



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MEDIO AMBIENTE

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“ANÁLISIS Y CONVERSIÓN DE HELIOFANÍA A RADIACIÓN SOLAR
GLOBAL Y DERIVACIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LAS TRES
REGIONES CONTINENTALES DEL ECUADOR, EN EL PERIODO 2019 -
2020”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de Ingenieras en Medio
Ambiente

Autoras:

Chiguano Valdiviezo Shirley Ghisell

Tigasi Guamangate Jenny Maritza

Tutora:

PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa

LATACUNGA - ECUADOR

Septiembre 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotras, Chiguano Valdiviezo Shirley Ghisell con cédula de ciudadanía No. 1724458144; y, Tigasi Guamangate Jenny Maritza con cédula de ciudadanía No. 0503296733 declaramos ser autoras del presente proyecto de investigación: **“Análisis y conversión de heliofanía a radiación solar global y derivación a radiación ultravioleta en las tres regiones continentales del Ecuador, en el periodo 2019 - 2020”** siendo, PhD. Mercy Lucila Ilbay Yupa, tutora del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 17 de septiembre del 2020



Chiguano Valdiviezo Shirley Ghisell
C.C. 1724458144



Tigasi Guamangate Jenny Maritza
C.C. 0503296733

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte CHIGUANO VALDIVIEZO SHIRLEY GHISELL, identificada con cédula de ciudadanía 1724458144, de estado civil casada, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. M.B.A. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado Proyecto de Investigación la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico

Fecha de inicio de la carrera: Septiembre 2015 - Febrero 2016

Fecha de finalización: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Aprobación de Consejo Directivo: 07 de julio del 2020

Tutora: Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa

Tema: “Análisis y conversión de heliofanía a radiación solar global y derivación a radiación ultravioleta en las tres regiones continentales del Ecuador”.

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 17 días del mes de septiembre del 2020.



Shirley Ghisell Chiguan Valdiviezo
LA CEDENTE

Ing. M.B.A. Cristian Tinajero Jiménez
EL CESIONARIO

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte TIGASI GUAMANGATE JENNY MARITZA, identificada con cédula de ciudadanía 0503296733, de estado civil soltera, a quien en lo sucesivo se denominará **LA CEDENTE**; y, de otra parte, el Ing. M.B.A. Cristian Fabricio Tinajero Jiménez, en calidad de Rector y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez Barrio El Ejido Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA. - **LA CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado Proyecto de Investigación la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad según las características que a continuación se detallan:

Historial académico

Fecha de inicio de la carrera: Septiembre 2015 - Febrero 2016

Fecha de finalización: Mayo 2020 - Septiembre 2020

Aprobación de Consejo Directivo: 07 de julio del 2020

Tutora: Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa

Tema: “Análisis y conversión de heliofanía a radiación solar global y derivación a radiación ultravioleta en las tres regiones continentales del Ecuador”.

CLÁUSULA SEGUNDA. - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

CLÁUSULA TERCERA. - Por el presente contrato, **LA CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

CLÁUSULA CUARTA. - OBJETO DEL CONTRATO: Por el presente contrato **LA CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- f) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.

CLÁUSULA QUINTA. - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **LA CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

CLÁUSULA SEXTA. - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD. - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **LA CEDENTE** podrá utilizarla.

CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS. - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **LA CEDENTE** en forma escrita.

CLÁUSULA NOVENA. - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

CLÁUSULA DÉCIMA. - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

CLÁUSULA UNDÉCIMA. - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 17 días del mes de septiembre del 2020.



Jenny Maritza Tigasi Guamangate
LA CEDENTE

Ing. M.B.A. Cristian Tinajero Jiménez
EL CESIONARIO

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“Análisis y conversión de heliofanía a radiación solar global y derivación a radiación ultravioleta en las tres regiones continentales del Ecuador, en el periodo 2019 - 2020”, de Chiguanco Valdiviezo Shirley Ghisell y Tigasi Guamangate Jenny Maritza, de la carrera de Ingeniería en Medio Ambiente, consideramos que el presente trabajo investigativo es merecedor del Aval de aprobación al cumplir técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la Pre defensa.

Latacunga, 17 de septiembre del 2020



Ph.D. Mercy Lucila Ilbay Yupa
TUTORA DEL PROYECTO
C.C: 060414790-0

AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, las postulantes: Chiguano Valdiviezo Shirley Ghisell; y, Tigasi Guamangate Jenny Maritza con el título del Proyecto de Investigación: “ANÁLISIS Y CONVERSIÓN DE HELIOFANÍA A RADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y DERIVACIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LAS TRES REGIONES CONTINENTALES DEL ECUADOR”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, 17 de septiembre del 2020



Lic. MTR. Kalina Fonseca Largo
LECTOR 1 (PRESIDENTA)
CC: 1723534457



Ing. Mg. Vinicio Mogro Cepeda
LECTOR 2
CC: 0501657514



Ing. Mg. José Luis Ágrede Oña
LECTOR 3
CC: 040133210-1

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser la luz de mi camino, a mi madre por ser el sostén de mi vida y con su firmeza hacerme una persona de bien, a mi padre desde el cielo, que hasta su último suspiro me lleno de fuerzas para conseguir mis sueños, a mis hermanos por el apoyo incondicional en cada paso que doy a mi esposo e hija por ser el motivo de superación .A mi tutora, PHD Mercy Ilbay por la entrega y dedicación a la presente investigación, al personal del INAMHI por su valiosa colaboración especialmente al Dr. Luis Maisincho, Mcs. David Tonato e Ing Natalia Horna, quienes han sido la mejor guía durante este proceso y por su valiosa asistencia y a la Alma Mater “Universidad Técnica de Cotopaxi” por ser la cuna de exitosos profesionales.

Shirley Chiguano

A Dios por todas las cosas. A mi familia en especial a mi mami, mis hermanos que me dieron apoyo durante todo este proceso y mi padre que no está presenté, pero siempre lo llevo en mi corazón y un gran ejemplo, raíz que dejaste para seguir adelante. A la UTC, quienes con su empeño y su dedicación han sembrado en sus estudiantes la semilla del saber. A mi tutora, PhD Mercy Ilbay, por su incondicional apoyo, dedicación y enseñanza en la presente investigación. Al personal del INAMHI por su valiosa colaboración especialmente al PhD. Luis Maisincho, Msc. David Tonato y Ing. Natalia Horna quienes han sido un excelente ayuda, guía para todo este proceso y a todo el personal que aportaron en este proyecto.

Jenny Tigasi

DEDICATORIA

A mi esposo y amigo Cristhian, por ser el pilar fundamental de mi vida, a mi hija Juliette razón de mi ser, a mis padres y hermanos por orientarme e impulsarme en todo lo que hago.

Shirley

A mi madre y mis hermanos por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y valores, pero al final de cuentas, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Gracias mami y hermanos.

Jenny

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

TÍTULO: “ANÁLISIS Y CONVERSIÓN DE HELIOFANÍA A RADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y DERIVACIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LAS TRES REGIONES CONTINENTALES DEL ECUADOR, 2020”

AUTORAS: Chiguano Valdiviezo Shirley Ghisell
Tigasi Guamangate Jenny Maritza

RESUMEN

A la radiación solar se puede considerar como un factor natural que influye sobre la Tierra, siendo importante para la vida terrestre, ya que su influencia moldea el clima. El presente trabajo investigativo tiene como finalidad determinar la radiación global y el porcentaje de radiación UV a través de datos históricos de heliofanía para período 1970 - 2015, en tres regiones continentales del Ecuador. Basados en cuatro estaciones convencionales y automáticas del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), que cuenten con los instrumentos heliógrafo, piranómetro y radiómetro como: estaciones Izobamba (Sierra), Pedernales - Bahía de Caráquez (Costa) y Puyo (Amazonía). Se recolectó, analizó, procesó y filtró datos tanto de heliofanía (*horas/sol/día*), radiación solar global ($W/m^2/h/día$) y radiación UV ($W/m^2/h/día$), en el software de análisis estadístico R. Se utilizó el método Angstrom - Page, para convertir el brillo solar en radiación global diaria. Para aplicar este método fue necesario calcular la radiación extraterrestre para períodos diarios lo que conlleva conocer los valores de declinación solar, ángulo horario, distanciamiento de la tierra con el sol y la latitud geográfica de cada estación. Mediante el modelo matemático se calculó la constante empírica a través de la relación entre heliofanía y radiación global donde $a = 0.2647$ (pendiente) y $b = 0.4665$ (punto de corte en el eje Y). La validación de los datos medidos por el INAMHI y datos calculados a través del método Angstrom - Page, fue de 0.88 para el coeficiente de determinación y 93.86% de correlación, al ser un valor cercano a 1 se determinó que tiene alta similitud y son datos fiables para la región Sierra. Para la región Costa y Amazonía no existió un buen ajuste y coincidencia de datos para el período de estudio. También se determinó el modelo de ecuación que transforma la heliofanía en radiación global utilizando los datos históricos en la estación meteorológica Izobamba. Finalmente se comprobó el porcentaje relativo de banda UV en el Ecuador continental, fue de 6.79% para estación Izobamba (Sierra), 6.00% para la estación Puyo (región Amazónica) y 5.19% para estación Pedernales (Costa). Es decir, en el Ecuador la radiación UV se encuentra dentro del rango $5 < UV < 7$.

Palabras claves: Estaciones meteorológicas, heliofanía, irradiancia, radiación global, radiación ultravioleta y regresión lineal.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF AGRICULTURAL SCIENCES AND NATURAL RESOURCES

TITLE: “ANALYSIS AND CONVERSION OF HELIOPHANY TO GLOBAL SOLAR RADIATION AND REFERRAL TO ULTRAVIOLET RADIATION IN THE THREE CONTINENTAL REGIONS OF ECUADOR, 2020”

Authors: Chiguano Valdiviezo Shirley Ghisell

Tigasi Guamangate Jenny Maritza

ABSTRACT

Solar radiation can be considered a natural factor that affects the Earth, which is essential for terrestrial life since its influence molds the climate. This research aims to determine the global radiation and the percentage of UV radiation through historical data of heliophany for 1970 - 2015 period, in three continental regions of Ecuador. Based on four conventional and automatic stations of the National Institute of Meteorology and Hydrology ('INAMHI'), which have heliograph, pyranometer, and radiometer instruments such as 'Izobamba' (Highlands), 'Pedernales - Bahía de Caráquez' (Coast), and 'Puyo' (Amazon) stations. Data on heliophany (*hours/sun/day*), global solar radiation ($W/m^2/h/day$), and UV radiation ($W/m^2/h/day$) were collected, analyzed, processed, and filtered in R. statistic. The Angstrom - Page method was used to convert sunlight into daily global radiation so, it was necessary to calculate the extraterrestrial radiation for daily periods, which implies knowing the values of solar declination, hour angle, distance from the Earth to the sun, and the geographical latitude of each station. The empirical constant was calculated using the mathematical model through the relationship between heliophany and global radiation, where $a = 0.2647$ (slope) and $b = 0.4665$ (the cut-off point on the Y-axis). The validation of the observed data from 'INAMHI' and the data calculated through the Angstrom - Page method was 0.88 for the determination coefficient and 93.86% for correlation, a value close to 1. It was determined that it has a high similarity, and data is reliable for the Highlands. For the Coast and Amazon region, there was no good fit and data coincidence for the study. The equation model that transforms heliophany into global radiation was also determined using historical data at the 'Izobamba' meteorological station. Finally, the relative percentage of UV band in continental Ecuador was found, 6.79% for the 'Izobamba' station (Highlands), 6.00% for the 'Puyo' station (Amazon), and 5.19% for the 'Pedernales' station (Coast). Subsequently, UV radiation in Ecuador is within the range $5 < UV < 7$.

