobre la superficie de cada uno de los cantones de la RSE, mediante las expresiones 21 y 25. Para ello se deben calcular los parámetros r_g y r_d , lo mismos que son propuestos por el método de (Liu & Jordan, 1960), mediante las ecuaciones 22-25.

$$r_d = \frac{\pi}{T} \left(\frac{\cos \omega - \cos \omega_s}{\omega_s * \cos \omega_s - \text{sen} \omega_s} \right)$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left(\frac{\cos(0.131) - \cos(-1.597)}{(-1.597) * \cos(-1.597) - \text{sen}(-1.597)} \right)$$

$$\mathbf{r_d = 0.1279}$$

$$r_g = r_d * (a + b * \cos \omega)$$

$$r_g = 0.1279 * (0.671 + 0.411 * \cos(0.131))$$

$$\mathbf{r_g = 0.1379}$$

$$a = 0.409 - 0.5016 * \text{sen}(\omega_s + 1.047)$$

$$a = 0.409 - 0.5016 * \text{sen}(-1.597 + 1.047)$$

$$\mathbf{a = 0.671}$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 * \text{sen}(\omega_s + 1.047)$$

$$b = 0.6609 + 0.4767 * \text{sen}(-1.597 + 1.047)$$

$$\mathbf{b = 0.411}$$

$$IGH_h(0) = IGH_d(0) * r_g$$

$$IGH_h(0) = 4.498 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0.1379$$

$$IGH_h(0) = 0.6202 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 620.2 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

$$IDH_h(0) = IDH_d(0) * r_d$$

$$IDH_h(0) = 2.314 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} * 0.1279$$

$$IDH_h(0) = 0.2959 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 295.9 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

$$IND_h(0) = IGH_h(0) - IDH_h(0)$$

$$IND_h(0) = 620.2 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} - 295.9 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

$$IND_h(0) = 324.3 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2}$$

Los valores de irradiación horaria directa, difusa y global corresponden a un ángulo horario de 0.5 h (equivalente a las 12:30). El mismo procedimiento se aplica para la obtención, de cada uno de los 24 cálculos horarios, a continuación se muestran los cálculos obtenidos para cada hora correspondientes al mes de enero (Véase en la Tabla 23).

Tabla 23. Irradiación solar horaria difusa, directa y global

ω (h)	r_d	$IDH_h(0)$ Wh/m ²	r_g	$IGH_h(0)$ Wh/m ²	$IND_h(0)$ Wh/m ²
-3.011	-0.1211	0.0	-0.0319	0.0	0.0
-2.749	-0.1126	0.0	-0.0328	0.0	0.0
-2.487	-0.0962	0.0	-0.0332	0.0	0.0
-2.225	-0.0730	0.0	-0.0307	0.0	0.0
-1.963	-0.0447	0.0	-0.0229	0.0	0.0
-1.702	-0.0130	0.0	-0.0080	0.0	0.0
-1.440	0.0198	45.8	0.0143	64.5	18.7
-1.178	0.0514	119.0	0.0426	191.7	72.7
-0.916	0.0798	184.7	0.0736	330.9	146.3
-0.654	0.1030	238.3	0.1028	462.2	223.9
-0.393	0.1194	276.2	0.1255	564.6	288.4
-0.131	0.1278	295.8	0.1380	620.7	324.9
0.131	0.1278	295.8	0.1380	620.7	324.9
0.393	0.1194	276.2	0.1255	564.6	288.4
0.654	0.1030	238.3	0.1028	462.2	223.9
0.916	0.0798	184.7	0.0736	330.9	146.3
1.178	0.0514	119.0	0.0426	191.7	72.7
1.440	0.0198	45.8	0.0143	64.5	18.7
1.702	-0.0130	0.0	-0.0080	0.0	0.0
1.963	-0.0447	0.0	-0.0229	0.0	0.0
2.225	-0.0730	0.0	-0.0307	0.0	0.0
2.487	-0.0962	0.0	-0.0332	0.0	0.0
2.749	-0.1126	0.0	-0.0328	0.0	0.0
3.011	-0.1211	0.0	-0.0319	0.0	0.0

Fuente: Autor.

Cálculo de la irradiación solar incidente sobre una superficie inclinada

Finalmente, se calcula la irradiación incidente sobre una superficie inclinada, para ello se procede a obtener de los valores de cada una de sus componentes.

La irradiación solar directa se obtiene mediante la ecuación 26. Para ello primero se obtiene el ángulo cenital y el ángulo de incidencia, mediante las ecuaciones 12 y 14 respectivamente.

$$\theta_{zs} = \text{sen}\delta * \text{sen}\Phi + \text{cos}\delta * \text{cos}\Phi * \text{cos}\omega$$

$$\begin{aligned} \text{cos}\theta_{zs} &= \text{sen}(-0.3651) * \text{sen}(-0.0705) + \text{cos}(-0.3651) * \text{cos}(-0.0705) \\ &* \text{cos}(0.131) \end{aligned}$$

$$\cos\theta_{zs} = 0.9489$$

$$\theta_{zs} = \arccos(0.9489)$$

$$\theta_{zs} = \mathbf{0.321 \text{ rad}}$$

Definimos la orientación de la superficie mediante los ángulos:

$$\alpha = 0^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\begin{aligned} \cos\theta_s = & \text{sen}\delta * \text{sen}\Phi * \cos\beta - \text{sen}\delta * \cos\Phi * \text{sen}\beta * \cos\alpha + \cos\delta * \cos\Phi * \cos\beta \\ & * \cos\omega + \cos\delta * \text{sen}\Phi * \text{sen}\beta * \cos\alpha * \cos\omega + \cos\delta * \text{sen}\alpha * \text{sen}\omega \\ & * \text{sen}\beta \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos\theta_s = & \text{sen}(-0.3651) * \text{sen}(-0.0705) * \cos(0) - \text{sen}(-0.3651) * \cos(-0.0705) \\ & * \text{sen}(0) * \cos(0) + \cos(-0.3651) * \cos(-0.0705) * \cos(0) \\ & * \cos(0.131) + \cos(-0.3651) * \text{sen}(-0.0705) * \text{sen}(0) * \cos(0) \\ & * \cos(0.131) + \cos(-0.3651) * \text{sen}(0) * \text{sen}(0.131) * \text{sen}(0) \end{aligned}$$

$$\cos\theta_s = 0.9489$$

$$\theta_s = \arccos(0.9489)$$

$$\theta_s = \mathbf{0.321 \text{ rad}}$$

$$IND_h(\beta, \alpha) = \frac{IND_h(0)}{\cos\theta_{zs}} * \max(0, \cos\theta_s)$$

$$IND_h(\beta, \alpha) = \frac{324.3 \frac{Wh}{m^2}}{0.9489} * 0.9489$$

$$IND_h(\beta, \alpha) = 324.3 \frac{Wh}{m^2}$$

Siguiendo el procedimiento propuesto, para obtener la irradiación difusa se usa el modelo propuesto por (Perez et al., 1987), que viene dada por las ecuaciones 27 y 28. Donde los parámetros k_3 y k_4 , se obtienen mediante las expresiones 29-32.

$$k_3 = k_{31}(\varepsilon) + k_{32}(\varepsilon)\Delta + k_{33}(\varepsilon) * \theta_{zs}$$

$$k_3 = 0.710 + 0.025 * (0.228) + (-0.290) * 0.321$$

$$k_3 = 0.6226$$

$$k_4 = k_{41}(\varepsilon) + k_{42}(\varepsilon)\Delta + k_{43}(\varepsilon) * \theta_{zs}$$

$$k_4 = 0.243 + (-0.511) * 0.2281 + -0.004 * 0.321$$

$$k_4 = 0.1252$$

$$\varepsilon = \frac{IDH_h(0) + IND_h(0) / \cos\theta_{zs}}{IDH_h(0)}$$

$$\varepsilon = \frac{295.9 \frac{Wh}{m^2} + 324.3 \frac{Wh}{m^2} / 0.9489}{295.9 \frac{Wh}{m^2}}$$

$$\varepsilon = 2.155$$

$$\Delta = \frac{IDH_h(0)}{B_{sc} * \cos\theta_{zs}}$$

$$\Delta = \frac{295.9 \frac{Wh}{m^2}}{1367 \frac{Wh}{m^2} * 0.9489}$$

$$\Delta = \mathbf{0.2281}$$

Nota: los valores de, k_{31} , k_{32} , k_{33} , k_{41} , k_{42} y k_{43} , se obtienen en la Tabla 7, los cuales dependen del valor de ε .

$$ID_{Ch}(\beta, \alpha) = IDH_h(0) * \left[k_3 \frac{\cos\theta_s}{\cos\theta_{zs}} \right]$$

$$ID_{Ch}(\beta, \alpha) = 295.9 \frac{Wh}{m^2} * \left[0.6226 * \frac{0.9489}{0.9489} \right]$$

$$ID_{Ch}(\beta, \alpha) = \mathbf{184.227 \frac{Wh}{m^2}}$$

$$ID_{Ih}(\beta, \alpha) = IDH_h(0) * \left[\frac{(1 + \cos\beta)(1 - k_3)}{2} + k_4 * \text{sen}\beta \right]$$

$$ID_{Ih}(\beta, \alpha) = 295.9 \frac{Wh}{m^2} * \left[\frac{(1 + \cos(0))(1 - 0.6226)}{2} + 0.1252 * \text{sen}(0) \right]$$

$$ID_{Ih}(\beta, \alpha) = \mathbf{111.672 \frac{Wh}{m^2}}$$

$$ID_h(\beta, \alpha) = ID_{Ih}(\beta, \alpha) + ID_{Ch}(\beta, \alpha)$$

$$ID_h(\beta, \alpha) = 184.227 \frac{Wh}{m^2} + 111.672 \frac{Wh}{m^2}$$

$$ID_h(\beta, \alpha) = \mathbf{295.899 \frac{Wh}{m^2}}$$

Por su parte la irradiación solar reflejada se obtiene mediante la ecuación 33

$$IR_h(\beta) = IGH_h(0) * \rho \left[\frac{1 - \cos\beta}{2} \right]$$

$$IR_h(\beta) = 620.7 \frac{Wh}{m^2} * 0.2 \left[\frac{1 - \cos(0)}{2} \right]$$

$$IR_h(\beta) = 0$$

Finalmente, usando la ecuación 34 se obtiene la irradiación global horaria en el plano de captación.

$$IGH_h(\beta, \alpha) = IND_h(\beta, \alpha) + ID_h(\beta, \alpha) + IR_h(\beta, \alpha)$$

$$IGH_h(\beta, \alpha) = 324.3 \frac{Wh}{m^2} + 295.899 \frac{Wh}{m^2} + 0$$

$$IGH_h(\beta, \alpha) = 620.199 \frac{Wh}{m^2}$$

Se aplica el mismo procedimiento para todas las horas del día, una vez obtenidos dichos valores, la sumatoria de todos los valores horarios a lo largo del día será la irradiación diaria mensual que llega a la superficie de captación (Ver Tabla 24).

Tabla 24. Irradiación solar horaria difusa, directa, reflejada y global a una inclinación de 0°, para el mes de enero

ω (h)	$IND_h(\beta, \alpha)$ Wh/m ²	$ID_h(\beta, \alpha)$ Wh/m ²	$R_h(\beta, \alpha)$ Wh/m ²	$IG_h(\beta, \alpha)$ Wh/m ²
-3.011	0.0	0.0	0.0	0.0
-2.749	0.0	0.0	0.0	0.0
-2.487	0.0	0.0	0.0	0.0
-2.225	0.0	0.0	0.0	0.0
-1.963	0.0	0.0	0.0	0.0
-1.702	0.0	0.0	0.0	0.0
-1.440	18.7	45.8	0.0	64.5
-1.178	72.7	119.0	0.0	191.7
-0.916	146.3	184.7	0.0	330.9
-0.654	223.9	238.3	0.0	462.2
-0.393	288.4	276.2	0.0	564.6
-0.131	324.9	295.8	0.0	620.7
0.131	324.9	295.8	0.0	620.7
0.393	288.4	276.2	0.0	564.6
0.654	223.9	238.3	0.0	462.2
0.916	146.3	184.7	0.0	330.9
1.178	72.7	119.0	0.0	191.7
1.440	18.7	45.8	0.0	64.5
1.702	0.0	0.0	0.0	0.0
1.963	0.0	0.0	0.0	0.0
2.225	0.0	0.0	0.0	0.0
2.487	0.0	0.0	0.0	0.0
2.749	0.0	0.0	0.0	0.0
3.011	0.0	0.0	0.0	0.0
				4469.3

Fuente: Autor.