Keywords: meteorological stations, heliophany, irradiance, global radiation, ultraviolet radiation, and linear regression.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR.....	iii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	ix
AVAL DE LOS LECTORES DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	x
AGRADECIMIENTO	xi
DEDICATORIA	xii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
ÍNDICE DE FIGURAS	xix
1 INFORMACIÓN GENERAL	1
2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	3
4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
5 OBJETIVOS.....	5
5.1 Objetivo General	5
5.2 Objetivo Específicos	5
6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREA EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	6
7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.	8
7.1 Energía solar o radiación solar	8
7.2 Medición de la radiación solar	8
7.3 Irradiancia.....	9
7.4 Medida de la irradiancia.....	9
7.5 Radiación invisible.....	10
7.6 Radiación ultravioleta	10
7.6.1 Tipos de radiación ultravioleta.....	10
7.7 Latitud	11
7.8 Longitud de onda	12

7.9	Altitud.....	12
7.10	El ángulo cenital solar	12
7.11	Azimut	13
7.12	Orientación.....	13
7.13	Organización Meteorológica Mundial.....	13
7.14	Equipos para la medición de la Radiación Solar.....	14
7.14.1	Piranómetro	14
7.14.2	Heliógrafo Campbell.....	14
7.14.3	Radiómetro UV.....	15
7.15	Modelos de estimación de la radiación solar.....	16
7.16	Estadísticos.....	16
7.17	Modelos de tratamiento de imágenes de satélite	17
7.18	Software de Análisis Estadístico R.....	17
8	VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA.....	19
9	METODOLOGÍAS.....	20
9.1	Ubicación del área de estudio.....	20
9.2	Datos	21
9.2.1	Depuración y filtración de datos	22
9.3	Análisis exploratorio de datos.....	22
9.4	Cálculo de la radiación solar extraterrestre	23
9.5	Radiación extraterrestre para períodos diarios (Ra).....	24
9.5.1	Cálculo de la distancia relativa inversa Tierra-Sol.....	25
9.5.2	Ángulo horario (ω_s).....	25
9.5.3	Declinación solar	26
9.6	Regresión lineal	26
9.7	Método de Angstrom - Page	26
9.8	Teoría del 5% de la banda UV	27
10	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	28
10.1	Análisis exploratorio de datos.....	28
10.2	Cálculo de la radiación solar extraterrestre	31
10.3	Radiación diaria (Ra) o (Ho).....	32
10.3.1	Izobamba (M0003)	32
10.4	Regresión lineal entre heliofanía y radiación global	33
10.5	Ecuación con el método Angstrom - Page	34
10.6	Validación de datos de radiación global diarios calculados y medidos (INAMHI)	36

10.7	Teoría del 5 % de la banda UV en Izobamba.....	36
10.8	Estación Bahía de Caráquez (M1217).....	37
10.8.1	Estación Pedernales (M0168).....	38
10.9	Teoría del 5 % de la banda UV de Pedernales.....	39
10.10	Estación Puyo (M0008)	39
10.11	Teoría del 5 % de la banda UV de Puyo.....	40
11	IMPACTOS	43
11.1	Impactos técnicos.....	43
11.2	Impactos sociales	43
11.3	Impactos ambientales	43
11.4	Impactos económicos.....	44
12	PRESUPUESTO	45
13	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	46
14	REFERENCIAS.....	48
15	ANEXOS	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Beneficiarios.....	3
Tabla 2. Actividades y sistemas de tarea en relación a los objetivos planteados	6
Tabla 3. Tipos de estaciones meteorológicas	22
Tabla 4. Valores de análisis exploratorio de datos y códigos.....	23
Tabla 5. Definición de relaciones geométricas entre el planeta tierra y el sol	25
Tabla 6. Contribución de las bandas espectrales de la radiación a la constante solar	27
Tabla 7. Análisis exploratorio de datos de heliofanía diaria	28
Tabla 8. Análisis exploratorio de datos coincidentes de heliofanía diaria	28
Tabla 9. Análisis exploratorio de datos de radiación global diaria	29
Tabla 10. Análisis exploratorio de datos coincidentes de Radiación global diaria	30
Tabla 11. Análisis exploratorio de datos de radiación UV-A.....	30
Tabla 12. Análisis exploratorio de datos coincidentes de radiación UV-A	31
Tabla 13. Porcentaje relativo de la banda UV-B en Ecuador.....	37
Tabla 14. Presupuesto de la elaboración del proyecto.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro Radiación Solar	11
Figura 2. Categoría de exposición de la radiación UV	11
Figura 3. Ángulos de latitud	12
Figura 4. Ubicación de las cuatro estaciones meteorológicas en Ecuador	21
Figura 5. Comportamiento característico anual de la radiación extraterrestre	24
Figura 6. Radiación extraterrestre período 2013-2015	31
Figura 7. Radiación Extraterrestre vs Radiación Medida.....	32
Figura 8. Heliofanía de Izobamba (M0003)	33
Figura 9. Relación lineal entre heliofanía y radiación global de la estación Izobamba	34
Figura 10. Radiación global calculada vs radiación global medida de la estación Izobamba (M0003).....	35
Figura 11. Regresión lineal entre Radiación calculada vs Radiación medida de la estación Izobamba (M0003)	36
Figura 12. Heliofanía de la estación Bahía de Caráquez (M1217).....	38
Figura 13. Regresión lineal entre heliofanía Bahía de Caráquez (M1217) y radiación global de Pedernales (M0168).....	39
Figura 14. Heliofanía de la estación Puyo (M0008).....	40

ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PROYECTO DE TITULACIÓN II

1 INFORMACIÓN GENERAL

Título

ANÁLISIS Y CONVERSIÓN DE HELIOFANÍA A RADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y DERIVACIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LAS TRES REGIONES CONTINENTALES DEL ECUADOR. PERÍODO 2019 - 2020.

Lugar de ejecución

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Institución, unidad académica y carrera que auspicia

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)

Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

Medio Ambiente

Nombres de equipo de investigadores

Shirley Ghisell Chiguano Valdiviezo

Jenny Maritza Tigasi Guamangate

Área de Conocimiento:

Ciencias de la Tierra y del Espacio

Climatología

Climatología Regional

Línea de investigación:

Energías Alternativas y Renovables, eficiencia energética y protección ambiental

2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Esta propuesta es la continuación del Proyecto de Investigación y Desarrollo en Opción al Grado Académico de Magíster en Gestión de Energías de la Universidad Técnica de Cotopaxi, Dirección de Posgrados con el tema: “Evaluación del potencial energético solar en la zona de la estación Izobamba propiedad del INAMHI ubicada en el sector Cutuglagua, cantón Mejía de la provincia de Pichincha para el año 2016. Diseño de un sistema de generación de energía fotovoltaico autónomo para equipos automáticos de la estación meteorológica” presentado por el Msc. César David Tonato.

Por ende, se dio la iniciativa de crear un modelo de ecuación que transformó los datos diarios de heliofanía medidos por el heliógrafo a radiación solar global medidos con el piranómetro con la ayuda del método Angstrom - Page y posteriormente permitió discriminar el porcentaje de radiación ultravioleta medidos por el radiómetro a través de una regla de tres simple, este proceso aplicado es importante debido a que el Ecuador no cuenta con datos históricos de radiación UV, puesto que nueve sensores automáticos (radiómetros) han sido instalados por el INAMHI, en el año 2012 y se han obtenido datos a partir del año 2013 solamente en algunas estaciones automáticas del país. Para realizar un estudio de meteorología y climatología la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda utilizar períodos históricos de 30 años denominados “normales climatológicas” y con el método aplicado ya se puede realizar un estudio de radiación UV sin la necesidad de esperar la recolección de datos del radiómetro por más de 20 años, es decir basta que una estación meteorológica convencional cuente con datos de heliofanía para poder obtener datos de radiación UV y realizar investigaciones por entes interesados en la evolución de este fenómeno en el transcurso de la temporalidad y determinación del cambio climático. Los principales beneficiarios son la Universidad Técnica de Cotopaxi, el INAMHI, y usuarios de instituciones públicas y privadas que requieren de dicha información.

3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Tabla 1. Beneficiarios

BENEFICIARIOS DIRECTOS		BENEFICIARIOS INDIRECTOS	
INAMHI		Investigadores de instituciones públicas y privadas	
Hombres	48	Hombres	500
Mujeres	30	Mujeres	700
Total	78	Total	1200

Elaborado por: Autores

4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En Latinoamérica existen estudios de índice de radiación ultravioleta netamente asociados a la salud, según la Organización Mundial de la Salud (2003), menciona que Bolivia desea testimoniar el avance en el mejor conocimiento del medio ambiente, como una contribución clave para alcanzar metas de sostenibilidad. En Argentina que ante la escasez de datos medidos de la radiación solar que sea suficientemente preciso y que satisficiera las condiciones estadísticas como para ser considerados representativos en el tiempo y en el espacio, aparecieron alternativas para estimarlos a partir de la información meteorológica existente, siendo uno de los valores utilizados horas de sol día, también conocido como heliofanía, por ende, en la actualidad este país ha utilizado como herramienta los métodos de interpolación geoestadística para transformar datos de heliofanía a radiación global y teniendo en cuenta su variación con la altura como primer paso para mejorar las cartas de irradiación solar existentes, a través de ello implementar una energía renovable (Grossi & Righini , 2010).

El INAMHI es el ente encargado de generar y proveer información hidrometeorológica oportuna y confiable, pero por distintas razones existen vacíos de información meteorológica en el país en cuanto a la heliofanía, por tal razón se requiere de una metodología sistematizada para mejorar el conocimiento de radiación global y la radiación UV, a través de los datos de heliofanía en Ecuador, este estudio es de suma importancia, ya que la Universidad Técnica de Cotopaxi, puede ser pionera en futuros estudios de investigación sobre el cambio climático, gases de efecto invernadero y energía renovable en cuanto al ambiente y también se puede

realizar otros estudios de relevancia para la salud, puesto que el estudio que se está llevando a cabo es inédito en el país.

En Ecuador, no existen estudios relacionados a los cambios que han presentado la radiación global y la radiación UV, por ende, este estudio es la materia prima para el desarrollo de varias investigaciones, ya que el grupo de investigación va a desarrollar la conversión de datos de heliofanía a radiación global y a través de esto se derivará el porcentaje de la radiación ultravioleta en determinados puntos de las regiones continentales del país.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Obtener radiación solar global en función de la heliofanía, para la validación del porcentaje de radiación UV, utilizando datos de las estaciones meteorológicas convencionales y automáticas instaladas en Izobamba, Pedernales - Bahía de Caráquez y Puyo.

5.2 Objetivo Específicos

- a.** Procesar los datos históricos de heliofanía, radiación global y radiación UV aplicando el software de análisis estadístico R, período 1970-2019.
- b.** Aplicar el método de Angstrom - Page, para la conversión de heliofanía a radiación global en los datos coincidentes en el período 1970-2019.
- c.** Discriminar la radiación ultravioleta de la radiación global calculada de las estaciones seleccionadas período 2013-2015.

6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREA EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

Tabla 2. Actividades y sistemas de tarea en relación a los objetivos planteados

Objetivos	Actividades	Resultados	Descripción
Objetivo 1: Procesar los datos históricos de heliofanía, Radiación Global y Radiación UV aplicando el software de análisis estadístico R, período 1970 - 2019.	Recolección de datos de heliofanía, radiación solar y radiación UV, en una base de datos horaria. Se desarrolló scripts y códigos para el análisis y validación de datos.	Se obtuvo la base de datos de heliofanía, radiación global y radiación UV, en períodos diarios del año 2013-2015 (acumulativa horaria).	Descripción de los datos históricos de heliofanía, período 1970-2015, radiación solar global y radiación UV del año 2013-2019.
Objetivo 2: Aplicar el método de Angstrom - Page, para la conversión de heliofanía a radiación global en los datos coincidentes en el período 1970-2019.	Desarrollar scripts, códigos para el cálculo de ecuaciones de radiación extraterrestre, día juliano, latitud, declinación solar, ángulo horario, distanciamiento de la tierra con el sol, radiación extraterrestre diaria. Desarrollar scripts para datos coincidentes de	Análisis exploratorio de datos de heliofanía, radiación global y radiación UV de los años coincidentes período 2013-2015, con datos diarios (acumulativa horaria). Regresión lineal entre la heliofanía y radiación solar global.	Se transformó los datos de heliofanía a radiación global a través del método Angstrom - Page.

	<p>heliofanía, radiación global, radiación extraterrestre diaria (H_o), período 2013-2015.</p> <p>Desarrollar scripts y códigos para el cálculo de la ecuación matemática del método Angstrom - Page.</p>	<p>Se validó a través del coeficiente de determinación y correlación entre los datos calculados con el método Angstrom - Page y con los datos medidos facilitado por el INAMHI.</p>	
<p>Objetivo 3: Discriminar la radiación ultravioleta de la radiación global calculada de las estaciones seleccionadas período 2013-2015.</p>	<p>Desarrollar scripts y códigos para el cálculo de la radiación UV-B, a través de una regla de tres simple.</p>	<p>Se comprobó la teoría del 5% de la banda UV-B, de la radiación global calculada.</p>	<p>Comprobación de la teoría del 5% relativo de banda UV en Ecuador, es decir la radiación UV-B de la radiación ultravioleta que está dentro de la radiación solar global calculada.</p>

Elaborado por: Autores

7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.

7.1 Energía solar o radiación solar

Barrera (2010), manifiesta que es un conjunto de radiaciones electromagnéticas que tienen su origen en el sol. Las radiaciones comprenden una gama que va desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol. Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10.000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad (Rodríguez Mucias, 2009).

La radiación es transferencia de energía por ondas electromagnéticas y se produce directamente desde la fuente hacia fuera en todas las direcciones. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse, pueden atravesar el espacio interplanetario y llegar a la Tierra desde el Sol. La longitud de onda y la frecuencia de las ondas electromagnéticas, son importantes para determinar su energía, su visibilidad y su poder de penetración. Todas las ondas electromagnéticas se desplazan en el vacío a una velocidad de 299.792 Km/s. Estas ondas electromagnéticas pueden tener diferentes longitudes de onda. El conjunto de todas las longitudes de onda se denomina espectro electromagnético. El conjunto de las longitudes de onda emitidas por el Sol se denomina espectro solar (Carballo, 2016).

7.2 Medición de la radiación solar

Martínez (2016) menciona que la radiación solar se mide con distintos propósitos, uno de ellos es fundamental para una buena planificación, diseño e implementación de un proyecto de aplicación solar. Los piranómetros absorben la radiación solar por medio de termocuplas que convierten el calor en voltaje eléctrico proporcional a la radiación. La celda fotovoltaica en tanto, es un pequeño panel de silicio conectado a una resistencia que genera una corriente proporcional a la radiación.

- a. **Radiación directa.** Es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan (Schmidt, 2012).
- b. **Radiación difusa.** Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por estas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no solo de las nubes

sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, el propio suelo, etc. Este tipo de radiación se caracteriza por no producir sombra alguna respecto a los objetos opacos interpuestos. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven toda la bóveda celeste, mientras que las verticales reciben menos porque solo ven la mitad (Gómez Sarduy & Puerta Fernández, 2015).

- c. **Radiación reflejada.** Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo. Las superficies horizontales no reciben ninguna radiación reflejada, porque no ven ninguna superficie terrestre y las superficies verticales son las que más radiación reflejada reciben (García & Pérez, 2015).
- d. **Radiación global o radiación total.** Es la suma de las tres radiaciones. En un día despejado, con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación que incide es difusa (Elías & Bordas, 2011).

7.3 Irradiancia

La irradiación solar es la magnitud que mide la energía por unidad de área de radiación solar incidente en una superficie colocada en un lugar y rango de tiempo bien especificados. Es decir, no toda la radiación solar que genera el Sol llega la Tierra. La magnitud que describe la radiación solar que llega a la tierra es la irradiancia. La irradiancia se expresa en unidades de potencia por superficie, generalmente vatios por metro cuadrado. Es decir, se refiere a la cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado (Falcón & Muñoz, 2001).

7.4 Medida de la irradiancia

Los datos de la irradiancia se miden en el plano del campo fotovoltaico y se usan en el análisis del comportamiento del sistema fotovoltaico. La irradiancia en el plano horizontal también puede registrarse para realizar comparaciones con datos meteorológicos estándar de otros lugares. La irradiancia en el plano se debe medir a través de dispositivos de referencia calibrados o mediante piranómetros. Si se usan las células o los módulos de referencia deben calibrarse y mantenerse, conforme con la norma IEC 60904 partes 2 y 6, respectivamente. La localización de estos sensores será representativa de las condiciones de irradiancia del campo fotovoltaico. Su precisión y el acondicionamiento de la señal, debe ser mejor que el 5 % de la lectura (García J., 2016).

7.5 Radiación invisible

Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert (2003) menciona que el ojo humano evolucionó para ver la luz y distinguir sus diferentes longitudes de onda mediante los colores. Sin embargo, hoy sabemos que toda fuente de calor emite radiación, visible e invisible.

A comienzo del siglo XIX, William Herschel, descubrió que además de la luz, nos llega del Sol una radiación invisible, de longitud de onda más larga que el color rojo. Según la costumbre de entonces de representar verticalmente los colores, esa radiación caía más abajo del rojo, razón por la cual recibió el nombre de infrarrojo. Hoy sabemos que está asociada con el transporte de energía térmica, o calor. Todos conocen los sensores capaces de detectar un cuerpo que emite calor, como el cuerpo humano que es un sensor de radiación infrarroja. Más importante es la capacidad de la Tierra de absorber luz visible y volver a emitir radiación infrarroja, proceso que es la base del efecto invernadero (Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert, 2003).

7.6 Radiación ultravioleta

Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert (2003) manifiesta que es la radiación de longitud de onda más corta que el azul o el violeta. Esa banda de radiación que estaba representada más arriba del color violeta.

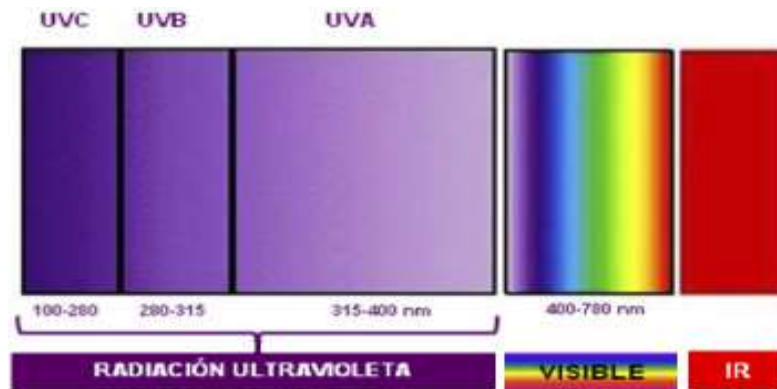
7.6.1 Tipos de radiación ultravioleta

Existen tres tipos de radiación ultravioleta:

- a. UV-A, que es la cercana a la radiación visible (320-400 nm): es responsable del bronceado de la piel.
- b. UV-B, llamada también biológica, varía entre 280-320 nm. A pesar de ser una banda muy estrecha, tiene una importancia fundamental para la vida. Dosis excesivas de UV-B, pueden provocar daños a la piel, la vista y el sistema inmunológico. La mayor parte de esta radiación es atenuada por la capa de ozono.
- c. UV-C, representa la banda más peligrosa para la vida y se extiende entre 100 hasta 280 nm. En efecto la vida evolucionó sin conocerla, ya que la UV-C es absorbida totalmente por la atmósfera. La UV-C se produce artificialmente en la industria de los germicidas y naturalmente en las estrellas. Por eso es necesario salir de la atmósfera terrestre y

colocar telescopios en órbita para poder observar la radiación UV-C proveniente del cosmos, (Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert, 2003).

Figura 1. Espectro Radiación Solar



Fuente: (Cortes Aguilera, 2011)

Figura 2. Categoría de exposición de la radiación UV

Categoría	Valores	Colores
Baja	< 2	Verde
Moderada	3 - 5	Amarillo
Alta	6 - 7	Naranja
Muy alta	8 - 10	Rojo
Extremadamente alta	11 +	Púrpura

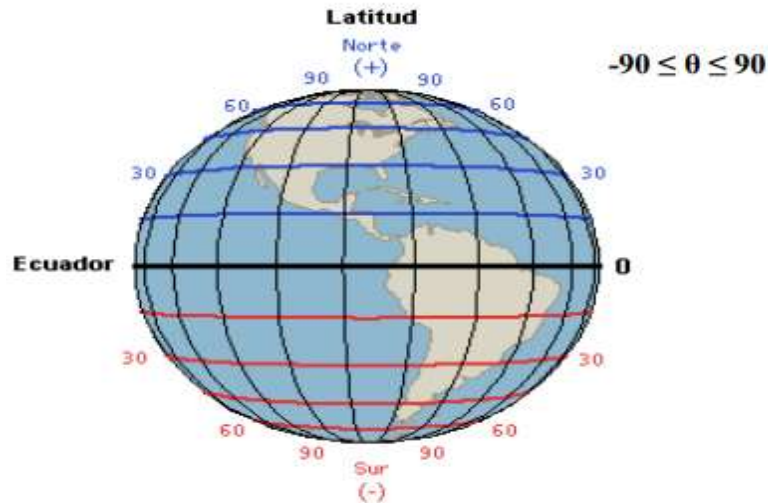
Fuente: (INAMHI, 2015)

7.7 Latitud

La intensidad de los rayos solares es más fuerte en el ecuador, ya que el sol pasa por la parte más alta del cielo y la distancia recorrida por los rayos ultravioleta dentro de la atmósfera es más corta. Además, el espesor de la capa de ozono es menor en los trópicos que en las latitudes medias y altas, por lo que hay menos ozono para absorber la radiación ultravioleta mientras atraviesa la atmósfera. A latitudes más altas, el sol está más bajo en el cielo, por lo que los rayos ultravioletas deben recorrer una distancia mayor a través de las capas de la

atmósfera en donde hay más ozono, y en consecuencia la radiación ultravioleta es menor en esas latitudes (Gonzales, 2016).

Figura 3. Ángulos de latitud



Fuente: (Cardenas, 2010)

7.8 Longitud de onda

Es la dimensión espacial de un ciclo de la onda, que suele indicarse con la letra griega lambda λ . Por tanto, el color rojo corresponde a una longitud de onda mayor que el color amarillo y este mayor que el azul. Las longitudes de onda de la luz son muy pequeñas: varían entre $\lambda = 0.4$ (azul) y $\lambda = 0.8$ (rojo) milésimas de milímetro, unidad que recibe el nombre de micra (μm). La longitud de onda de la radiación se mide también en “nanómetros”, siendo $1000 \text{ nm} = 1 \text{ micra}$: la banda de la luz visible va, por tanto, de 400 a 800 nm (Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert, 2003).

7.9 Altitud

Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert (2003) considera que la intensidad de la radiación ultravioleta aumenta con la altitud, ya que hay menos atmósfera para absorber los rayos dañinos del sol. Por lo tanto, el riesgo de sobreexposición al sol aumenta con la altitud.