El procedimiento es aplicado para cada uno de los meses, para los ángulos de inclinación β de 0°, 5°, 10°, 15°, 20° y 25° y un ángulo α de 0°, en la Tabla 25 se puede apreciar los valores obtenidos para cada ángulo de inclinación.

Tabla 25. Irradiación global (promedio diario mensual) que llega al plano de captación en el cantón Loja, según su ángulo β

<i>Mes</i>	$\beta=0^\circ$ kWh/m ²	$\beta=5^\circ$ kWh/m ²	$\beta=10^\circ$ kWh/m ²	$\beta=15^\circ$ kWh/m ²	$\beta=20^\circ$ kWh/m ²	$\beta=25^\circ$ kWh/m ²
Enero	4.47	4.61	4.73	4.82	4.87	4.90
Febrero	4.42	4.50	4.55	4.57	4.57	4.54
Marzo	4.43	4.44	4.42	4.37	4.30	4.21
Abril	4.66	4.57	4.46	4.32	4.16	3.97
Mayo	4.37	4.22	4.04	3.83	3.62	3.38
Junio	3.88	3.71	3.53	3.33	3.13	2.90
Julio	3.64	3.51	3.36	3.19	3.01	2.83
Agosto	4.23	4.13	4.00	3.85	3.68	3.48
Septiembre	4.71	4.68	4.62	4.54	4.43	4.29
Octubre	4.90	4.97	5.01	5.02	5.00	4.95
Noviembre	5.57	5.74	5.88	5.98	6.05	6.08
Diciembre	4.71	4.88	5.02	5.13	5.21	5.26
Año (Promedio)	4.50	4.49	4.47	4.41	4.33	4.23

Fuente: Autor.

Así mismo, el proceso se repite para las ubicaciones geográficas de cada uno de los cantones de la RSE en el anexo 4-42, se muestran los datos de irradiación solar obtenidos para cada cabecera cantonal, según los ángulos de inclinación mencionados anteriormente.

6.6. Análisis comparativo de datos de temperatura

Una vez tabulados los datos para cada estación meteorológica, se procedió al análisis general de los mismos. En el caso de los datos del NREL y datos reales de las estaciones meteorológicas, en primer lugar, se realizó un promedio mensual y anual en °C. Para los datos de la NASA, METEONORM, no fue necesario realizar ningún cálculo ya que se obtuvieron los datos directamente en promedios mensuales y anuales. Es necesario mencionar que para los datos reales de temperatura se obtuvieron datos completos no fue necesario realizar ningún procesamiento previo de los datos y en el caso del Atlas Solar del Ecuador y el Mapa solar del Ecuador, no contamos con datos de temperatura.

El análisis comparativo general, entre cada fuente de información, el cual se realizó para los datos promedio mensuales y anuales. Posteriormente se calculó el error absoluto medio (MAE) y la raíz del error medio cuadrático (RMSE), entre los datos reales y cada una de las bases de datos satelitales. Además, se obtuvo el coeficiente de correlación

Pearson, usado para analizar el comportamiento de las dos variables y el coeficiente de determinación R^2 , parámetro estadístico, usado para relacionar datos reales y datos estimados mediante el cual indica el nivel de confiabilidad de los datos de temperatura estimados. Finalmente se determinó el error de sesgo medio o sesgo porcentual medio (MBE), usando los datos promedios anuales de temperatura para cada una de las 4 fuentes de información utilizadas.

6.6.1. Análisis general de datos de temperatura

En este apartado se realizó un análisis general, de los resultados de cada una de las estaciones meteorológicas, para ello se relacionaron los datos mediante indicadores estadísticos de dispersión y similitud, así como también un análisis comparativo mediante gráficos entre los datos de temperatura estimados y los datos reales de las estaciones meteorológicas.

6.6.1.1. Coeficiente de correlación

Según la Tabla 26, se puede observar los valores del coeficiente de correlación de Pearson, para cada una de las fuentes de información utilizadas, obteniéndose en la mayoría de los casos un coeficiente de Pearson inferior a 0.7, es decir se encuentran fuera del rango aceptable, el cual indica la un bajo índice de relación entre las variables, además es importante mencionar que en algunos casos se presentaron valores del coeficiente de Pearson negativo, lo cual indica que las variables se relacionan en sentido inverso.

Tabla 26. Coeficiente de correlación de Pearson para los datos satelitales y reales de temperatura.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	METEONORM	NREL
LA ARGELIA	0.739	0.258	0.777
CARIAMANGA	0.264	-0.727	0.229
MACARÁ	0.511	0.662	-0.493
LA CUCA	0.731	0.959	0.568
LAS LAJAS	0.474	0.827	-0.620

Fuente: Autor.

6.6.1.2. Coeficiente de determinación R^2

En la Tabla 27, se puede observar los valores del coeficiente de determinación R^2 , para cada una de las fuentes de información, en la mayoría de los casos presenta un bajo índice de confiabilidad, siendo únicamente el caso de METEONORM, específicamente en la estación meteorológica LA CUCA la que presenta una alta confiabilidad en sus datos con un valor de 0.92, en todas las demás se obtuvieron valores fuera del rango aceptable, lo cual indica la un bajo índice en la precisión de los datos satelitales frente a los datos reales.

Tabla 27. Coeficiente de determinación R^2 para los datos satelitales y reales de temperatura.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	METEONORM	NREL
LA ARGELIA	0.546	0.067	0.604
CARIAMANGA	0.070	0.529	0.052
MACARÁ	0.261	0.439	0.308
LA CUCA	0.534	0.920	0.323
LAS LAJAS	0.225	0.684	0.385

Fuente: Autor.

6.6.1.3. Error medio absoluto (MAE)

En la Tabla 28, se muestran los valores del error medio absoluto (MAE), para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio, en el caso de la NASA se obtuvo un MAE superior al máximo aceptable, únicamente para la estación de LA ARGELIA presentando un valor porcentual de 40.6%, a diferencia de todas las demás estaciones meteorológicas que si presentan valores inferiores al 30%, es decir dentro del rango aceptable lo cual indica claramente que los datos satelitales presentan un índice de confiabilidad aceptable.

Tabla 28. Error medio absoluto para para los datos satelitales y reales de temperatura.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	METEONORM	NREL
LA ARGELIA	40.641%	4.548%	2.659%
CARIAMANGA	29.397%	15.027%	2.966%
MACARÁ	3.332%	6.700%	11.134%
LA CUCA	4.567%	2.356%	3.186%
LAS LAJAS	5.386%	10.330%	1.224%

Fuente: Autor.

6.6.1.4. Error medio cuadrático (RMSE)

A continuación, se presenta los valores del indicador estadístico RMSE, aplicados a los datos de temperatura satelitales y reales para cada una de las estaciones meteorológica en estudio.

En el caso de la NASA, se obtuvo un RMSE superior al máximo aceptable, únicamente para la estación LA ARGELIA con un valor porcentual de 40.7%. Por otro lado, el METEONORM y NREL presentaron valores inferiores al 30% lo cual indica claramente que los datos satelitales presentan un índice de confiabilidad aceptable, véase a detalle en la Tabla 29.

Tabla 29. Raíz del Error medio cuadrático para para los datos satelitales y reales de temperatura.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	METEONORM	NREL
LA ARGELIA	40.699%	5.220%	3.123%
CARIAMANGA	29.582%	18.197%	3.302%
MACARÁ	4.165%	8.303%	12.398%
LA CUCA	5.314%	2.853%	3.693%
LAS LAJAS	5.924%	11.437%	3.986%

Fuente: Autor.

6.6.1.5. Error de sesgo medio (MBE)

Tabla 30. Error de sesgo medioo sesgo porcentual medio para para los datos satelitales y reales de temperatura.

<i>Estación Meteorológica</i>	NASA	METEONORM	NREL
LA ARGELIA	40.728%	3.200%	2.064%
CARIAMANGA	29.320%	-13.034%	1.728%
MACARÁ	-2.793%	-4.915%	10.933%
LA CUCA	-4.370%	1.208%	-0.341%
LAS LAJAS	-5.206%	-10.341%	-1.167%

Fuente: Autor.

Analizando los valores del MBE obtenidos, al relacionar a los datos de temperatura satelitales y reales para cada una de las estaciones meteorológica en estudio, los valores obtenidos del MBE, en este caso son positivos y negativos, lo cual los valores positivos afirman que los datos satelitales sobreestiman a los datos reales de todas las estaciones

meteorológicas, mientras que los datos negativos subestiman a los datos reales. Sin embargo, es necesario mencionar en el caso de la NASA se obtuvo un MBE, más alto con un valor de 40.73%, que corresponde a la estación meteorológica LA ARGELIA, véase detalladamente en la Tabla 30.

6.6.1.6. Temperatura promedio anual

Finalmente, se muestran los resultados obtenidos para cada una de las estaciones meteorológicas utilizadas en la presente investigación, en la cual se representan gráficamente los datos de temperatura de cada una de las fuentes de información, utilizando promedios anuales en °C, en la cual se puede observar una proximidad entre los datos estimados frente los datos reales de las estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI. Sin embargo para los datos de la NASA en el caso de las estaciones de LA ARGELIA y CARIAMANGA, existe una diferencia muy elevada respecto a los datos reales tal como se puede apreciar en la Fig. 52.

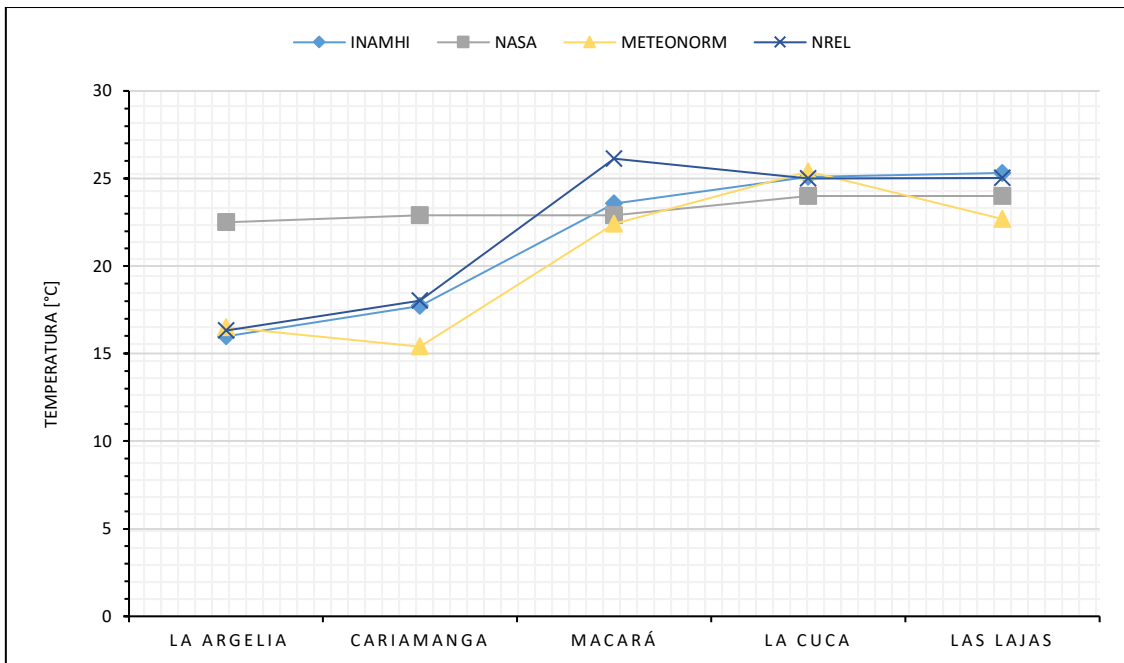


Figura 52. Temperatura mensual. Fuente: Autor.

En resumen, según en el análisis gráfico y mediante indicadores estadísticos en el cual se relacionaron los datos de temperatura satelitales frente a los datos de temperatura de las estaciones meteorológicas, en el cual se determina que los datos satelitales tiene una relación lineal muy baja, frente a los datos reales, sin embargo, se obtuvo un índice de

error dentro del rango aceptable, en la Tabla 31, se puede ver los valores de los indicadores estadísticos para cada una de las fuentes de información, los cuales indican el índice de precisión y confiabilidad en cada una de sus bases de datos.

Según la Fig. 53, se muestra claramente que los datos del METEONORM, presentan mayor precisión en sus datos según los indicadores estadísticos, sin embargo presentan valores por debajo del rango aceptable, lo cual afirma que sus datos tienen nivel de precisión muy bajo y por lo tanto no son confiables.