7.10 El ángulo cenital solar

El factor más importante que determina la intensidad de la UV-B es sin duda la inclinación de los rayos solares, medida mediante el “ángulo cenital solar”. SZA es el ángulo

que forma el Sol con respecto a la dirección vertical. El SZA determina cuánta energía golpea una superficie unitaria horizontal: para SZA pequeños los rayos caen casi verticales y mucha energía llega a la superficie unitaria, mientras para bajas alturas del Sol (grandes SZA) la misma energía anterior se reparte sobre una superficie más grande (Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert, 2003).

7.11 Azimut

Torre Nieto & Villate Bonilla (1997) menciona que es un término que se refiere a un ángulo que utilizamos para conocer la orientación de algo sobre una esfera, en este caso la Tierra, medido desde el Norte. Se utiliza en varias disciplinas con distintas gamas, siendo por ejemplo en astronomía referido desde el Sur. Azimut de una línea es la dirección de esta respecto al meridiano escogido, pero medida ya no en el rumbo, por un ángulo agudo, sino tomada como el ángulo que existe entre la línea y un extremo del meridiano. Generalmente se toma el extremo Norte de este y el ángulo se mide en el sentido del movimiento de las manecillas del reloj. En igual forma, el azimut puede ser verdadero, magnético o arbitrario, según el meridiano al cual se refiera. Orientación del panel en plano horizontal norte 0° , este = 90° , sur = 180° y oeste = 270° (Constante & Palacios, 2014).

7.12 Orientación

Ospino & Isaza (2016) manifiesta que es el ángulo de orientación respecto al Sur Solar de la superficie de un panel. El Sur geográfico (o real) no debe confundirse con el magnético, que es el que señala la brújula.

7.13 Organización Meteorológica Mundial

La Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ha recomendado a los gobiernos que adopten un enfoque de dos niveles para actualizar las bases de referencia de 30 años que los científicos y servicios meteorológicos utilizan para vigilar el tiempo y el clima y compararlo con las condiciones registradas en el pasado. Como el clima varía naturalmente de un año a otro los climatólogos utilizan medias de 30 años de temperaturas, precipitaciones y otras variables para definir. Esos períodos históricos de 30 años se denominan “normales climatológicas” y pueden calcularse a escala local, nacional o mundial. Las normales climatológicas se actualizan, hoy en día, una vez cada 30 años, con lo cual el período de las normales climatológicas oficiales actuales sigue siendo 1961-1990. Sin embargo, el aumento

de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero está cambiando el clima de la Tierra mucho más rápido que antes (Martin Leon, 2014).

7.14 Equipos para la medición de la Radiación Solar

7.14.1 Piranómetro

Kipp & Zonen (2012) manifiesta que es un instrumento meteorológico automático utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la Tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar en un campo de 180 grados.

Composición: Los de termopila están formados por sectores blancos y negros, son capaces de absorber la radiación solar en un rango entre los 300 y los 50000 nm y tienen una respuesta casi perfecta al coseno del ángulo de incidencia.

La cúpula de cristal limita la respuesta al rango de 300 a 2800 nm preservando un campo de visión de 180 grados. Otra función de la cúpula es la de proteger la termopila de la convección. Las bandas negras del sensor (termopila) absorben la radiación solar que se transforma en calor. Este calor fluye atravesando los sensores hacia el cuerpo del piranómetro, proporcionando una señal eléctrica proporcional a la radiación incidente (Kipp&Zonen, 2012).

Además existen radiómetros diseñados para medir la radiación en cierto rango de longitud de onda como los de Ultravioleta, los Pirgeómetros que miden el rango del infrarrojo, los Pirheliómetros que tienen un ángulo de medida de 5 grados y son utilizados para la medida de la radiación directa, los mismos piranómetros de global se los utiliza para medir la radiación reflejada o albedo colocándolos en forma inversa apuntando al suelo a una distancia de un metro, también se los monta ya sea en seguidores solares o placas de sombra para impedir el paso de la radiación directa con el fin de medir la radiación difusa, un ejemplo de estos es el Piranómetro Kipp&zonen CMP6 que efectúa mediciones rutinarias de radiación solar global en una superficie plana (Kipp&Zonen,2012).

7.14.2 Heliógrafo Campbell

Mide la insolación o “sol eficaz”, es decir, permite contar las horas que ha lucido el Sol en determinado lugar durante un día. Este registrador de la luz solar que consiste básicamente en una bola de vidrio macizo de unos 10 cm de diámetro que, a modo de lente, concentra los rayos solares en un foco próximo a ella. A medida que el sol se va moviendo en el cielo, este foco va recorriendo una banda o cartulina fijada en un marco metálico paralelo al vidrio, en

semicírculo, detrás de la bola. La concentración del foco luminoso y calorífico va trazando por carbonización una línea oscura más o menos acentuada, según la intensidad de los rayos solares. Los Heliógrafos Campbell Stokes y Thies son los más utilizados en las estaciones del INAMHI, Organización Mundial de Meteorología Guía 8 (2014).

Gallegos (2002) manifiesta que el heliógrafo se coloca sobre un pilar de mampostería a una altura de 1.30 metros del suelo, en un lugar en el que no haya obstáculos que oculten el sol. Se considera un buen emplazamiento aquel que permita la visibilidad de todo el zodíaco por encima del horizonte en todas las épocas del año, desde la salida hasta la puesta del sol.

El heliógrafo ha de estar ajustado para la latitud geográfica del lugar en donde va a ser instalado. Por lo general estos aparatos se fabrican para un pequeño número de latitudes típicas y dejan margen a la afinación final por medio de un dispositivo de latitud variable. Así como ha de ajustarse a la latitud, también debe hacerse lo mismo en cuanto a la longitud geográfica, siendo el mejor modo de hacerlo basándose en la ecuación del tiempo, que calcula con exactitud la hora del paso del sol por la meridiana de un lugar en concreto. Si el heliógrafo no está bien ajustado (latitud-longitud), las marcas o quemaduras que presenten las bandas no estarán paralelas a la línea central de las mismas, con lo que se corre el riesgo de perder datos de insolación (Muller, 2013).

Como el Sol va variando en altura en el transcurso del año, el foco del heliógrafo se va desplazando en consecuencia, por lo que el marco metálico provisto de ranuras-guías y concéntrico con la bola de vidrio, que sostiene la banda graduada, puede ajustarse buscando la posición más idónea para cada época del año (Muller, 2013).

7.14.3 Radiómetro UV.

Es un dispositivo para la medida de la radiación UV en superficie; pertenece a la clase de instrumentos llamados “radiómetros de múltiples longitudes de onda”, es decir, radiómetros que responden a varias longitudes de onda, cuyas características son determinadas por la combinación de los distintos filtros y propiedades del sensor, junto con las otras componentes ópticas del dispositivo. Estos canales miden simultáneamente los valores de irradiancia en distintas longitudes de onda predefinidas del espectro solar (Pettazzi & Gonzalez Souto, 2009).

7.15 Modelos de estimación de la radiación solar

Modelos meteorológicos de estimación de la radiación solar global permiten evaluar el recurso solar incidente en superficie mediante correlaciones empíricas definidas respecto a distintas variables meteorológicas. Los radiómetros son instrumentos meteorológicos precisos para la medición de la radiación ultravioleta-B. La técnica de medición empleada utiliza un fósforo fluorescente que convierte la radiación UV-B a luz visible, que es a su vez medida con precisión por un fotodiodo de estado sólido. La radiación solar, tanto directa como difusa, es transmitida a través de una cúpula (Leslie K. Fanola G.t, 2012).

7.16 Estadísticos

Estos modelos no precisan normalmente de medidas meteorológicas complementarias, su mayor limitación es la necesidad de datos terrestres de radiación solar y la falta de generalidad, es decir no hay garantías de que los coeficientes de las regresiones tengan los mismos valores en otras áreas. Los elevados costos que representa la evaluación de la radiación solar incidente en determinado lugar principalmente de los equipos de registro y la necesidad de utilizar otras fuentes de energía alternativa impulsaron a los Investigadores en la década de los años setenta a plantear métodos alternativos para determinar los modelos de estimación de radiación solar (Torrez, Burgoa, & Ricaldi, 2013).

Uno de los primeros modelos y en el que se basa el presente trabajo fue el desarrollado por Angstrom y Prescott, basado en datos de horas de sol diarias, denominado también heliofanía. Aunque los equipos de registro de horas de sol son menos costosos que los piranómetros, son igualmente onerosos para la generalidad de localidades de nuestro altiplano por su alto grado de depresión económica (Torrez, Burgoa, & Ricaldi, 2013).

El modelo de Bristow Campbell, emplea las variables de entrada en una expresión exponencial típica de fenómenos físicos que limita sus valores, máximo y mínimo a los valores posibles en los límites de su variación. Esto es, que la máxima energía que se puede alcanzar, es el incidente extraterrestre, y cero en un día absolutamente cubierto como se muestra en la Ecuación 8.1 (Kipp & Zonen, 2012).

$$H = aH_o(1 - e^{-b(\Delta T)^\circ}) \quad (7.1)$$

El otro modelo que consideramos en este artículo es el de Hargreaves Samani, en esta expresión la energía solar diaria es proporcional a la raíz cuadrada de la amplitud térmica diaria

modulada por la variación diaria de la energía solar extraterrestre sobre el sitio en evaluación como se muestra en la Ecuación 8.2 (Kipp & Zonen, 2012).

$$H = aH_o\sqrt{(T_{max} - T_{min})} \quad (7.2.)$$

7.17 Modelos de tratamiento de imágenes de satélite

El tratamiento de imágenes de satélite geoestacionarios, estas imágenes son el resultado de la reflexión de los rayos solares en la superficie de la Tierra, por lo que ya han sufrido y llevan implícitos los posibles efectos de la topografía, así como de los principales fenómenos atmosféricos que se producen cuando los rayos solares atraviesan la atmósfera (Ramírez, y otros, 2003).

Básicamente existen dos tipos de modelos: modelos estadísticos y modelos físicos. Los modelos estadísticos están basados en una o más relaciones, tratadas generalmente como regresiones estadísticas, entre las medidas piranométricas de la radiación solar y el valor de la cuenta digital simultánea del satélite para la localización correspondiente al sitio del piranómetro. Esta relación es asumida válida y a continuación utilizada para la estimación de la radiación solar en la superficie terrestre para la región entera en consideración (Ramírez, y otros, 2003).

7.18 Software de Análisis Estadístico R

Es importante contar con herramientas que faciliten el desarrollo de proyectos de investigación, es por esto que se decidió utilizar el software libre R en el tratamiento y filtrado de datos, ya que por métodos tradicionales es imposible el trabajo con millones de datos que involucra la radiación solar medida incluso en segundos, esto traducido a años genera un volumen considerable que para el mencionado software es rutinario (Martinez & Seisdedo, 2017).

R4 es un entorno en el que se han implementado muchas técnicas estadísticas, tanto clásicas como modernas, que está enmarcado dentro de la plataforma GNU y se distribuye con licencia GNU GPL (del inglés General Public License). (The R Foundation for Statistical Computing. R: Regulatory compliance and validation issues. A guidance document for the use of R in regulated clinical trial environments (Saez, 2010).

En la década de los años 80 fue desarrollado un lenguaje específico para realizar cómputos estadísticos denominado S. Posteriormente se desarrollaron una serie de dialectos a

partir de S. Dos de los más conocidos son R y Splus, este último una implementación comercial de S. Por el contrario, R es un lenguaje de código abierto como su original S; de ahí que en la literatura algunas veces aparezca con la denominación GNU (Sáez, 2010).

R es hoy en día usado por las universidades para investigaciones en estadística, lo cual ha garantizado su robustez. Uno de los atractivos de R es que incluye un lenguaje de programación bien desarrollado, simple y efectivo, que admite condicionales, ciclos, funciones recursivas y posibilidad de entradas y salidas. Las facilidades de programación incluidas en R son muy amplias, lo que hace más eficiente la implementación de nuevos procedimientos, así como el uso reiterado de funciones existentes (Mirabal, 2010).

8 VALIDACIÓN DE LA PREGUNTA CIENTÍFICA

¿Qué contenido de radiación ultravioleta existe en la radiación solar global en determinados puntos de las tres regiones continentales del Ecuador?

En esta investigación se validó el porcentaje relativo de banda UV para el Ecuador, este proceso se llevó a cabo mediante la conversión de datos heliofanía a radiación global, mediante la aplicación del método Angstrom y Page (Ecuación 10.7), y posteriormente se realizó una regla de tres simple que determinó el porcentaje de radiación UV-B (ver Tabla 13), donde se pudo notar que se encuentra en el rango encuentra $5 < UV < 7$, además se ve diferenciado por cada región continental del país, es decir, en la región Sierra, estación Izobamba (M0003) se determinó la radiación UV-B con datos calculados a través del método Angstrom - Page con 6.79 % y con la radiación medida (piranómetro) con 6.59 %, mientras en la región Costa y Amazonía se calculó el porcentaje de la radiación UV-B con los datos directamente proporcionado medidos por el INAMHI, obteniendo en la estación Pedernales un porcentaje de 5.19 % y en la estación Puyo con 6.00 %. Estableciendo que la Región Costa, estación Pedernales el porcentaje está dentro del rango establecido del 5 % de la Teoría relativa de bando UV, mientras que en la región Sierra y Amazonía el valor es superior a la teoría expuesta. Es muy probable que esta variación sea por la diferencia geográfica y climática que tiene Ecuador. Sin embargo, esta propuesta da una referencia de radiación UV de cada región continental del país, ya que para fijar un porcentaje de radiación UV se debería hacer un estudio minucioso de cada provincia del Ecuador.

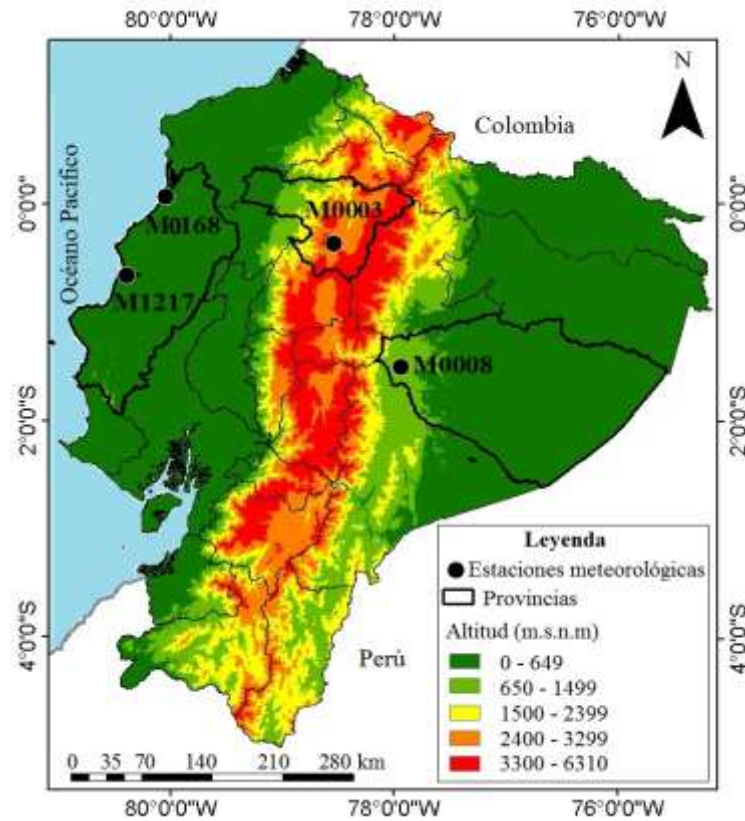
9 METODOLOGÍAS

Este proyecto se enfocó en tener una referencia del porcentaje de radiación UV-B, que tienen las tres regiones continentales del Ecuador, previo a la selección de las estaciones meteorológicas se investigó los antecedentes de las mismas, conociendo que la base de datos de heliofanía de todas las estaciones elegidas tenía información solamente hasta el año 2015. Para la selección se consideró que la disponibilidad de información sea mayor a 30 años por tal motivo se tomó el período de 1970 - 2015, y debido a que el sensor automático piranómetro ha generado datos desde el año 2013 se tomó el período 2013 - 2019 para radiación global. También se tomó en cuenta que cada estación sea convencional y automática a la vez, ya que cada región del Ecuador presenta distinta latitud, altitud y longitud, y por último se realizó la elección con las siguientes referencias. En la región Sierra se eligió la estación meteorológica Izobamba que es de primer orden en la historia, ya que ha contado con los mejores equipos para medir los parámetros meteorológicos, presenta una buena base de datos históricos de heliofanía, también tiene la instalación de los sensores de radiación piranómetro y radiómetro. En la Región Costa no cuenta con una estación meteorológica convencional y automática a su vez, de tal manera se seleccionó a la estación Bahía de Caráquez que tiene la mayor cantidad de datos de heliofanía en la región y lo más destacable es que se encuentra cercana la Estación Pedernales que cuenta con datos de radiación global y radiación UV. Y por último en la región Amazónica se consideró a la estación Puyo, ya que presenta más de 30 años de datos de heliofanía y cuenta con datos requeridos de radiación.

9.1 Ubicación del área de estudio

Para obtener un mejor resultado, se seleccionó las cuatro estaciones más representativas de las regiones continentales del Ecuador, debido a que contienen mayor cantidad de datos de heliofanía, radiación global y radiación UV en la región Sierra, dentro de la provincia de Pichincha, cantón Quito, se encuentra la estación Izobamba (M0003), en la región Costa, provincia de Manabí en el cantón Pedernales se encuentra la estación Pedernales (M0168) y en el cantón Sucre la estación Bahía de Caráquez y por último en la región Amazónica dentro de la provincia de Pastaza, cantón Puyo se halla la estación Puyo (M0008).

Figura 4. Ubicación de las cuatro estaciones meteorológicas en Ecuador



Elaborado por: Autores

9.2 Datos

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), ha recomendado usar períodos históricos de 30 años denominados “normales climatológicas”. Por ende, se trabajó con los datos disponibles de estaciones convencionales de heliofanía desde el año 1970 - 2015, también se utilizó datos de radiación global y radiación UV de estaciones automáticas del año 2013 - 2019, y para la aplicación de método Angstrom - Page, se trabajó con los datos coincidentes y completos entre las tres variables meteorológicas que fue del año 2013 - 2015.

Tabla 3. Tipos de estaciones meteorológicas

Estación	Código	Cantones	Tipo
Izobamba	M0003	Quito	Convencional - Automática
Pedernales	M0168	Pedernales	Automática
Bahía de Caráquez (PUCE)	M1217	Sucre	Convencional
Puyo	M0008	Puyo	Convencional - Automática

Elaborado por: Autores

9.2.1 Depuración y filtración de datos

Para el análisis y depuración de datos tanto de heliofanía, radiación global y radiación UV, se encontró con gran cantidad de datos por lo cual fue indispensable el Software R, considerando que el horario de toma de datos del heliógrafo que mide la heliofanía es desde las 6:00 am hasta las 18:00 pm, que son las horas de brillo solar en un día, se tomó de la misma forma las horas de radiación solar global y radiación UV-A, ya que es indispensable considerar el mismo período de horas para las variables meteorológicas para su posterior estudio, además de considerar los años de coincidencia entre heliofanía y radiación global (1970 - 2019), y el período de datos coincidentes con radiación UV (2013 - 2019), ya que es indispensable para dar inicio a los siguientes procesos matemáticos.

9.3 Análisis exploratorio de datos

Para realizar el análisis exploratorio de las variables de heliofanía (1970 - 2015), radiación global y radiación UV-A (2013 - 2019), se determinó el número total de datos, número de vacíos, % de vacíos, valor máximo, valor mínimo, desviación estándar (SD) y coeficiente de variabilidad (CV), también se realizó el mismo proceso con los años coincidentes entre las tres variables meteorológicas mencionadas, para poder calcular en el software R se creó scripts a través de códigos para las siguientes funciones:

Tabla 4. Valores de análisis exploratorio de datos y códigos

Nombre de Función	Función	Código R
Total de vacíos		Num_NA_rsg=apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) sum(is.na(x)))
Máxima	$Max = Q_3 + 1.5 * RI$	Max_rsg=apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
Mínimo	$Q_1 - (1.5 * Rango\ intercuartil)$	Min_rsg=apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
Media	$X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i f_i$	media_rsg=apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
Mediana	$X = L_i + \frac{\frac{n}{2} - F_{i-1}}{f_i} A$	mediana_rsg=apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) median(x,na.rm =TRUE))
Desviación estándar	$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 - \bar{x}^2}$	ds_rsg=apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
Coefficiente de variación	$V = \frac{S}{X}$	

Elaborado por: Autores

9.4 Cálculo de la radiación solar extraterrestre

Se trata de la radiación solar que llega a la parte exterior de la atmósfera, se mide por medio de una constante solar G_{sc} , la cual representa la energía del sol por unidad de tiempo en un área de un metro cuadrado perpendicular a la dirección de propagación de la radiación. En el transcurso del tiempo se ha ido calculando nuevos valores hasta el 2000 con un valor de 1366.1 W/m^2 por la “American Society for Testing and Materials”, sin embargo, principalmente por efectos del movimiento de la tierra presenta variaciones cíclicas anuales que se los determina por la (Ecuación 9.1).

9.4.1 Que calcula la radiación extraterrestre en el plano normal.

$$G_{on} = G_{sc} \left\{ 1 + 0.034 \cos \left[\frac{360 n}{365} \right] \right\} \quad (9.1)$$

Donde:

Gon Radiación extraterrestre medida en el plano normal a la radiación en el día “n” del año (W/m^2).

Gsc Constante solar $1366 W/m^2$

n Día del año, del 1 a 365.

Figura 5. Comportamiento característico anual de la radiación extraterrestre



Fuente: (Duffie & Beckman, 2013).

9.5 Radiación extraterrestre para períodos diarios (R_a)

Según la FAO (2006), menciona que la radiación extraterrestre, R_a , la (Ecuación 9.2.) permitió calcular para cada día del año y para diversas latitudes se puede estimar a partir de la constante solar, la declinación solar y la época del año y permite calcular en un plano paralelo a la tierra (G_{oH}).

$$R_a = \frac{24 \cdot 60}{\pi} G_{sc} dr [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)] \quad (9.2)$$

donde:

R_a = Radiación extraterrestre [$MJm^2 dia^{-1}$]

G_{sc} = Constante solar $0.082 MJm^{-2}min^{-1}$

dr = Distancia relativa inversa Tierra – Sol [rad]

φ = Latitud geográfica [rad]

δ = Declinación solar [rad]

ωs = Ángulo Horario [rad]

Tabla 5. Definición de relaciones geométricas entre el planeta tierra y el sol

Símbolo	Nombre	Descripción
\varnothing	Latitud	Localización angular entre la línea Ecuador y un punto determinado de la Tierra. $-90^\circ \leq \varnothing \leq 90^\circ$
δ	Declinación	Posición angular del sol al medio día con respecto al plano Ecuador. $-23.45^\circ \leq \delta \leq 23.45$
ωs	Ángulo horario de puesta de sol	Ángulo horario de puesta de sol

Fuente: (Duffie & Beckman, 2013)

9.5.1 Cálculo de la distancia relativa inversa Tierra-Sol

$$dr = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365}J\right) \quad (9.3)$$

donde:

J = Número de día juliano entre 1 (1 de enero) y 365 (31 de diciembre).