Tabla 31. Indicadores estadísticos promedio para todas las fuentes de información.

<i>Indicador Estadístico</i>	NASA	METEONORM	NREL
COEF. CORRE	0.544	0.687	0.538
R ²	0.327	0.528	0.334
MAE	16.517%	7.792%	4.634%
RMSE	17.137%	9.202%	5.300%
MBE	11.536%	-4.776%	2.643%

Fuente: Autor.

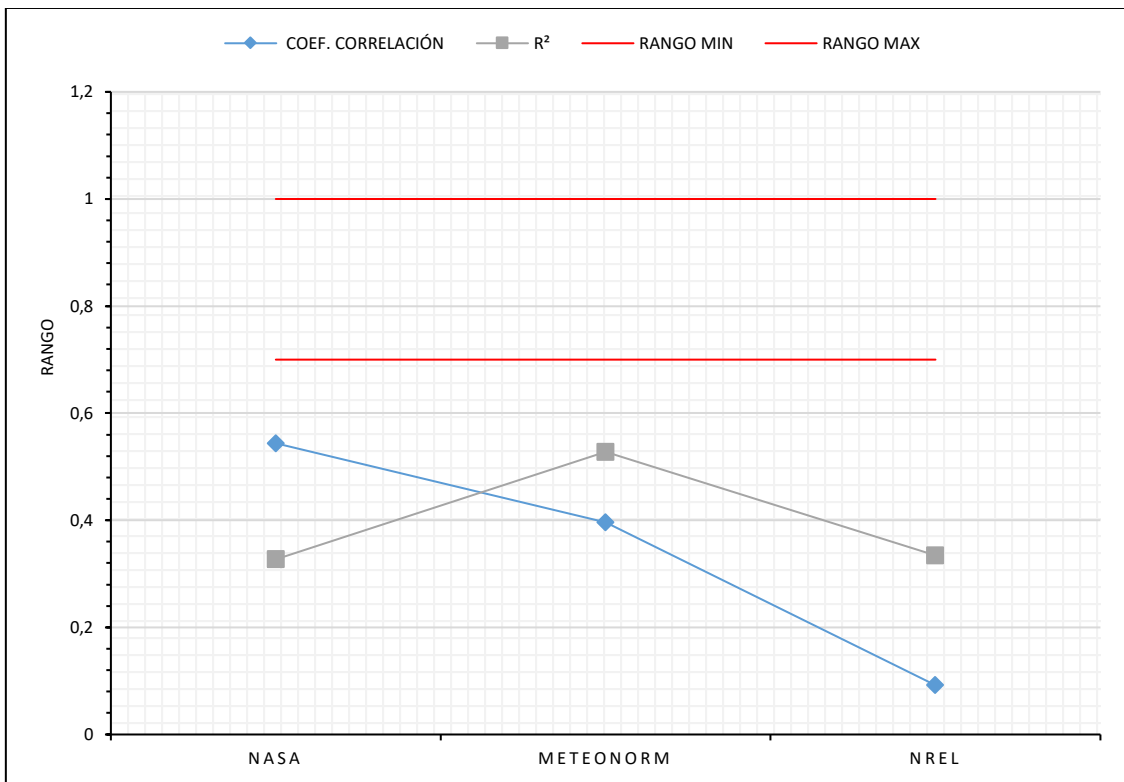


Figura 53. Coeficientes de correlación de Pearson y de determinación promedio para todas las fuentes de información. Fuente: Autor.

Por último, en la Fig. 54 se representa gráficamente los valores promedios del MAE y RMSE, los cuales afirman la confiabilidad en todos los datos con valores que se encuentran dentro del intervalo aceptable, a pesar de que los coeficientes de correlación y determinación no se encuentren dentro del rango aceptable.

Por otro lado el MBE, en el caso de METEONORM presenta un valor negativo indicando que los datos de esta fuente subestiman a los datos reales, la diferencia de la NASA y NREL que presentan valores positivos, lo cual afirma la sobreestimación en los datos satelitales frente a los datos reales de las estaciones meteorológicas.

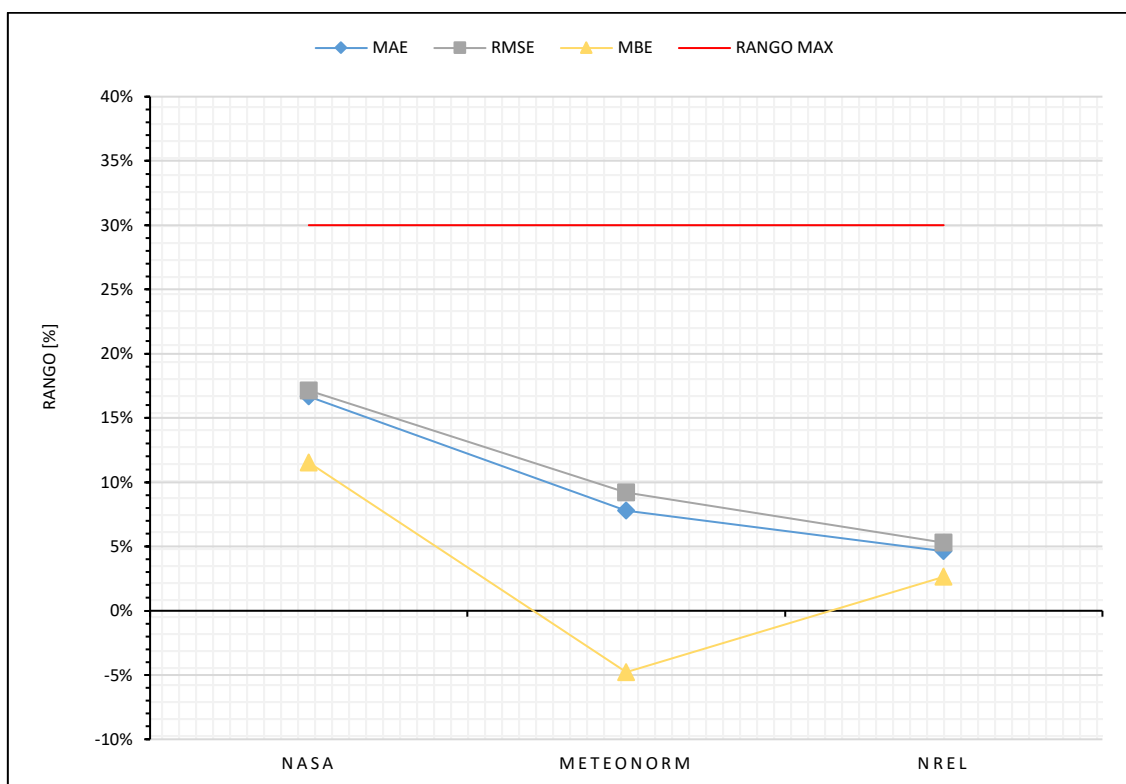


Figura 54. MAE, MRSE y MBE promedios para todas las fuentes de información. **Fuente:** Autor.

6.7. Plataforma web

Una vez validados los datos de IGH, y obtenido el potencial solar incidente sobre el plano de captación para cada uno de los cantones de la RSE, finalmente se procedió al diseño y elaboración de la plataforma web de acceso libre, en la que se presentan los datos de irradiación global horizontal de todas las fuentes de información utilizadas en esta investigación, además, dicha plataforma incluye los datos de potencial solar obtenido, dichos datos corresponden a cada una de las cabeceras cantonales de la Región Sur del

Ecuador, y se concluye con la elaboración de una herramienta de cálculo, que estima la producción de energía eléctrica mediante sistemas fotovoltaicos, para un ángulo de inclinación β de 0°, 5°, 10°, 15°, 20° y 25°, utilizando los datos de potencial solar incidente en el plano de captación, los mismo que se obtuvieron a partir de los datos del NREL, que según el análisis realizado presenta mayor índice de confiabilidad en su información.

Una vez aplicada la metodología mencionada en el capítulo anterior, se obtiene una plataforma web caracterizada por ser común y sencilla pero con un estilo moderno, denominada *Potencial solar en la Región Sur del Ecuador*, para acceder a la misma se debe introducir la dirección web en cualquier navegador de internet <https://potentialsolar-rse.com/>, a continuación se describe la funcionalidad de cada una de las páginas de nuestro sitio web.

6.7.1. Mapa

Esta es la página de inicio de nuestra plataforma web, en la cual muestra el mapa con las localidades de cada cabecera cantonal de la Región Sur del Ecuador, cada marcador del mapa incluye el nombre del cantón y su cabecera cantonal, así como también su ubicación geográfica latitud, longitud y altitud.

6.7.2. Páginas informativas

Estas páginas muestran información resumida, de la metodología utilizada en el presente trabajo de investigación, así como también, de las fuentes de información que se ha utilizado para obtener los datos de IGH y temperatura, para cada cantón de la Región Sur del Ecuador. A continuación, se menciona la función de cada una de las páginas denominadas informativas:

Información: En esta página, se muestra un resumen detallado de la finalidad del presente proyecto de investigación, proceso de elaboración, fuentes de información utilizadas y los resultados obtenidos, además, al final de esta página se encuentra cargado en formato PDF, el presente trabajo de investigación.

Provincias RSE: En esta página, se muestra las 3 provincias de la Región Sur del Ecuador, para la cual se presentan los datos de irradiación solar global horizontal y temperatura.

- **Provincias de Loja, El Oro y Zamora Chinchipe:** En estas páginas se muestran un listado de todos los cantones de cada provincia y su respectiva cabecera cantonal, en las cuales se presentan los datos de irradiación solar global, tanto horizontal como en el plano de captación y los datos de temperatura.

Contacto: En esta página se presentan los datos de contacto del autor del presente trabajo de investigación.

6.7.3. Páginas que contienen datos

Estas son 39 páginas, cada una con el nombre de un cantón de la RSE, las mismas que muestran los datos de irradiación solar global horizontal, datos de irradiación solar incidente en el plano de captación y datos de temperatura, en kWh/m²/día y °C respectivamente, además se presenta una calculadora, que estima la producción de energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos, utilizando los datos de potencial solar obtenido para para ángulos de inclinación β de 0°, 5°, 10°, 15°, 20° y 25°. En el Anexo 48 se explica paso a paso como acceder a dicha información.

6.7.3.1. Estimación de energía con sistemas fotovoltaicos.

En cada una de las 39 páginas mencionadas anteriormente, se muestra una calculadora, que permite obtener valores aproximados de la cantidad de energía que puede generar un sistema fotovoltaico, utilizando los datos de potencial solar incidente en el plano de captación, para lo cual el usuario debe ingresar los datos de los principales parámetros del sistema fotovoltaico, del módulo fotovoltaico que desea utilizar, además el usuario deberá seleccionar el ángulo de inclinación β , para el cual desea calcular la energía que generaría un SFV, dichos ángulos se puede seleccionar entre un valor β de 0°, 5°, 10°, 15°, 20° y 25°, que son los ángulos de inclinación más usados en el área de estudio, en la Fig. 55 se resume el procedimiento para usar la calculadora antes mencionada (Ver Anexo 49).