9.5.2 Ángulo horario (ωs)

Gastelo (2017), indica que el ángulo horario de radiación a la hora de la puesta del sol ω indica el desplazamiento angular del sol, de este a oeste, a una tasa de 15 *grados/hora* debido a la rotación de la tierra. Por convención, se considera el ángulo horario nulo en el mediodía solar, negativo en la mañana y positivo por la tarde. Este ángulo se define sobre el plano del ecuador, como el ángulo entre los meridianos del Sol y de un observador ubicado en el hemisferio norte y se calculó mediante la siguiente (Ecuación 9.4).

$$\omega s = \arccos[-\tan(\varnothing)\tan(\delta)] \quad (9.4)$$

donde:

\varnothing = Latitud geográfica

δ = Declinación solar

9.5.3 Declinación solar

Bautista (2016), menciona que es el ángulo formado por los rayos procedentes del sol y el plano ecuatorial de la tierra. Su valor oscila entre $+23,45^\circ$ en el solsticio de verano (21-22 de junio) y $-23,45^\circ$ en el solsticio de invierno (21-22 de diciembre). Toma el valor 0 en los equinoccios de primavera (21-22 de marzo) y otoño (22-23 de septiembre) y se calculó mediante la siguiente Ecuación 9.5.

$$\delta = 23,5 \cos[360(J - 172)/365] \text{ grados} \quad (9.5)$$

donde:

J = Número de día juliano

9.6 Regresión lineal

Las constantes a y b de la ecuación pueden tomar un amplio rango de valores, dependiendo de la localización, y pueden ser estimadas a partir de datos reales o a partir de correlaciones establecidas en localizaciones próximas. Diversos autores han obtenido diferentes valores de los parámetros " a " (pendiente) y " b " (punto de corte en el eje Y).

$$y = 0.4665x + 0.2647 \quad (9.6)$$

9.7 Método de Angstrom - Page

Este método ayudó a obtener la radiación global diaria de los datos de la heliofanía, a través de la Ecuación 9.7, el valor de H_o o R_a representa la radiación extraterrestre diaria calculada con la (Ecuación 9.2), n representa la heliofanía diaria que son datos suministrado por el INAMHI y finalmente N es la máxima Heliofanía máxima que se determinó desde el 1 de enero del año 1970 hasta el 31 de diciembre del año 2015 con el valor de 11.9 (*horas /sol /día*) con lo que al despejar H que representa el valor de la radiación global diaria resulta la Ecuación 9.7.

$$\frac{H}{H_o} = a + b \frac{n}{N} \quad (9.7)$$

Despejando la ecuación.

$$H = (H_o * a) + (((H_o * b) / 11.9) * n) \quad (9.8)$$

donde:

H: Es la radiación diaria en un mes determinado incidente en un plano horizontal sobre la tierra.

Ho: Radiación extraterrestre diaria.

n: Horas de sol diaria del mes en cuestión.

N: Máxima de heliofanía que se determinó (desde el 1 de enero del año 1970 hasta el 31 de diciembre del año 2015 en *horas /sol /día*)

a y b: Constantes empíricas.

9.8 Teoría del 5% de la banda UV

El INAMHI, a través del radiómetro instalado en las estaciones automáticas genera datos de radiación UV-A y UV-E, este estudio se basó en el Libro la Radiación Ultravioleta en Bolivia según Francesco Zaratti & Ricardo Forno (2003) muestran la teoría del 5% relativo de la banda UV como se indica en la Tabla 6, por ende, se pretende comprobar el porcentaje de la radiación UV-B en Ecuador con los datos de UV-A (315-400 nm) que son medidos por el INAMHI. El método que se aplicó para calcular el porcentaje de radiación UV-B de la radiación ultravioleta que está dentro de la radiación solar, se realizó a través de una regla de tres simple.

Tabla 6. Contribución de las bandas espectrales de la radiación a la constante solar

Banda de radiación solar	% relativo de banda UV
UV-C (100-280nm)	0
UV-B (280-315NM)	5
UV-A(315-400nm)	95
RUV	100

Fuente: (Francesco Zaratti & Ricardo Forno, 2003)

$$UV * 100\%/H \quad (9.9)$$

donde:

H = Es la radiación diaria incidente en un plano horizontal sobre la tierra.

10 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

10.1 Análisis exploratorio de datos

Después de procesar los datos históricos de heliofanía se obtuvo la Tabla 7, donde constan todas las estaciones seleccionadas. La estación Izobamba (M0003) se mantiene con el mayor número de datos de 16679, un mayor número de vacíos de 1335 que representa el 8.0%. El valor máximo observado fue 11.90 (*horas /sol /día*) para la estación M0003 y una mínima de 0 (*horas /sol /día*) para todas las estaciones. La estación de la región Sierra (Izobamba-M0003) presentó el valor medio más alto (5.17 *horas /sol /día*) comparado con las dos regiones. La mayor dispersión de los datos se presentó en la estación Bahía de Caráquez - M1217 (región Costa) lo que concuerda con el mayor coeficiente de variación (ver Tabla 7).

Tabla 7. Análisis exploratorio de datos de heliofanía diaria

Código	Período		Datos		%	Máx.	Mín.	Media	SD	CV
	desde	Hasta	total	vacíos						
M0003	1970	2015	16679	1335	8.00 %	11.90	0	5.17	2.69	0.52
M1217	2007	2015	3153	161	5.10 %	10.33	0	3.17	2.84	0.89
M0168	No tiene datos									
M0008	1972	2015	15949	945	5.92 %	11.20	0	2.79	2.49	0.89

Elaborado por: Autores

La tabla 8 contiene los datos coincidentes de heliofanía o datos de período base con los que se aplicó el método de Angstrom - Page (Ecuación 9.7), para calcular la radiación global, se puede visualizar las funciones básicas que se aplicó y los equivalentes de las mismas como se muestra a continuación:

Tabla 8. Análisis exploratorio de datos coincidentes de heliofanía diaria

Código	Período		Total de datos	Máx.	Mín.	Media	SD	CV
	desde	hasta						
M0003	2013	2015	661	11.8	0.00	5.17	2.74	0.52
M1217	2014	2015	297	9.92	0.00	3.22	2.79	0.86
M0168	No tiene datos							

M0008 No hay coincidencia de datos

Elaborado por: Autores

La tabla 9 contiene datos de la radiación global, se puede observar en la estación Bahía de Caráquez (M1217), que tiene el mayor número de datos (2354) y el mayor número de datos vacíos (504) que representa el 21.82% tenemos en la estación Izobamba (M0003). El valor máximo de radiación se obtiene en la estación Izobamba (M0003) con $8443.12 \text{ W/m}^2/\text{h/día}$, la mínima tenemos en la estación Puyo (M0008) con $490.91 \text{ W/m}^2/\text{h/día}$. La desviación estándar (SD) indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media, en la estación Bahía de Caráquez (M1217), presenta la mayor dispersión de sus datos y la estación Puyo (M0008) presenta mayor coeficiente de variación 0.38.

Tabla 9. Análisis exploratorio de datos de radiación global diaria

Código	Período		Datos		%	Máx.	Mín.	media	SD	CV
	desde	Hasta	total	vacíos						
M0003	2013	2019	230	504	21.8	8443.1	1344.2	4788.5	1224.1	0.25
			9		%					
M1217	2013	2019	235	428	18.2	7599.1	885.5	4067.8	1516.8	0.37
			4		%					
M0168	2013	2019	163	313	19.2	7123.1	861.2	3701.5	1321.6	0.35
			3		%					
M0008	2013	2019	143	460	31.9	7407.6	490.9	3540.3	1356.2	0.38
			9		%					

Elaborado por: Autores

La tabla 10 contiene datos coincidentes de la radiación global diaria, estos datos son importantes, ya que con ellos se puede realizar una comparación entre la radiación global calculada a través de la ecuación matemática de Angstrom - Page y la radiación medida por el sensor automático piranómetro, a continuación, se puede observar las funciones básicas realizadas para su estudio.

Tabla 10. Análisis exploratorio de datos coincidentes de Radiación global diaria

Código	Período		Total de datos	Máx.	Mín.	media	SD	CV
	desde	hasta						
M0003	2013	2015	661	8050.23	1361.710	4665.88	1200.25	0.25
M1217	No se usan datos							
M0168	2014	2015	661	6753.13	1148.60	3797.08	1234.96	0.32
M0008	No coinciden datos							

Elaborado por: Autores

La tabla 11 contiene datos completos de la radiación ultravioleta donde constan todas las estaciones el número total de datos, el mayor porcentaje de vacíos tenemos en la estación (M0168) de Pedernales con 27.20%, el valor máximo se obtiene en la estación (M0003) de Izobamba con 507.68 $W/m^2/h/día$, la mínima tenemos en la estación Puyo con 0 $W/m^2/h/día$. La desviación estándar (SD) indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media, en la estación Puyo (M0008) presenta la mayor dispersión de sus datos y presenta mayor coeficiente de variación 0.72.

Tabla 11. Análisis exploratorio de datos de radiación UV-A

Código	Período		Datos		% vacíos	Máx.	Mín.	media	SD	CV
	desde	hasta	total	vacíos						
M0003	2013	2019	231	503	21.7%	507.68	-0.23	294.77	89.77	0.30
			0							
M0168	2013	2019	222	604	27.20%	467.16	70.18	259.01	82.45	0.31
			0							
M0008	2013	2019	240	637	26.50%	456.39	0.00	175.56	126.70	0.72
			3							

Elaborado por: Autores

La tabla 12 contiene datos coincidentes de la radiación ultravioleta donde constan todas las estaciones, el número total de datos, el porcentaje de vacíos, el valor máximo se obtiene en la estación (M0003) Izobamba con 507.68 $W/m^2/h/día$, la mínima tenemos en la estación Puyo (M0008) con 0 $W/m^2/h/día$. La radiación ultravioleta media más alta se encuentra en la estación Izobamba con un valor de 313.94. La desviación estándar (SD) indica qué tan dispersos están

los datos con respecto a la media $W/m^2/h/día$, en la estación Pedernales (M0168) presenta la mayor dispersión de sus datos y la estación Puyo (M0008) presenta mayor coeficiente de variación 0.30.

Tabla 12. Análisis exploratorio de datos coincidentes de radiación UV-A

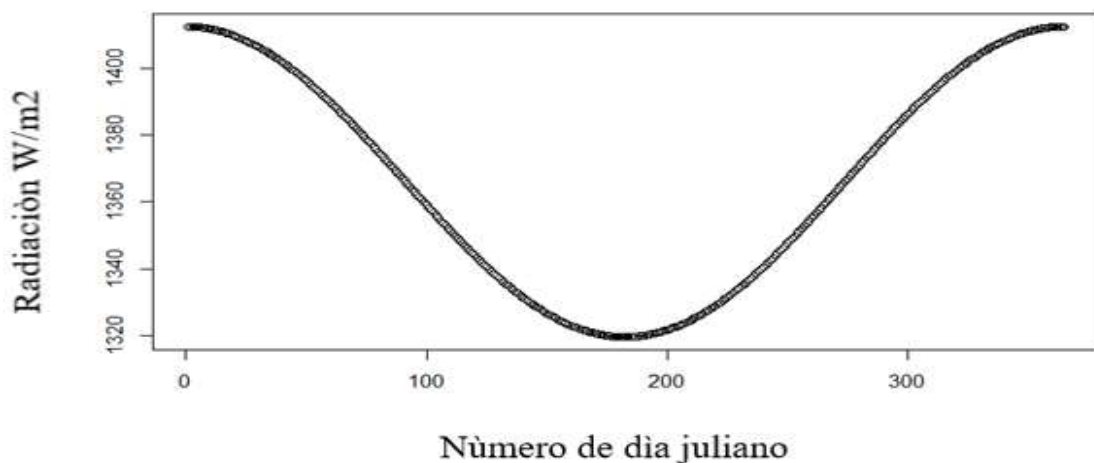
Código	Período		Datos total	Máx.	mín.	media	SD	CV
	desde	hasta						
M0003	2014	2015	264	507.68	-0.23	313.94	66.62	0.21
M0168	2014	2015	264	467.16	70.18	273.06	79.95	0.29
M0008	2014	2015	264	401.38	0.00	239.48	73.56	0.30

Elaborado por: Autores

10.2 Cálculo de la radiación solar extraterrestre

En la figura 6 se muestra la radiación extraterrestre que permite calcular en el plano normal a la tierra, donde se observa las estaciones del año y la línea de los equinoccios el día 21 de junio al 22 de septiembre, fecha del solsticio de verano, el sol ilumina más directamente el hemisferio norte de la Tierra, donde el sol alcanza su máxima inclinación respecto al plano del Ecuador, el 22 de diciembre a 21 de marzo, fecha del solsticio de invierno, el 21 de marzo al 21 de junio es la fecha de primavera, y el otoño del 22 de septiembre al 21 de diciembre.

Figura 6. Radiación extraterrestre período 2013-2015



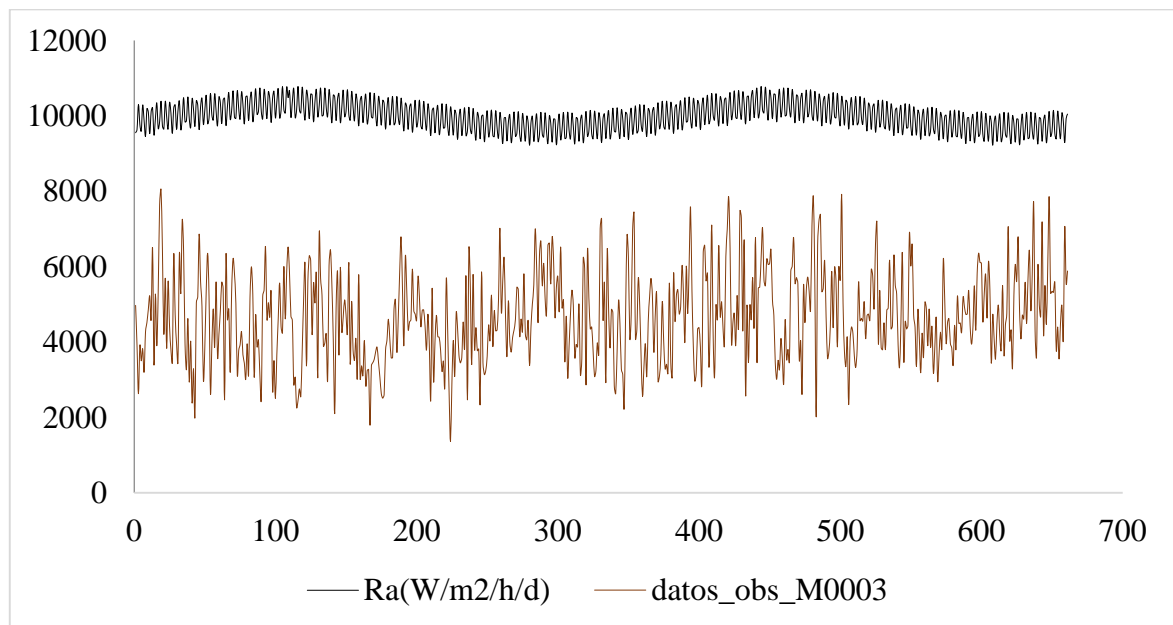
Elaborado por: Autores

10.3 Radiación diaria (Ra) o (Ho)

10.3.1 Izobamba (M0003)

En la figura 7 se visualiza la radiación global medida vs la radiación extraterrestre diaria de la estación M0003 en la que se nota la similitud del comportamiento de la figura 6. Además, en la diferencia de valores se puede destacar la variación en el transcurso del tiempo de la radiación global, que está sujeta a la presencia de fenómenos atmosféricos y contaminantes que convierten tanto la forma como el valor de la radiación extraterrestre en radiación global. Cabe señalar que la estación meteorológica Izobamba de la región Sierra es el modelo para su posterior replica en las estaciones de la región Costa y Amazonía.

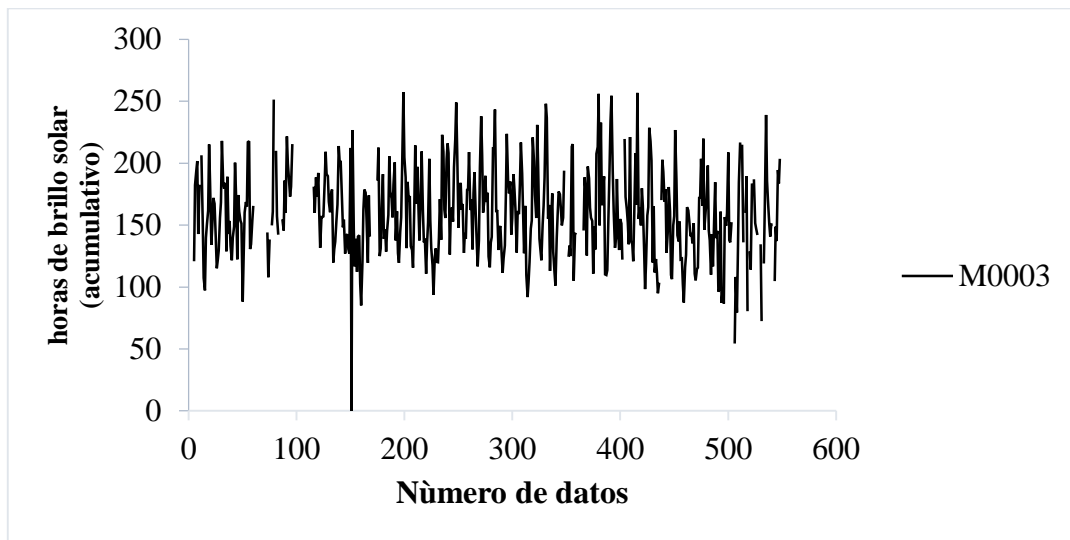
Figura 7. Radiación Extraterrestre vs Radiación Medida



Elaborado por: Autores

La heliofanía media de la estación Izobamba fue 5.17 (*horas /sol /día*) y el comportamiento de esta variable en el transcurso del tiempo para el período 1970 - 2015 se observa en la Figura 8. Los valores máximos observados fueron 250 para enero del 2013 y el valor máximo fue 11.90 (*horas /sol /día*), el mínimo fue 0 (*horas /sol /día*).

Figura 8. Heliofanía de Izobamba (M0003)



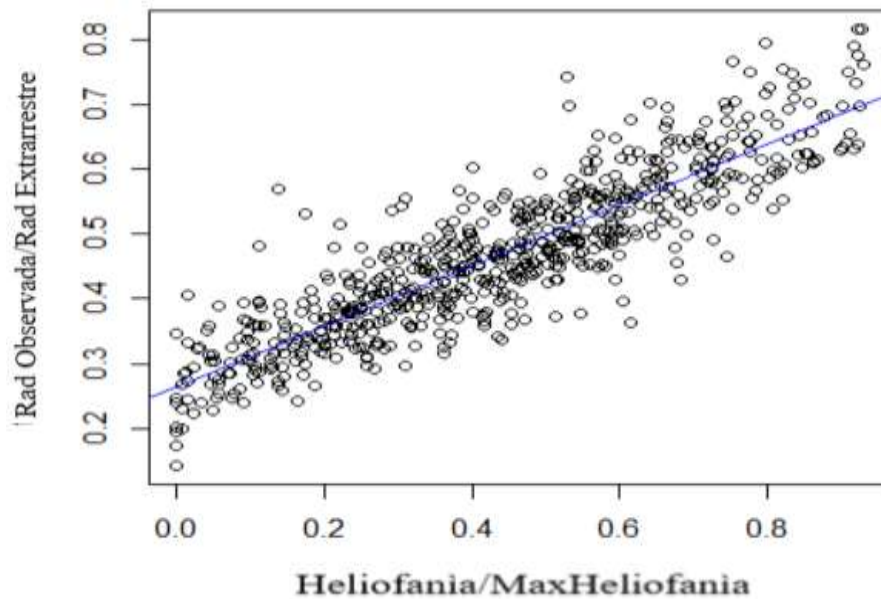
Elaborado por: Autores

10.4 Regresión lineal entre heliofanía y radiación global

De la estación M0003 se obtuvo mediante filtros y estadística datos confiables de radiación extraterrestre diaria y heliofanía diaria, se pudo relacionar con sus equivalentes que son radiación global terrestre y la cantidad máxima de horas sol registradas respectivamente. Este último dato se lo analizó desde el 01 de enero del año 1970 hasta el 31 de diciembre del 2015, en un período diario el cual arrojó un máximo de 11.9 (*horas /sol /día*) y que concuerda con la llamada heliofanía astronómica que depende de la ubicación de la estación en cuanto a la latitud que tiene un valor teórico de 12 horas. Para relacionarlos podemos imaginar que contamos con datos de heliofanía a nivel del suelo en comparación con el máximo valor de la heliofanía que se ha podido registrar históricamente es decir que durante 11.9 horas en un día en el que no han existido nubes que perturben la radiación solar en el punto de medida. Con esto tenemos una relación real con respecto a una heliofanía astronómica, por otro lado, tenemos la relación entre la radiación global medida en el sitio por el piranómetro W/m^2 y la radiación extraterrestre que al igual que la anterior resulta ser la real con respecto a una óptima y tenemos un coeficiente de correlación resultante de $R^2 = 0.8853 = 94,09\%$. La relación por lo que se decide tomar la ecuación lineal para realizar los cálculos, además de dos constantes **m** y **b** que en la ecuación de la recta representan la pendiente y el punto de corte en el eje “Y”, en la Figura 9 se detalla la ecuación de ajuste correspondiente y el coeficiente de determinación entre las dos variables por lo que la Ecuación 9.6, es la resultante lineal de la regresión entre la relación de la heliofanía, máxima de heliofanía y la radiación global, radiación extraterrestre.

$$y = 0.4665x + 0.2647 \quad (9.6)$$

Figura 9. Relación lineal entre heliofanía y radiación global de la estación Izobamba



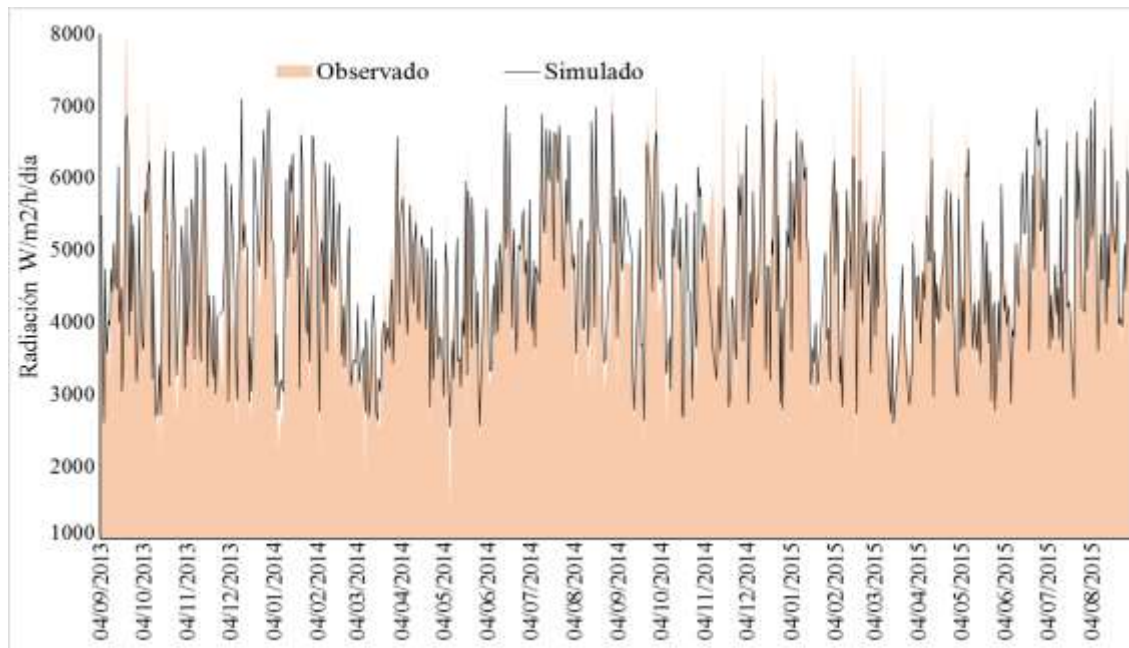
Elaborado por: Autores

10.5 Ecuación con el método Angstrom - Page

Se realizó el cálculo de la radiación de la estación Izobamba (M0003) con la Ecuación 9.7 con los datos válidos y completos de heliofanía que suman 662.