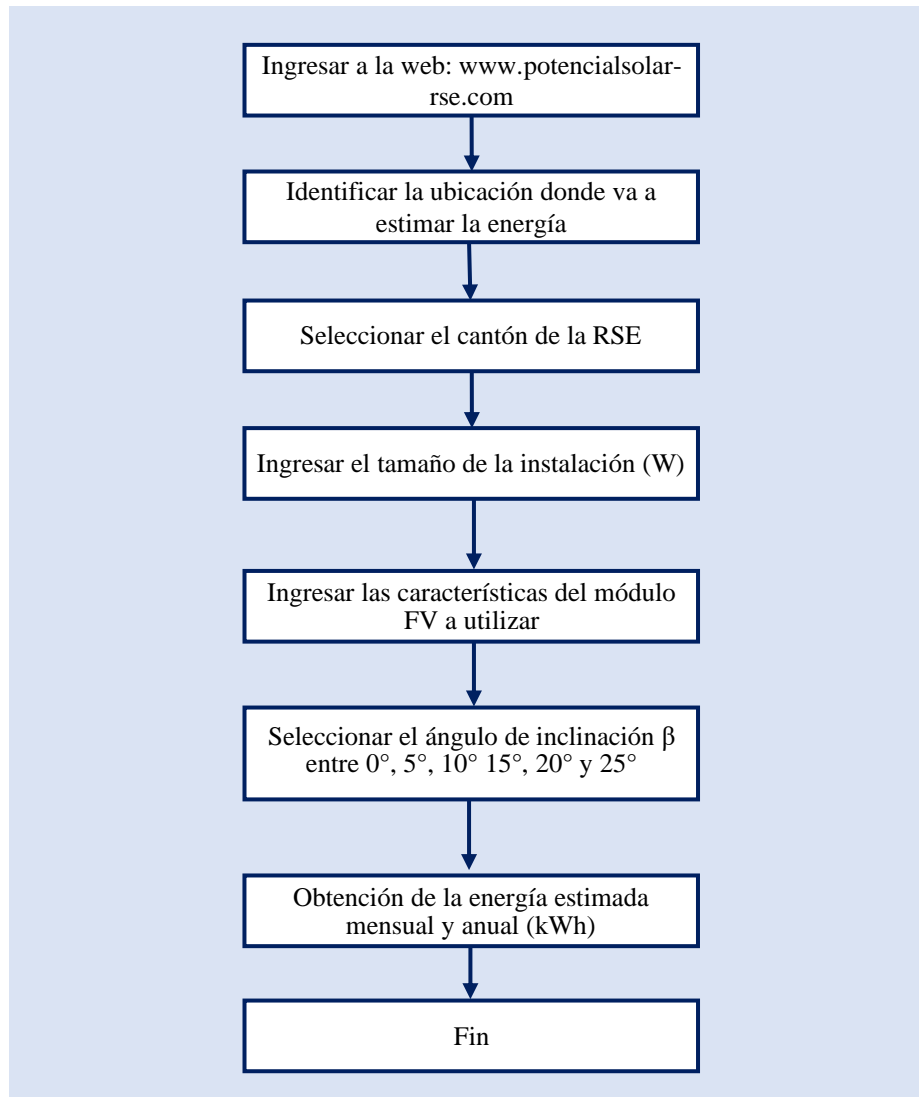


Figura 55. Procedimiento para el uso de la calculadora solar. **Fuente:** Autor

Estimación de energía para el cantón Loja

Para obtener la energía eléctrica que generaría una instalación fotovoltaica es decir la energía útil, para ello se usa la ecuación 38, expuesta en el capítulo anterior.

Una vez obtenido el potencial solar incidente en la superficie de captación en el cantón Loja, expuesto en el ítem 6.5.1, a partir de los datos obtenidos se procede a calcular la producción eléctrica que tendría un sistema fotovoltaico en el cantón Loja.

A continuación, se define algunos parámetros como la potencia nominal de la instalación fotovoltaica, en este caso usaremos una potencia de 1MW, usaremos módulos fotovoltaicos de 250 W de potencia nominal.

Datos:

$$P_{NI} = 1000000 \text{ W}$$

$$P_{NM} = 250 \text{ W}$$

$$\eta_m = 15.2 \% \text{ (Obtenido de la ficha técnica del módulo FV)}$$

$$A_M = 1.62688 \text{ m}^2 \text{ (Obtenido de la ficha técnica del módulo FV)}$$

$Y_R = 4.47 \text{ kWh/m}^2 \text{ o h/día}$ (Obtenido de la tabla 25 para una inclinación β de 0° en el mes de enero).

$FS = 0$ (Factor que debe considerar el diseñador dependiendo si hay o no sombras que interfieran en la irradiación solar incidente que llegue a la superficie de la instalación).

$PR = 0.75$ (Valor utilizado basándose en el estudio de instalaciones bien diseñadas)

$$E_U = P_{NI} * Y_R * (1 - FS) * PR$$

$$E_U = 1000000 \text{ W} * 4.47 \text{ h/día} * (1 - 0) * 0.75$$

$$E_U = 3352.500 \text{ kWh/día}$$

$$E_U = \mathbf{103927.5 \text{ kWh/mes}}$$

Cálculo del área que ocupan los módulos fotovoltaicos

$$E_U = Y_R * A_I * \eta_m$$

$$A_I = \frac{E_U}{\eta_m * Y_R}$$

$$A_I = \frac{103927.5 \text{ kWh/mes}}{0.152 * 138.57 \text{ kWh/m}^2/\text{mes}}$$

$$A_I = \mathbf{4934.21 \text{ m}^2}$$

Nota: El valor del área corresponde a la superficie cubierta únicamente por los módulos fotovoltaicos, el área total de la instalación dependerá de la separación entre módulos.

Cálculo del número de módulos fotovoltaicos, de toda la instalación

$$A_I = N_M * A_M$$

$$N_M = \frac{A_I}{A_M}$$

$$N_M = \frac{4934.21 \text{ m}^2}{1.62688 \text{ m}^2}$$

$$N_M = 3032.93$$

$$N_M \approx 3033$$

El mismo procedimiento, se aplica para cada uno de los meses del año, a continuación se muestran los valores de energía que generaría una instalación fotovoltaica de 1MW en el cantón Loja a una inclinación β de 0° (Tabla 32).

Tabla 32. Energía mensual y anual, estimada en el cantón Loja

<i>Mes</i>	Y_R (kWh/ m ²)	E_U (kWh/mes)
Enero	4.47	103927.500
Febrero	4.42	92820.1253
Marzo	4.43	103002.839
Abril	4.66	104808.293
Mayo	4.37	101652.837
Junio	3.88	87241.5212
Julio	3.64	84548.9009
Agosto	4.23	98406.4683
Septiembre	4.71	105866.867
Octubre	4.90	113978.317
Noviembre	5.57	125316.038
Diciembre	4.71	109420.775
Año (kWh/año)	4.50	1230973.46

Fuente: Autor.

7. DISCUSIÓN

En el presente proyecto de investigación, se desarrolló una metodología para obtener el potencial solar en la RSE, así como también se propuso una serie de pasos que permitió la consecución de este propósito.

Partiendo de la búsqueda bibliográfica, se identificó las diferentes fuentes de información, de la NASA, NREL y METEONORM, siendo estas las fuentes de información más importantes que proporcionan datos de irradiación solar en la zona de estudio, así mismo se identifica a los atlas solar del Ecuador y al mapa solar del Ecuador 2019, como una alternativa muy importante al momento de obtener datos de irradiación solar en el Ecuador, por otro lado se identificó al INAMHI como única opción a la hora de obtener datos de irradiación solar reales en la zona de estudio.

La obtención de datos de IGH, de cada una de las fuentes de información se realizó para las coordenadas geográficas de cada uno de los catones de la RSE, en el caso de los datos las estaciones meteorológicas se usa las coordenadas de cada EM.

El análisis y validación de las diferentes bases de datos, se realizó en Microsoft Excel® utilizando indicadores estadísticos de dispersión y comparación mediante estadística gráfica, ya que son unos de los métodos más utilizados y más precisos para validación y comparación de datos de irradiación solar.

El análisis y validación de datos se realizó para 5 estaciones meteorológicas operadas por el INAMHI: LA ARGELIA, CARIAMANGA, MACARÁ, LA CUCA y LAS LAJAS. En el que se determinó claramente que los datos del NREL, presentan mayor precisión en sus datos según los indicadores estadísticos promedio, posteriormente tenemos al Mapa solar del Ecuador 2019 y Atlas Solar del Ecuador, respectivamente. Así mismo, se determinó que los datos de la NASA y METEONORM son los que presentan la menor precisión en sus datos, debido a que los valores de los indicadores obtenidos se encuentran por debajo del rango mínimo aceptable, siendo la NASA la que presente valores levemente inferiores.

Al momento de ejecutar proyectos de generación energética alternativa mediante paneles fotovoltaicos. La mejor opción a tener en cuenta son los datos que proporcionan las estaciones meteorológicas; pero al no contar con estaciones meteorológicas en cada cantón de la Región Sur del Ecuador, se propuso usar los datos del NREL, ya que es la fuente de información que presentan datos con mayor índice de confiabilidad. Por tal

razón se usó dichos datos como punto de partida para la obtención del potencial solar sobre el plano de captación.

Para la obtención del potencial solar en la superficie de captación se realizó en 3 pasos: Primero se obtuvo cada una de las componentes de la IGH, utilizando el método propuesto por (Collares-Pereira & Rabl, 1979), a continuación se obtiene la irradiación solar horaria difusa, directa y global mediante el modelo propuesto por (Liu & Jordan, 1993), finalmente se obtuvo la irradiación solar sobre el plano de captación dependiendo del ángulo de inclinación β , para ello se basó principalmente en el método propuesto por (Perez et al., 1987), siendo estos modelos unos de los precisos a la hora de obtener la irradiación solar sobre la superficie de captación, la cual depende la ubicación geográfica y del ángulo de inclinación β .

Los datos de potencial solar, fueron calculados para cada uno de los cantones de la RSE, los mismos que serán utilizados para calcular la producción de energía mediante sistemas fotovoltaicos.

Finalmente, se elaboró la plataforma web de acceso libre, en la que se presentan los datos de irradiación global horizontal de cada una de las fuentes de información, así mismo se presentan los datos de irradiación solar incidente sobre el plano de captación, para cada una de las cabeceras cantonales de la RSE, además dicha plataforma incluye una herramienta de cálculo, que estima la producción aproximada de energía eléctrica que tendría un sistema fotovoltaico utilizando los datos de irradiación solar incidente sobre el plano de captación.

Para estimar la producción de energía eléctrica que tendría un sistema fotovoltaico se usa el modelo propuesto por (Caamaño & Egido, 2005), en el que sugiere utilizar un rendimiento característico de 0.75, valor basado en el estudio de instalaciones bien diseñadas, así mismo propone usar un factor de sombras de 0, ya que es un valor que depende de la ubicación de la instalación.

Con el presente proyecto de investigación se aporta al desarrollo del proyecto de investigación que ejecuta la Universidad Nacional de Loja denominado Caracterización de la potencialidad solar y eólica en la RSE, así mismo se aporta con información para profesionales y personas interesadas en el desarrollo de la energía solar en la RSE, ya que con el uso de la calculadora solar permitirá obtener la energía eléctrica que generaría un sistema fotovoltaico en cualquier cantón de la RSE.

8. CONCLUSIONES

- Se identificó las diferentes fuentes de información más importantes que proporcionan, datos del recurso solar existente en la Región Sur del Ecuador, tanto datos estimados como reales.
- Se obtuvo datos de irradiación solar global horizontal estimados de la NASA, METEONORM, NREL, Atlas solar del Ecuador y Mapa solar del Ecuador 2019, así como también datos reales de las estaciones meteorológicas LA ARGELIA, CARIAMANGA, MACARÁ, LA CUCA y LAS LAJAS. En el análisis realizado se determinó claramente que los datos del NREL presentan mayor precisión en sus datos según los indicadores estadísticos con un error RMSE de 14.4 %. A partir de los datos del NREL, se logró obtener el potencial solar incidente sobre la superficie de captación, en cada uno de los cantones de la RSE.
- Se elaboró una plataforma web, de acceso libre en la que se presentan todos los datos de irradiación solar obtenidos en kWh/m²/día, así mismo se incorporó una herramienta de cálculo, que permite estimar la producción de energía aproximada que tendría una instalación fotovoltaica, dependiendo de la inclinación β , de los módulos fotovoltaicos y de las características del mismo.

9. RECOMENDACIONES

- Es recomendable realizar un convenio interinstitucional de la Universidad Nacional de Loja, con instituciones públicas y privadas con la finalidad de facilitar el acceso a los datos meteorológicos en el Ecuador, específicamente con fines investigativos para aportar al desarrollo de la energía solar en el Ecuador.
- Una de las funciones que presenta esta investigación, es el uso de la calculadora para estimar la generación de energía mensual y anual, que tendría un sistema fotovoltaico. Es importante tener en cuenta, que no todos los módulos fotovoltaicos presentan la misma eficiencia y por lo tanto con algunos se necesitará mayor número de módulos FV, para obtener una misma producción de energía, además la producción de energía útil final dependerá de la ubicación del lugar de la instalación, de si hay o no sombras que se proyecten sobre la instalación.
- Además, se recomienda realizar estudios similares en la región Sur del Ecuador, de tal manera que se valide la calculadora solar elaborada en esta investigación, basándose en datos de rendimientos reales de instalaciones fotovoltaicas.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, O., & Montaña, T. (2015). La radiación solar global en la región sur de Ecuador. aproximación a partir de modelos teóricos. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 28(4), 1–16. Retrieved from <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/viewFile/392/279>
- Álvarez, O., Montaña, T., & Maldonado, J. (2014). La radiación solar global en la provincia de Loja , evaluación preliminar utilizando el método de Hottel. *Ingenius*, 11, 25–31.
- Alvarez, O., Montaña, T., Maldonado, J., & Luna, L. (2017). Utilización de imágenes GOES en el cálculo de radiación solar en la Región Sur del Ecuador. *Cedamaz*, 4(1), 97–105.
- Andalucía, J. (2019). Factores que afectan a los niveles de radiación Solar :: Red de Información Ambiental de Andalucía :: Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio :: Junta de Andalucía :: Retrieved February 26, 2019, from http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam/menuitem.04dc44281e5d53cf8ca78ca731525ea0/?vgnnextoid=42aff1ad7eb56010VgnVCM1000000624e50aRCRD&vgnnextchannel=de7705bfdc979310VgnVCM1000001325e50aRCRD&vgnnextfmt=rediam&lr=lang_es
- Arenas Sánchez, D. A., & Zapata Castaño, H. S. (2011). *LIBRO INTERACTIVO SOBRE ENERGIA SOLAR Y SUS APLICACIONES*.
- Ávila, A. M. M., Bravo, J. D., & Puebla, J. G. (2014). Modelo geográfico para la estimación del potencial fotovoltaico en tejados. Caso de estudio: Miraflores de la Sierra. *Geography, MsC TIG*, 82. <https://doi.org/25543>
- Broncano, M. E. (2009). Diseño de un sitio web para la venta de suministros de oficina y material publicitario de la empresa Accountant's & Equipment's Office. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1534>
- Bueno Vera, A. S. (2014). UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL FACULTAD DE COMUNICACIÓN SOCIAL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Previo a la Obtención del Título de Ingeniero en Diseño Gráfico TÍTULO DEL PROYECTO DISEÑO Y ELABORACIÓN DE CAMPAÑA GRÁFICA PARA.
- Bustamante Saca, D. del C. (2013). DISEÑO DE UNA PÁGINA WEB PARA LA

COMUNIDAD AGUA BLANCA, CANTÓN PUERTO LÓPEZ, PROVINCIA DE MANABÍ.

- Caamaño, E., & Egido, M. Á. (2005). Edificios fotovoltaicos conectados a la red eléctrica: Características y Posibilidades Energéticas, 1–83.
- CALCULATIONSOLAR BLOG. (2019). Estimación radiación solar - CALCULATIONSOLAR BLOG. Retrieved February 25, 2019, from <http://calculationsolar.com/blog/?cat=2>
- Camayo-Lapa, B. F., Pomachagua-Paucar, J. E., Massipe-Hernaández, J. R., Quispe-Flores, M. O., & Torres-Ten, A. (2017). Validación y aplicación del modelo Bristow Campbell para estimar la radiación solar global de la región de Junin. *Tecnología Química*, 37(3), 574–590. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852017000300015
- Carollo, M. C. (2011). Regresión lineal simple REGRESIÓN LINEAL SIMPLE, 1–31. Retrieved from http://eio.usc.es/eipc1/BASE/BASEMASTER/FORMULARIOS-PHP-DPTO/MATERIALES/Mat_50140116_Regr_simple_2011_12.pdf
- CASTRO COELLO, M. N. (2010). Implementación De Un Portal Web Para La Difusión Y Concientización De La Evangelización Cristiana. Retrieved from <http://www.ug.edu.ec/SitePages/historia.aspx>
- Castro, R. M. (2002). Introducción a la Energía Fotovoltaica, 51. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Collares-Pereira, M., & Rabl, A. (1979). The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values. *Solar Energy*, 22(2), 155–164. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(79\)90100-2](https://doi.org/10.1016/0038-092X(79)90100-2)
- CONELEC. (2013). ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA Corporación para la Investigación Energética. Retrieved from <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Culebro Juárez, M., Gómez Herrera, W. G., & Torres Sánchez, S. (2006). Software libre vs. Software propietario: ventajas y desventajas.[en línea]. *México:[Sn]*, 170.
- Díaz Egüez, S. A. (2018). EVALUACIÓN DEL POTENCIAL SOLAR PARA OBTENCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA CIUDAD DE QUITO. *Высшей*

- Нервной Деятельности*, 2, 227–249.
- Djebbar, R., Morris, R., Thevenard, D., Perez, R., & Schlemmer, J. (2012). Assessment of SUNY version 3 global horizontal and direct normal solar irradiance in Canada. *Energy Procedia*, 30, 1274–1283. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.11.140>
- Duffie, J., Beckman, W., & Blair, N. (1976). *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, 5th Edition - John A. Duffie, William A. Beckman, Nathan Blair - Google Libros. Retrieved July 23, 2020, from https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=4vXPDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=duffie&ots=kvwAWVkyPK&sig=1y3n-bwVbFWuyk0TFPB82qoeUgY&redir_esc=y#v=onepage&q=duffie&f=false
- Energema. (2014). Departamento Renovables Hora Solar Pico (Hsp), 1–8.
- Ente Vasco de la Energía. (1392). *La energía solar fotovoltaica en el País Vasco*.
- Escobar Arraigada, C., & Lagos Llancao, J. (2006). “WordPress” y la creación de un sitio Web dinámico: metodología de instalación y puesta en marcha. *Serie Bibliotecología y Gestión de Información*, (10), 1–92.
- Estrada Cajigal, V. (2008). Fuentes De Informacion De Datos De Radiacion Solar, (1978), 10.
- Fe, S. (1999). Generación Eléctrica Distribuida, 610(3000), 1–4.
- GUERRERO DUMAS, C. F., & LEÓN BRABO, D. P. (2018). *Universidad de cuenca facultad de ingeniería escuela de ingeniería eléctrica*.
- Hernández, O. H. Á., Montaña, T., & Quentin, E. (2014). La radiación solar global en las provincias El Oro , Loja y Zamora Chinchipe , Ecuador . Utilización de datos de reanálisis de la nubosidad diurna . *Revista de Climatología*, 14, 25–33.
- Horn, M. (2007). Potencial de energía solar térmica y fotovoltaica en el Perú. *I Congreso Sobre Biocombustibles y Energías Renovables, primero*.
- INAMHI. (1966). In Reply: BEHAVIOUR THERAPY. *The British Journal of Psychiatry*, 112(483), 211–212. <https://doi.org/10.1192/bjp.112.483.211-a>
- INAMHI. (2014). INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA PLAN ESTRATÉGICO.
- INECEL. (1981). Estudio del Potencial Solar y Eólico del Ecuador.
- INER. (2016). *Eficiencia energética y energías renovables en Ecuador I + D + i*.
- Ingemecánica. (2013). Instalación Solar Fotovoltaica para Vivienda, 1, 7. Retrieved from

- <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- Instituto Costarricense de Electricidad. (2006). Estudio del potencial solar en Costa Rica. Informe Final, (2001997), 1–65.
- ITER-S.A. (2008). Instalación Solar Fotovoltaica, 106.
- Joomla! (2018). Joomla! - Sistema de gestión de contenido para crear sitios web y aplicaciones. Retrieved January 2, 2020, from <https://www.joomla.org/about-joomla.html>
- Joyanes Aguilar, L. (2008). *Fundamentos de programación*.
- La energía solar.org. (2019). Energía Solar - Descubre en qué consiste y cómo se puede utilizar. Retrieved January 2, 2019, from <https://www.laenergiasolar.org/?fbclid=IwAR3EpkElrLw8Ph82cUl6y9wnEB4TscSkZJ3JXAm0TDe8a5Nt19djCsaXHTQ>
- Lillo Marco, L. M. (2016). Implementación de una página web corporativa : Gráficas San Vicente. Retrieved from <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/handle/10609/45321>
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1960). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation. *Solar Energy*, 4(3), 1–19. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(60\)90062-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(60)90062-1)
- Liu, B. Y. H., & Jordan, R. C. (1993). The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation - Resultados de su búsqueda - Bases de datos bibliográficos Pascal y Francis. Retrieved July 23, 2020, from <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=4160276>
- Lorenzo, E., Navarrete, L., Leloux, J., & Villagrà, M. (2011). Método de detección automática y diagnóstico de fallos de operación en instalaciones solares fotovoltaicas distribuidas, basado en la comparación de sus producciones de energía.
- Luna, L. (2014). Metodología Para El Cálculo De Radiación Solar a Través De Fotografías Satelitales Visibles E Infrarrojas, Caso Práctico En La Región Sur Del Ecuador, 50. <https://doi.org/10.1017/S0010417500000463>
- Mendoza, C. (2011). Potencial de la Radiacion Solar, 26–54.
- Meteonorm-Aiguasol. (2019). Meteonorm - Aiguasol. Retrieved September 4, 2019, from <https://aiguasol.coop/es/software-energia/meteonorm-7-2-datos-climaticos-globales/>

- Meteonorm. (2019). *Meteonorm*. Retrieved from <https://meteonorm.com/>
- Murcia, H. R. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas
Development of Solar Energy in Colombia and its Prospects. *Revista de Ingeniería*,
28, 83–89. <https://doi.org/ISSN.0121-4993>
- Nandwani, S. (2005). Energía solar. Conceptos básicos y su utilización. *Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica)*. Jun, 1–26. Retrieved from http://www.catalogosolar.mx/download/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf
- NASA. (2018). POWER Data Access Viewer. *Multiple Data Access Options*, 600. Retrieved from <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- NASA. (2019). POWER Data Access Viewer. Retrieved August 27, 2019, from <https://power.larc.nasa.gov>
- NREL. (2007). Wilcox, Stephen. National Solar Radiation Database 1991-2005 Update: User's Manual. No. NREL/TP-581-41364. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Golden, CO., 2007., (April).
- NREL. (2015a). NSRDB data viewer. Retrieved September 7, 2019, from <https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer/?aL=UdPEX9%255Bv%255D%3Dt%26f69KzE%255Bv%255D%3Dt%26f69KzE%255Bd%255D%3D1&bL=clight&cE=0&IR=0&mC=4.740675384778373%2C22.8515625&zL=2>
- NREL. (2015b). NSRDB data viewer. Retrieved September 7, 2019, from <https://maps.nrel.gov/nsrdb-viewer/?aL=UdPEX9%255Bv%255D%3Dt%26f69KzE%255Bv%255D%3Dt%26f69KzE%255Bd%255D%3D1&bL=clight&cE=0&IR=0&mC=-4.037220534660494%2C-79.11872863769531&zL=11>
- NSRDB. (2018). *NSRDB-BASE DE DATOS NACIONAL DE RADIACIÓN SOLAR*.
- NSRDB. (2019). (NSRDB-<https://nsrdb.nrel.gov/>). Retrieved September 3, 2019, from <https://nsrdb.nrel.gov/>
- OJEDA FERNÁNDEZ, M. (2011). Universidad De Sevilla Escuela Técnica Superior De Ingenieros Departamento De Ingeniería Energética Comparativa De La Radiación Solar Medida Mediante Bases Terrestres Y Bases Satelitales Proyecto Fin De Carrera.
- Ordóñez, F., Vaca, D., & López-Villada, J. (2019). Assessment of the Solar Resource in

- Andean Regions by Comparison between Satellite Estimation and Ground Measurements: Study Case of Ecuador. *Journal of Sustainable Development*, 12(4), 62. <https://doi.org/10.5539/jsd.v12n4p62>
- Ospino Castro, A. J. (2010). Análisis del potencial energético solar en la región caribe para el diseño de un sistema fotovoltaico. *Inge Cuc*, 6(1), 95–102. Retrieved from <http://revistascientificas.cuc.edu.co/index.php/ingecuc/article/view/296>
- Peña, J., & Esteban, J. (2016). Estudio y desarrollo de una planta solar fotovoltaica, 127.
- Perata, J., Lopez, Á., Sosa, I., & Emérita, D. (2013). Análisis estadístico de la información meteorológica para la explotación de energías renovables en el Ecuador.
- Perez, R., Seals, R., Ineichen, P., Stewart, R., & Menicucci, D. (1987). A new simplified version of the perez diffuse irradiance model for tilted surfaces. *Solar Energy*, 39(3), 221–231. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(87\)80031-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(87)80031-2)
- Pilatowsky, Isaac. García, O. (2017). *Aplicaciones térmicas de la energía solar en los sectores residencial ,.*
- Potencial, E. en el E. (2015). Capítulo 3 3. potencial energético renovable del Ecuador 3.1., 95–140.
- PrestaShop. (2019). Preguntas frecuentes sobre PrestaShop - FAQ. Retrieved January 2, 2020, from <https://www.prestashop.com/es/faq>
- Raush, J. R., Chambers, T. L., Russo, B., & Crump, K. (2016). Assessment of local solar resource measurement and predictions in south Louisiana. *Energy, Sustainability and Society*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s13705-016-0083-y>
- Raush, J. R., Chambers, T. L., Russo, B., Crump, K., Sengupta, M., Habte, A., ... NSRDB. (2012). General Solar Position Calculations. *World Renewable Energy Forum (WREF)*, 76(September), 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2003.12.003>
- Recursos, P. De. (2012). I I I C A I M 2 0 1 2 Identificación y Evaluación del Potencial de Recursos, (April). <https://doi.org/10.13140/2.1.1101.9203>
- Reuni, X. L., & Vol, M. A. (2017). ATLAS GLOBALES DE RADIACIÓN SOLAR: EVALUACIÓN EN LA PAMPA HÚMEDA ARGENTINA, 5, 79–86.
- Righini, R., & Aristegui, R. (2016). PLANTAS FOTOVOLTAICAS: PERJUICIOS POR NO EVALUAR CONVENIENTEMENTE EL RECURSO SOLAR, 4, 69–76.
- Romero Jacobo. (2013). Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio:

- Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró., 1–118.
- Rubio, A. A., Ciobotaru, C. K., & Peinado, P. L. (2015). Innovación conocimiento. Salamanca-Avila, S. (2017). Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá. *Revista Científica*, 3(30), 263. <https://doi.org/10.14483/23448350.12213>
- Sayago, S., Bocco, M., & Ovando, G. (2011). Radiación solar horaria: modelos de estimación a partir de variables meteorológicas básicas. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 15(2007), 51–57.
- Schallenberg, J. C., Gonzalo, R., Izquierdo, P., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga, P., Ramón, F., ... Ortin, S. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*.
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2015). Agenda Zonal, Zona 7 Sur 2013-2017. *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo*, 164. Retrieved from <http://www.planificacion.gob.ec/>
- Segarra, M. (2014). Desarrollo de una web corporativa basada en WordPress.
- Sengupta, M., Xie, Y., Lopez, A., Habte, A., Maclaurin, G., & Shelby, J. (2018). The National Solar Radiation Data Base (NSRDB). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89(January 2019), 51–60. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.003>
- Sepúlveda, S. (2014). Radiación solar: Factor clave para el diseño de sistemas fotovoltaicos solar radiation: key factor for design of photovoltaic systems. *Mundo FESC*, 60–65.
- Stackhouse, P. W., Chandler, W. S., Zhang, T., Westberg, D., Barnett, A. J., & Hoell, J. M. (2016). Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Methodology Version 3.2.0. *Nasa*, 76. Retrieved from https://power.larc.nasa.gov/documents/SSE_Methodology.pdf
- Teo, C. R. A. D. E., Domínguez, A., Es, Q. U. É., & Blog, U. N. (2016). Manual básico de wordpress, 0–14.
- Urrejola, E., Antonanzas, J., Ayala, P., Salgado, M., Ramírez-Sagner, G., Cortés, C., ... Escobar, R. (2016). Effect of soiling and sunlight exposure on the performance ratio of photovoltaic technologies in Santiago, Chile. *Energy Conversion and Management*, 114, 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.016>
- Vaca, D., & Ordoñez, F. (2020). Mapa Solar del Ecuador 2019.
- Vaca Revelo, D. G. (2018). Validación de datos satelitales de radiación solar utilizando

- mediciones terrestres para el Ecuador. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19516>
- Valencia, U. P. D. E., & Samitier, D. P. (2017). “ Diseño e implementación de una web con Wordpress , el caso de Alfa Motos ” Índice.
- Vanegas Chamorro, M., Villicaña Ortiz, E., & Arrieta Viana, L. (2015). Cuantificación y caracterización de la radiación solar en el departamento de la guajira-colombia mediante el calculo de transmisibilidad atmosférica. *Prospectiva*, 13(2), 54. <https://doi.org/10.15665/rp.v13i2.487>
- White, J. W., Hoogenboom, G., Stackhouse, P. W., & Hoell, J. M. (2008). Evaluation of NASA satellite- and assimilation model-derived long-term daily temperature data over the continental US. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(10), 1574–1584. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2008.05.017>
- WordPress. (2019). Acerca de nosotros: Nuestra misión | WordPress.org Español. Retrieved January 2, 2020, from <https://es.wordpress.org/about/>
- ZONEN, K. (2019). CMP22 Piranómetro, Espectralmente Plana Clase A ISO 9060:2018 - Kipp & Zonen. Retrieved September 6, 2019, from <https://www.kippzonen.es/Product/212/CMP22-Piranometro#.XXH8ki5KjIU>

11. ANEXOS

ANEXO 1. Oficio dirigido al departamento de investigación de la UNL.



UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA

FEIRNNR

Of. Nro. 01-30072019-JCSJ
Loja, 30 de julio de 2019

Señor Doctor
Max Encalada
DIRECTOR DE INVESTIGACIONES DE LA UNL

De mi consideración, -

Estimado Doctor, reciba un cordial saludo y deseando muchos éxitos en sus funciones. El motivo del presente es para solicitar a Usted, se eleve un oficio al INAMHI en Loja, solicitando la información de estaciones meteorológicas automáticas que están instaladas en la Región Sur del Ecuador, esto es en las provincias de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe, específicamente los datos relacionados con:

- Irradiación solar global
- Temperatura

Los datos antes mencionados contribuirán para el trabajo de titulación denominado: "METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR", dirigido por quien suscribe, y desarrollado por el Señor Freddy José Vélez Medina.

Debo mencionar Señor Director, que el trabajo de titulación es parte del proyecto de investigación que ejecuta la UNL, denominado: "CARACTERIZACIÓN DE LA POTENCIALIDAD DE LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR".

Por la gentil atención que se digne dar a la presente, le anticipo mi sincero agradecimiento.

Con sentimientos de consideración y estima,


Juan Carlos Solano Jiménez
Ph.D. Juan Carlos Solano J.
DOCENTE
DOCENTE FEIRNNR

Juan Carlos Solano Jiménez,
Docente Investigador, Universidad Nacional de Loja Ecuador
Doctor en Energía Solar Fotovoltaica, Universidad Politécnica de Madrid
e-mail: jcsj.solano@unl.edu.ec

ANEXO 2. Oficio dirigido al INAMHI, solicitado los datos requeridos.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Dirección
de Investigación

Oficio Nro. 297-DI-UNL-2019
Loja, 06 de agosto de 2019

Ingeniero
Augusto Araque Arias
COORDINADOR DEMARCACIÓN JUBONES-PUYANGO INAMHI
En su despacho.

De mi consideración:

Con un saludo cordial me dirijo a usted, a la vez comedidamente exponer y solicitar lo siguiente:

El Ing. Juan Carlos Solano docente de la Carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales Renovables se encuentra dirigiendo un proyecto de tesis denominado: **Metodología para la obtención del potencial solar en la Región Sur del Ecuador**, tiene la necesidad de contar con la información meteorológica de irradiación solar global y temperatura de las estaciones meteorológicas automáticas de la Provincia de el Oro, Loja y Zamora Chinchipe desde el año 2014 al 2018.

Con estos antecedentes muy comedidamente me permito solicitarle se digna concedernos dicha información que será utilizada exclusivamente para los fines anteriormente señalados.

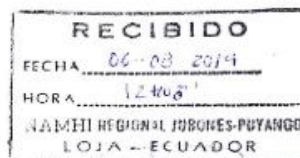
En la seguridad de contar con su atención al presente pedido le expreso mi agradecimiento.

Atentamente,

Ing. Max Ercalada Córdova PhD
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN



MEC/
c.c. Archivo



Av. Pío Jaramillo Alvarado s/n, sector La Argelia, Loja-Ecuador
Teléfono. 2545 100, Email: direccion.investigacion@unl.edu.ec
Sitio web: www.unl.edu.ec

ANEXO 3. Oficio de respuesta favorable por parte del INAMHI.



PROCESO DESCONCENTRADO JUBONES - PUYANGO
OFICIO No. INAMHI-RJP-2019-058
Loja, 11 de septiembre de 2019

Asunto: Entrega de información meteorológica solicitada.

Sr. Ing. / PhD.
Max Encalada Córdova
DIRECTOR DE INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
Ciudad.-

De mi consideración:

Atento a su petición formulada mediante **Oficio No. 297-DI-UNL-2019** de **06 de agosto de 2019**, adjunto al presente me permito hacer la entrega de información meteorológica solicitada.

Cabe informar que la data proporcionada corresponde a lo registrado en siete estaciones meteorológicas automáticas dispuestas en las provincias de El Oro y Loja, en Zamora Chinchipe el INAMHI carece de estaciones.

Esperamos de esta forma facilitar a la Sr. Freddy Vélez / **ESTUDIANTE DE LA CARRERA DE INGENIERIA ELECTRONICA Y TELECOMUNICACIONES**, el desarrollo de su Proyecto de Titulación: "**Metodología para la obtención del potencial solar en la Región Sur del Ecuador**", como consta en su comunicación.

Atentamente,

Ing. Augusto Araque Arias
COORDINADOR REGIONAL JUBONES – PUYANGO



Se adjunta la información solicitada

Dirección: Av. Orillas de Zamora (sector Norte), Edificio Gobierno Zonal 7, sexto piso. • 07 2 581756 ext. 1301
Loja - Ecuador • www.inamhi.gob.ec • serviciosloja@inamhi.gob.ec

ANEXO 4. Datos irradiación solar global, tanto horizontal como en el plano de captación para el cantón CALVAS.

Definición de un sitio geográfico														
Sitio geográfico: Cariamanga										País: Ecuador				
Ubicación					Latitud -4.33° S					Longitud -79.56° W				
Tiempo definido como					Hora Legal Huso horario UT-5					Altitud 1898 m				
Valores meteorológicos mensuales							Fuente: NASA-SSE satellite data 1983-2005							
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
I. Hor. Global	5,01	4,85	5,23	4,98	5,00	5,18	5,44	5,97	6,21	6,04	6,11	5,48	5,46	kWh/m².día
Tem. Ambiente	23,0	22,5	22,6	23,1	22,9	22,3	21,9	22,7	23,7	23,8	23,3	23,1	22,9	°C

Definición de un sitio geográfico														
Sitio geográfico: Cariamanga										País: Ecuador				
Ubicación					Latitud -4.33° S					Longitud -79.56° W				
Tiempo definido como					Hora Legal Huso horario UT-5					Altitud 1898 m				
Valores meteorológicos mensuales							Fuente: Meteonorm 7.1							
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
I. Hor. Global	5,34	5,68	6,25	5,75	5,46	5,54	5,80	6,09	6,83	6,74	6,17	5,70	5,95	kWh/m².día
Tem. Ambiente	17,6	18,1	18,3	17,4	16,0	13,9	13,3	13,1	12,9	13,5	14,1	16,0	15,4	°C

Definición de un sitio geográfico														
Sitio geográfico: Cariamanga										País: Ecuador				
Ubicación					Latitud -4.33° S					Longitud -79.56° W				
Tiempo definido como					Hora Legal Huso horario UT-5					Altitud 1898 m				
Valores meteorológicos mensuales							Fuente: NREL-NSRDB 2013-2017							
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
I. Hor. Global	4,96	5,12	5,17	5,67	5,26	5,33	5,70	6,00	6,12	5,63	6,02	5,29	5,52	kWh/m².día
Tem. Ambiente	18,2	17,9	17,8	18,0	17,9	17,2	17,2	18,0	18,7	18,5	18,3	18,4	18,0	°C

Definición de un sitio geográfico														
Sitio geográfico: Cariamanga										País: Ecuador				
Ubicación					Latitud -4.33° S					Longitud -79.56° W				
Tiempo definido como					Hora Legal Huso horario UT-5					Altitud 1898 m				
Valores meteorológicos mensuales							Fuente: Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica							
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
I. Hor. Global	4,95	4,95	4,95	4,95	4,95	5,25	5,55	6,00	6,00	5,85	5,85	5,70	5,40	kWh/m².día

Definición de un sitio geográfico														
Sitio geográfico: Cariamanga										País: Ecuador				
Ubicación					Latitud -4.33° S					Longitud -79.56° W				
Tiempo definido como					Hora Legal Huso horario UT-5					Altitud 1898 m				
Valores meteorológicos mensuales							Fuente: Estación Automática M0146 " CARIAMANGA "							
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
I. Hor. Global	4,11	4,14	3,77	3,67	3,38	4,81	5,09	5,37	5,49	5,00	4,82	4,36	4,50	kWh/m ² .día
Tem. Ambiente	17,2	17,3	17,5	17,8	17,7	17,7	17,8	18,3	18,4	17,7	17,6	17,6	17,7	°C

Definición de un sitio geográfico														
Sitio geográfico: Cariamanga										País: Ecuador				
Ubicación					Latitud -4.33° S					Longitud -79.56° W				
Tiempo definido como					Hora Legal Huso horario UT-5					Altitud 1898 m				
Valores meteorológicos mensuales							Fuente: Mapa solar del Ecuador 2019							
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
I. Hor. Global	4,90	4,90	5,00	5,10	5,10	5,10	5,50	5,90	5,90	5,90	5,70	5,10	5,40	kWh/m ² .día

Definición de un sitio geográfico														
Sitio geográfico: Cariamanga										País: Ecuador				
Ubicación					Latitud -4.33° S					Longitud -79.56° W				
Tiempo definido como					Hora Legal Huso horario UT-5					Altitud 1898 m				
Irradiación global (promedio diario mensual) en el plano de captación														
	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año	Unidad
β=0°	4,92	5,09	5,14	5,63	5,23	5,29	5,66	5,96	6,08	5,60	5,98	5,26	5,49	kWh/m ² .día
β=5°	5,08	5,18	5,14	5,51	5,02	5,02	5,39	5,78	6,03	5,68	6,17	5,45	5,45	kWh/m ² .día
β=10°	5,21	5,25	5,12	5,36	4,77	4,71	5,07	5,55	5,94	5,72	6,32	5,62	5,39	kWh/m ² .día
β=15°	5,31	5,29	5,06	5,17	4,50	4,39	4,73	5,29	5,81	5,73	6,43	5,74	5,29	kWh/m ² .día
β=20°	5,37	5,29	4,97	4,95	4,22	4,06	4,39	5,00	5,65	5,70	6,50	5,84	5,16	kWh/m ² .día
β=25°	5,40	5,26	4,85	4,70	3,91	3,70	4,02	4,68	5,45	5,64	6,53	5,89	5,00	kWh/m ² .día

ANEXOS 5-42

Los anexos 5-42 se encuentran cargados en la plataforma web <https://potentialsolar-rse.com/index.php/inicio/>, en formato PDF.

ANEXO 43. Indicadores estadísticos de irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M0033 “LA ARGELIA”.

Estación Agrometeorologica : M0033 " LA ARGELIA" INAMHI																
RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO MENSUAL (kWh/m²/día)																
MES	INAMHI	NASA	METEONORM	AT.SOLAR	NREL	MP. SOLAR	MAE (I/NASA)	MAE (I/MET)	MAE (I/ATL)	MAE (I/NREL)	MAE (I/MAP)	RMSE(I/NASA)	RMSE(I/MET)	RMSE(I/ATL)	RMSE(I/NREL)	MAE (I/MAP)
Enero	4,001	4,830	5,270	4,350	4,498	4,600	20,733%	31,732%	8,735%	12,429%	14,984%	4,299%	10,069%	0,763%	1,545%	2,245%
Febrero	4,457	4,800	5,610	4,350	4,448	4,500	7,698%	25,872%	2,399%	0,196%	0,967%	0,593%	6,694%	0,058%	0,000%	0,009%
Marzo	3,930	5,190	5,950	4,000	4,459	4,600	32,052%	51,389%	1,774%	13,448%	17,040%	10,273%	26,409%	0,031%	1,809%	2,904%
Abril	4,057	4,880	5,710	4,200	4,689	4,600	20,282%	40,740%	3,522%	15,578%	13,381%	4,114%	16,598%	0,124%	2,427%	1,790%
Mayo	3,903	4,650	5,270	4,200	4,402	4,700	19,149%	35,036%	7,618%	12,805%	20,430%	3,667%	12,275%	0,580%	1,640%	4,174%
Junio	3,286	4,600	5,320	4,000	3,905	4,100	40,005%	61,919%	21,744%	18,848%	24,787%	16,004%	38,340%	4,728%	3,552%	6,144%
Julio	2,552	4,650	5,210	3,500	3,662	4,000	82,218%	104,162%	37,153%	43,501%	56,746%	67,597%	108,497%	13,803%	18,923%	32,201%
Agosto	2,951	4,930	5,840	4,000	4,261	4,200	67,086%	97,927%	35,566%	44,416%	42,345%	45,005%	95,897%	12,650%	19,728%	17,931%
Septiembre	3,858	5,180	5,980	4,750	4,736	4,600	34,275%	55,012%	23,128%	22,762%	19,240%	11,748%	30,263%	5,349%	5,181%	3,702%
Octubre	4,727	4,950	5,950	5,100	4,934	4,800	4,709%	25,863%	7,883%	4,363%	1,536%	0,222%	6,689%	0,621%	0,190%	0,024%
Noviembre	4,888	5,260	5,610	5,250	5,605	5,100	7,600%	14,760%	7,396%	14,660%	4,327%	0,578%	2,179%	0,547%	2,149%	0,187%
Diciembre	3,705	5,070	5,370	4,650	4,736	4,800	36,847%	44,944%	25,510%	27,842%	29,559%	13,577%	20,200%	6,508%	7,752%	8,737%
PROMEDIO							31,054%	49,113%	15,202%	19,237%	20,445%	38,479%	55,835%	19,528%	23,255%	25,828%

ANEXO 44. Indicadores estadísticos de irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M0146 “CARIAMANGA”.

Estación Meteorológica Automática : M0146 " CARIAMANGA" INAMHI																
RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO MENSUAL (kWh/m²/día)																
MES	INAMHI	NASA	METEONORM	AT.SOLAR	NREL	MP.SOLAR	MAE (I/NASA)	MAE (I/MET)	MAE (I/ATL)	MAE (I/NREL)	MAE (I/MAP)	RMSE(I/NASA)	RMSE(I/MET)	RMSE(I/ATL)	RMSE(I/NREL)	RMSE(I/MAP)
Enero	4,114	5,010	5,340	4,950	4,955	4,900	21,785%	29,806%	20,326%	20,451%	19,111%	4,746%	8,884%	4,131%	4,182%	3,652%
Febrero	4,143	4,850	5,680	4,950	5,119	4,900	17,062%	37,096%	19,476%	23,555%	18,269%	2,911%	13,761%	3,793%	5,548%	3,338%
Marzo	3,769	5,230	6,250	4,950	5,170	5,000	38,768%	65,832%	31,339%	37,176%	32,665%	15,030%	43,338%	9,821%	13,821%	10,670%
Abril	3,671	4,980	5,750	4,950	5,672	5,100	35,641%	56,614%	34,824%	54,492%	38,910%	12,703%	32,051%	12,127%	29,694%	15,140%
Mayo	3,377	5,000	5,460	4,950	5,264	5,100	48,043%	61,663%	46,563%	55,867%	51,004%	23,081%	38,023%	21,681%	31,211%	26,014%
Junio	4,811	5,180	5,540	5,250	5,331	5,100	7,677%	15,160%	9,132%	10,810%	6,014%	0,589%	2,298%	0,834%	1,169%	0,362%
Julio	5,094	5,440	5,800	5,550	5,703	5,500	6,797%	13,864%	8,956%	11,961%	7,974%	0,462%	1,922%	0,802%	1,431%	0,636%
Agosto	5,367	5,970	6,090	6,000	6,004	5,900	11,229%	13,464%	11,788%	11,855%	9,924%	1,261%	1,813%	1,389%	1,405%	0,985%
Septiembre	5,488	6,210	6,830	6,000	6,124	5,900	13,149%	24,446%	9,323%	11,587%	7,501%	1,729%	5,976%	0,869%	1,343%	0,563%
Octubre	5,005	6,040	6,740	5,850	5,634	5,900	20,683%	34,669%	16,886%	12,580%	17,885%	4,278%	12,019%	2,851%	1,582%	3,199%
Noviembre	4,824	6,110	6,170	5,850	6,017	5,700	26,657%	27,901%	21,267%	24,727%	18,158%	7,106%	7,785%	4,523%	6,114%	3,297%
Diciembre	4,356	5,480	5,700	5,700	5,291	5,100	25,796%	30,846%	30,846%	21,462%	17,073%	6,654%	9,515%	9,515%	4,606%	2,915%
PROMEDIO							22,774%	34,280%	21,727%	24,710%	20,374%	25,908%	38,448%	24,552%	29,170%	24,285%

ANEXO 45. Indicadores estadísticos de irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M1259 “MACARÁ”.

Estación Meteorológica Automática : M1259 " MACARÁ" INAMHI																
RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO MENSUAL (kWh/m²/día)																
MES	INAMHI	NASA	METEONORM	AT.SOLAR	NREL	MAP.SOLAR	MAE (I/NASA)	MAE (I/MET)	MAE (I/ATL)	MAE (I/NREL)	MAE (I/MAP)	RMSE(I/NASA)	RMSE(I/MET)	RMSE(I/ATL)	RMSE(I/NREL)	RMSE(I/MAP)
Enero	4,039	5,010	5,260	5,100	3,843	4,650	24,032%	30,222%	26,261%	4,868%	15,120%	5,776%	9,133%	6,896%	0,237%	2,286%
Febrero	4,300	4,850	5,560	5,100	4,194	4,700	12,798%	29,311%	18,612%	2,461%	9,309%	1,638%	8,591%	3,464%	0,061%	0,867%
Marzo	4,438	5,230	5,920	5,400	4,318	4,750	17,852%	33,400%	21,683%	2,705%	7,036%	3,187%	11,156%	4,701%	0,073%	0,495%
Abril	4,955	4,980	5,680	5,100	4,400	4,700	0,502%	14,628%	2,923%	11,203%	5,149%	0,003%	2,140%	0,085%	1,255%	0,265%
Mayo	4,092	5,000	5,260	5,100	3,984	4,700	22,197%	28,552%	24,641%	2,640%	14,866%	4,927%	8,152%	6,072%	0,070%	2,210%
Junio	4,258	5,180	5,150	5,250	4,193	4,800	21,646%	20,942%	23,290%	1,542%	12,722%	4,686%	4,386%	5,424%	0,024%	1,619%
Julio	4,941	5,440	5,030	5,550	4,915	5,400	10,106%	1,808%	12,333%	0,510%	9,297%	1,021%	0,033%	1,521%	0,003%	0,864%
Agosto	5,276	5,970	5,730	6,000	5,753	6,000	13,149%	8,600%	13,718%	9,032%	13,718%	1,729%	0,740%	1,882%	0,816%	1,882%
Septiembre	5,645	6,210	6,420	6,450	6,040	6,600	10,013%	13,733%	14,265%	7,006%	16,922%	1,003%	1,886%	2,035%	0,491%	2,864%
Octubre	5,517	6,040	6,550	6,150	5,850	6,000	9,484%	18,729%	11,478%	6,033%	8,759%	0,900%	3,508%	1,318%	0,364%	0,767%
Noviembre	5,713	6,110	6,090	6,300	6,215	6,000	6,946%	6,595%	10,271%	8,791%	5,020%	0,482%	0,435%	1,055%	0,773%	0,252%
Diciembre	4,355	5,480	5,730	5,700	5,116	5,400	25,840%	31,581%	30,892%	17,492%	24,003%	6,677%	9,974%	9,543%	3,060%	5,761%
PROMEDIO							14,547%	19,842%	17,531%	6,190%	11,827%	16,337%	22,385%	19,148%	7,759%	12,952%

ANEXO 46. Indicadores estadísticos de irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M0012 “LA CUCA”.

Estación Meteorológica Automática M0012 " LA CUCA" INAMHI																
RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO MENSUAL (kWh/m²/día)																
MES	INAMHI	NASA	METEONORM	AT.SOLAR	NREL	MAP.SOLAR	MAE (I/NASA)	MAE (I/MET)	MAE (I/ATL)	MAE (I/NREL)	MAE (I/MAP)	RMSE(I/NASA)	RMSE(I/MET)	RMSE(I/ATL)	RMSE(I/NREL)	RMSE(I/MAP)
Enero	3,902	6,230	5,020	4,000	4,268	4,200	59,677%	28,664%	2,521%	9,396%	7,647%	35,613%	8,216%	0,064%	0,883%	0,585%
Febrero	4,744	6,160	5,500	4,800	4,784	4,500	29,835%	15,924%	1,170%	0,827%	5,153%	8,901%	2,536%	0,014%	0,007%	0,266%
Marzo	4,732	6,320	5,960	4,700	5,007	4,800	33,562%	25,954%	0,674%	5,807%	1,440%	11,264%	6,736%	0,005%	0,337%	0,021%
Abril	4,975	6,380	5,500	4,800	4,914	4,800	28,233%	10,546%	3,524%	1,226%	3,524%	7,971%	1,112%	0,124%	0,015%	0,124%
Mayo	4,307	5,970	5,020	4,650	4,329	4,200	38,603%	16,548%	7,957%	0,505%	2,490%	14,902%	2,738%	0,633%	0,003%	0,062%
Junio	3,710	5,560	4,660	4,350	3,841	3,900	49,882%	25,620%	17,264%	3,541%	5,133%	24,882%	6,564%	2,980%	0,125%	0,263%
Julio	3,431	5,310	4,300	3,500	3,750	3,600	54,781%	25,341%	2,022%	9,300%	4,936%	30,010%	6,422%	0,041%	0,865%	0,244%
Agosto	3,750	5,540	4,150	4,500	3,924	4,200	47,742%	10,673%	20,007%	4,635%	12,006%	22,793%	1,139%	4,003%	0,215%	1,441%
Septiembre	3,828	6,100	5,040	4,800	4,247	4,200	59,333%	31,645%	25,377%	10,936%	9,704%	35,204%	10,014%	6,440%	1,196%	0,942%
Octubre	3,502	6,180	4,820	3,500	3,928	4,200	76,464%	37,630%	0,061%	12,170%	19,927%	58,467%	14,160%	0,000%	1,481%	3,971%
Noviembre	3,697	6,460	4,660	3,800	4,420	4,300	74,719%	26,036%	2,776%	19,535%	16,299%	55,830%	6,779%	0,077%	3,816%	2,657%
Diciembre	4,139	6,400	5,050	4,150	4,746	4,200	54,625%	22,009%	0,265%	14,669%	1,473%	29,839%	4,844%	0,001%	2,152%	0,022%
PROMEDIO							50,621%	23,049%	6,968%	7,712%	7,478%	52,889%	24,369%	10,947%	9,615%	9,397%

ANEXO 47. Indicadores estadísticos de irradiación solar global horizontal mensual, para la estación meteorológica M1246 “LAS LAJAS”.

Estación Meteorológica Automática M1246 " LAS LAJAS" INAMHI																
RADIACIÓN SOLAR PROMEDIO MENSUAL (kWh/m ² /día)																
MES	INAMHI	NASA	METEONORM	AT.SOLAR	NREL	MAP.SOLAR	MAE (I/NASA)	MAE (I/MET)	MAE (I/ATL)	MAE (I/NREL)	MAE (I/MAP)	RMSE(I/NASA)	RMSE(I/MET)	RMSE(I/ATL)	RMSE(I/NREL)	RMSE(I/MAP)
Enero	3,580	6,230	4,880	3,800	3,632	3,900	74,028%	36,317%	6,149%	1,455%	8,942%	54,801%	13,189%	0,378%	0,021%	0,800%
Febrero	4,356	6,160	5,420	4,500	4,136	4,200	41,399%	24,413%	3,295%	5,051%	3,592%	17,139%	5,960%	0,109%	0,255%	0,129%
Marzo	4,195	6,320	5,820	4,500	4,323	4,400	50,652%	38,733%	7,268%	3,042%	4,884%	25,656%	15,003%	0,528%	0,093%	0,239%
Abril	4,221	6,380	5,380	4,250	4,256	4,200	51,144%	27,454%	0,684%	0,815%	0,501%	26,157%	7,537%	0,005%	0,007%	0,003%
Mayo	4,269	5,970	5,010	4,500	4,136	4,200	39,851%	17,362%	5,415%	3,121%	1,612%	15,881%	3,015%	0,293%	0,097%	0,026%
Junio	4,076	5,560	4,790	4,000	4,042	4,200	36,402%	17,511%	1,869%	0,834%	3,037%	13,251%	3,067%	0,035%	0,007%	0,092%
Julio	3,990	5,310	4,630	4,100	4,062	4,200	33,086%	16,043%	2,759%	1,796%	5,266%	10,947%	2,574%	0,076%	0,032%	0,277%
Agosto	4,155	5,540	5,470	4,250	4,389	4,200	33,330%	31,645%	2,284%	5,624%	1,080%	11,109%	10,014%	0,052%	0,316%	0,012%
Septiembre	4,613	6,100	5,770	5,550	4,695	4,500	32,238%	25,084%	20,315%	1,780%	2,448%	10,393%	6,292%	4,127%	0,032%	0,060%
Octubre	4,195	6,180	5,660	5,250	4,393	4,300	47,325%	34,929%	25,155%	4,725%	2,508%	22,396%	12,200%	6,328%	0,223%	0,063%
Noviembre	4,819	6,460	5,300	5,250	4,836	4,900	34,042%	9,973%	8,935%	0,336%	1,673%	11,589%	0,995%	0,798%	0,001%	0,028%
Diciembre	4,142	6,400	5,040	4,250	4,282	4,500	54,510%	21,677%	2,604%	3,377%	8,640%	29,713%	4,699%	0,068%	0,114%	0,746%
PROMEDIO							44,000%	25,095%	7,228%	2,663%	3,682%	45,553%	26,543%	10,327%	3,160%	4,541%

ANEXO 48. Proceso para acceder a la información de la plataforma web.

Obtención de información

Una vez terminado nuestro sitio web, como ya se ha mencionado anteriormente es una herramienta de acceso libre, es decir cualquier persona interesada en estudiar o explorar el recurso solar en la Región Sur del Ecuador, puede hacer uso de dicha herramienta.

Para acceder a los datos de la plataforma “*Potencial solar en la Región sur del Ecuador*”, donde tenemos a disposición las bases de datos de irradiación solar horizontal y temperatura para ello se debe seguir los siguientes pasos:

- Ingresar a la plataforma web “*Potencial solar en la Región sur del Ecuador*”, cuyo link es: <https://potentialsolar-rse.com/>



Figura 56. Mapa de localización de los cantones de la Región sur del Ecuador.

- Ir al mapa localización de los cantones de la Región Sur del Ecuador y seleccionar el cantón para el cual se desea obtener la información, tal como se puede observar en la Fig. 56.
- Seleccionar en la opción ver base de datos (Ver Fig. 56), y se despliega una ventana donde se muestra los datos de irradiación global tanto horizontal como en el plano de captación en kWh/m²/día.
- Otra manera de acceder a la información, es desde la página principal de nuestra plataforma web, en menú desplegable en la página provincias RSE, seleccionar la

provincia y buscar el cantón para el cual desea obtener la información, tal como se puede ver en la Fig. 57.



Figura 57. Ventana desplegable base de datos.

ANEXO 49. Guía para uso de la calculadora solar

Pasos para estimar la energía con SFV

Una vez que se haya accedido a los datos de irradiación solar global tanto horizontal como en el plano de captación, nos desplazamos al final de la página y se muestra la calculadora solar, la cual permite estimar la energía mensual y anual que generaría un SFV, para realizar dichos cálculos se utiliza los datos de irradiación dólal global en el plano de captación los mismos que fueron obtenidos en la presente investigación.

Calculadora que estima la producción de energía con sistemas fotovoltaicos.

Para obtener dichos cálculos antes mencionados, se debe seguir los siguientes pasos:

- Ingresar todos los parámetros requeridos (Fig. 58): potencia nominal de todo el sistema fotovoltaico en vatios (W) y las características del módulo fotovoltaico: potencia máxima en vatios (W), eficiencia en porcentaje (%) y el área en metros cuadrados (m²), todos estos parámetros se los encuentra en la ficha técnica del módulo fotovoltaico. Adicionalmente se debe ingresar el valor del factor de sombras en caso de que se proyecten sombras sobre la instalación. Finalmente se usa un

rendimiento característico de toda la instalación de 0.75 (basado en instalaciones bien diseñadas), sin embargo, el usuario puede cambiar dicho valor, si así lo considera.

ESTIMACIÓN DE ENERGÍA CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
Se usa los datos de irradiación global sobre la superficie de captación.

Página 1 de 2

Ingrese los parámetros requeridos

Potencia nominal de la instalación FV (W) *	1000000
Potencia nominal del módulo FV (W) *	250
Área del módulo FV (m ²) *	1.62688
Eficiencia del módulo FV (%) *	15.2%
Rendimiento característico de la instalación (%) *	75%
Factor de sombras (adimensional) *	0

Calcular Resetear

Figura 58. Calculadora que permite estimar la producción de energía, con sistemas fotovoltaicos.

- Una vez ingresados los datos de los parámetros indicados, dar click en calcular.
- A continuación, el sistema calcula el número de módulos fotovoltaicos que necesitaría la instalación (valor redondeado a la cantidad más cercana ya sea inferior o superior según corresponda) y el área aproximada que ocuparía la instalación, para lo cual no se ha considerado la separación entre módulos fotovoltaicos, véase en la Fig. 59.
- En la misma ventana seleccionar el ángulo de inclinación β , para el cual se va a calcular la generación que tendría el sistema FV.
- El sistema calcula la generación mensual y anual que tendría el sistema FV.

ESTIMACIÓN DE ENERGÍA CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
 Se usa los datos de irradiación global sobre la superficie de captación.

Página 2 de 2

Número de módulos FV requeridos
Valor redondeado al número más cercano

Área total estimada de la instalación (m²)
No se considera la separación entre módulos

PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DE UN SFV, SEGÚN EL PLANO DE CAPTACIÓN

Inclinación β

SELECCIONE

$\alpha = 0^\circ, \beta = 0^\circ$

$\alpha = 0^\circ, \beta = 5^\circ$

$\alpha = 0^\circ, \beta = 10^\circ$

$\alpha = 0^\circ, \beta = 15^\circ$

$\alpha = 0^\circ, \beta = 20^\circ$

$\alpha = 0^\circ, \beta = 25^\circ$

Figura 59. Cálculo de la generación de energía que tendría un sistema fotovoltaico.

- Finalmente, se muestran la energía mensual y anual que generaría una instalación FV

Nota: El factor de pérdidas, parámetro que debe tener en cuenta el diseñador del sistema fotovoltaico, esta calculadora es elaborada con la finalidad de que el usuario tenga una idea, de cuanta energía puede generar un sistema fotovoltaico en un lugar determinado de la Región Sur del Ecuador.

ANEXO 50. Certificación de la traducción del resumen de tesis.



Mgs. Mayra Yadira Chamba Cañar
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA LTDA.

CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés de un resumen de tesis de graduación la cual se realizó en base a los documentos originales entregados por el egresado y autor de la misma el señor Freddy José Vélez Medina con el tema denominado "METODOLOGÍA PARA LA OBTENCIÓN DEL POTENCIAL SOLAR EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR", los mismos que servirán para fines personales de uso del cliente. Es todo lo que puedo decir en honor a la verdad que me acreditan como perito traductor.

That the document composed here is a faithful translation from the Spanish language to the English language of a summary of graduation thesis which was made based on the original documents delivered by the undergraduate and author of the same Mr. Freddy José Vélez Medina with the theme called "METHODOLOGY FOR THE OBTAINING OF SOLAR POTENTIAL IN THE SOUTH ECUADOR REGION ", which will be used for personal client's purposes. This is all I can say in honor of the truth that accredits me as an expert translator.

Loja, 21 de febrero de 2020.



Mgs. Mayra Y. Chamba Cañar.

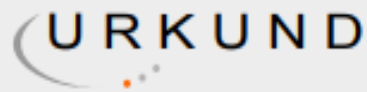
DOCENTE DE FINE-TUNED ENGLISH CÍA LTDA.

Mayra Yadira Chamba Cañar
1104492408
Perito Traductor Loja
Nro. De Calificación: 1259856
Docente de inglés del Ministerio de Educación
Docente del Instituto Particular de Inglés "Fine-Tuned English"

Fine-Tuned English Cía. Ltda. | Teléfono 2578899 | Email venalfine@finetunedenglish.edu.ec | www.finetunedenglish.edu.ec

Loja: Macara entre Miguel Riolrio y Rocafuerte
Catamayo: Av. 24 de Mayo 08 - 21 y Juan Montalvo Telfs. 2678442
Zamora: García Moreno y Pasaje 12 de Febrero Telfs. 2608169
Yantzaza: Jorge Mosquera y Luis Bastidas Edificio "Coop. Sindicato de Choferas"





Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Freddy José Vélez Medina.pdf (D64918644)
Submitted: 3/5/2020 10:05:00 PM
Submitted By: rrelizalde@utpl.edu.ec
Significance: 1 %

Sources included in the report:

<http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/viewFile/392/279>
<http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>

Instances where selected sources appear:

4