Se obtuvo la radiación global diaria de la estación M0003 mediante la Ecuación 9.8 de Angstrom - Page, como parte del proceso de este método fue necesario calcular la radiación extraterrestre para períodos diarios lo que conlleva conocer los valores de declinación solar, ángulo horario, distanciamiento de la tierra con el sol y la latitud de la estación, y los datos coincidentes entre el período del 04 de septiembre de 2013 hasta el 31 de agosto de 2015. Se observa en la Figura 10 los datos de la radiación global calculada mediante la ecuación Angstrom - Page, que tiene similitud con la radiación global medida con el piranómetro.

Figura 10. Radiación global calculada vs radiación global medida de la estación Izobamba (M0003)

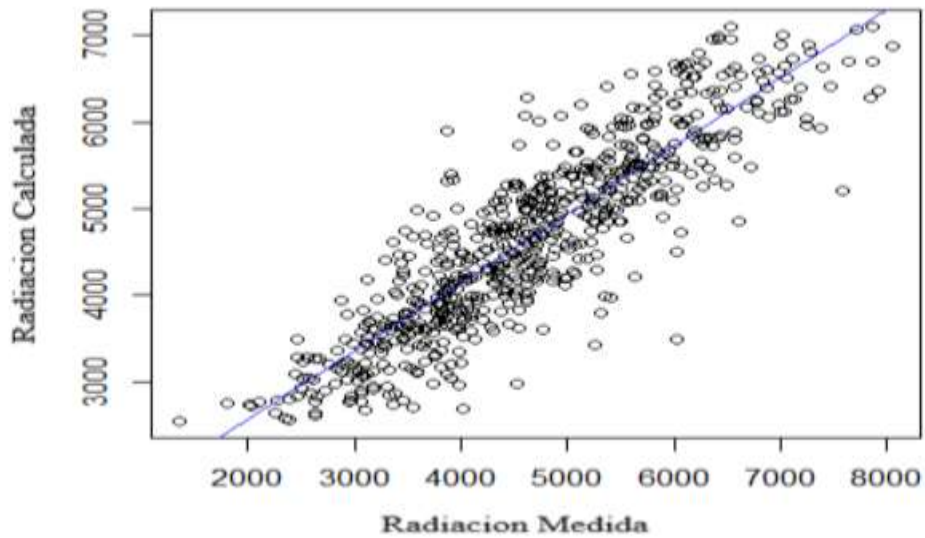


Elaborado por: Autores

Por otro lado, en la estación Izobamba (M0003), se graficó la relación lineal entre la radiación global diaria calculada con el método Angstrom - Page y la radiación medida facilitado por el INAMHI, donde se obtiene la pendiente $a= 987.59$ y el punto de corte en el eje Y $b= 0.78x$, como se puede apreciar en la Figura 11 donde el coeficiente de determinación de $R^2=0.8811$ y coeficiente correlación (r) 93.86%, indican que las variables están más cercanas a 1 y los datos son fiables, además se puede notar que la dispersión tiene linealidad.

$$y=0.78x+987.59$$

Figura 11. Regresión lineal entre Radiación calculada vs Radiación medida de la estación Izobamba (M0003)



Elaborado por: Autores

10.6 Validación de datos de radiación global diarios calculados y medidos (INAMHI)

En la figura 10 se analizan los datos de la estación Izobamba (M0003), del año 2013-2015 comparándose entre sí, la radiación medida por el piranómetro en $W/m^2/h/dia$ y la radiación calculada con el método de Angstrom - Page, aplicada a la heliofanía donde se obtuvieron los coeficientes (constantes empíricas) donde $a = 0.2647$ (pendiente) y $b = 0.4665$ (punto de corte en el eje Y), tienes una coeficiente de determinación de (R^2) de 0.8853 de correlación de (r) de 94.00%, las constantes están dentro de los rangos propuestos por Allen et al., (1998), cuyos valores son $a = 0.29$ y $b = 0.42$, según Baigorria et al., (2004) y a los planteados por Black et al., (1954), que son $a = 0.23$ y $b = 0.488$. También se obtuvo los coeficientes $a = 987.59$ (pendiente) $b = 0.78x$ (punto de corte en el eje Y). Se validó la radiación calculada con la medida mediante el coeficiente de determinación (R^2) de 0.8811 y una correlación (r) de 93.86%, por lo que se evidencia su fiabilidad y la dispersión lineal de datos, es decir, los datos calculados presentan similitud a los medidos por el INAMHI, además se puede ver el comportamiento de la variable conforme en el transcurso del tiempo.

10.7 Teoría del 5 % de la banda UV en Izobamba

Una vez obtenidos los datos de la radiación global a través de los datos de la heliofanía de la estación M0003, se pudo discriminar el porcentaje de UV-B de la radiación ultravioleta de la radiación global diaria, con el fin de comprobar la teoría del 5% relativo de la banda UV,

por lo tanto, se calculó el porcentaje de radiación ultravioleta con una regla de tres simple, como se visualiza a continuación en la Tabla 13.

La tabla 13 muestra el porcentaje de la radiación UV-B en las tres regiones continentales de Ecuador y se puede notar que esta entre el rango de $5 < UV < 7$. La estación Izobamba (M0003) que representa un 6.59% de la radiación UV-B calculado directamente con datos de radiación global facilitados por el INAMHI y un 6.79% con datos calculados a través del método Angstrom - Page, donde podemos notar que no está dentro del rango del 5% relativo de la banda UV de la teoría expuesta en Bolivia.

Tabla 13. Porcentaje relativo de la banda UV-B en Ecuador

Región	Estación	% relativo de la banda UV	
		Medido	Calculada
Sierra	M0003	6.59	6.79
Costa	M0168	5.19	
Amazonía	M0008	6.00	

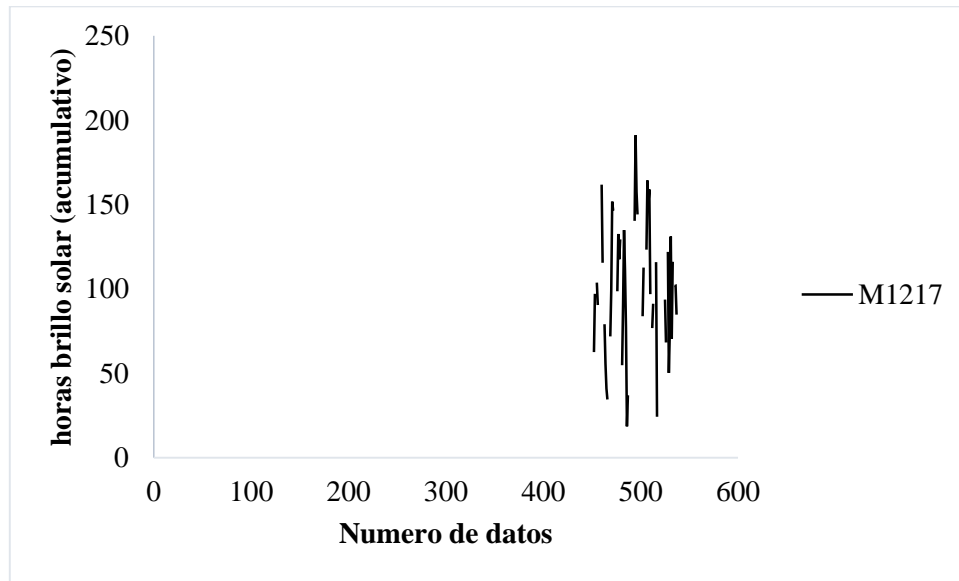
Elaborado por: Autores

10.8 Estación Bahía de Caráquez (M1217)

La heliofanía media de la estación Bahía de Caráquez fue 3.17 (*horas /sol /día*) y el comportamiento de esta variable en el transcurso del tiempo y la disponibilidad de datos del período 2007 - 2015, se muestra en la Figura 12. El valor máximo fue 10.33 (*horas /sol /día*) y el mínimo fue 0 (*horas /sol /día*).

Cabe mencionar que esta estación a pesar de disponer datos de la radiación global, no dispone de datos de la radiación UV, por ende, se consideró tomar solo datos de heliofanía y de la estación más cercana que es Pedernales (M0168) se tomaron datos de radiación global y datos de radiación UV.

Figura 12. Heliofanía de la estación Bahía de Caráquez (M1217)



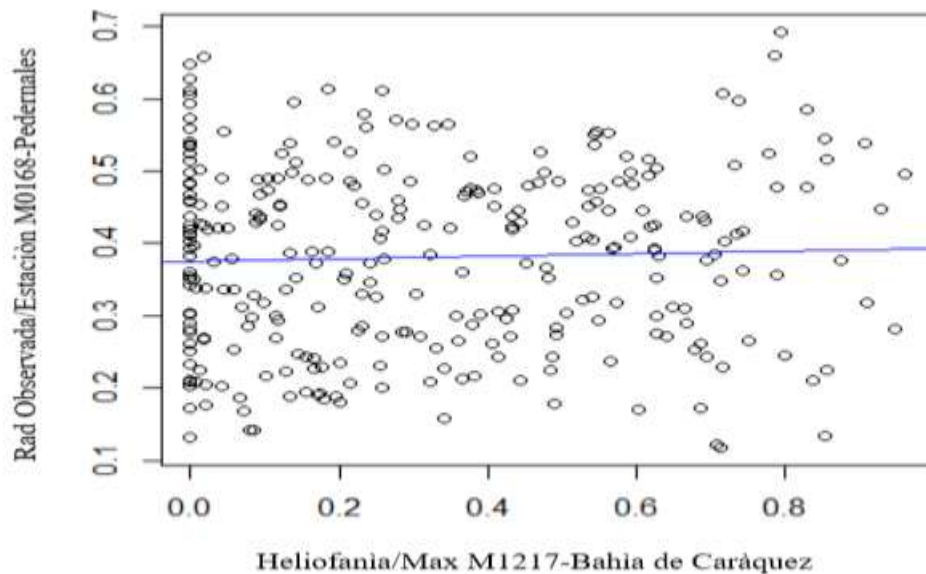
Elaborado por: Autores

10.8.1 Estación Pedernales (M0168)

Las estaciones Bahía de Caráquez (M1217) y Pedernales (M0168), son las más representativas de la región Costa, el proceso aplicado es el mismo que se utilizó en la estación meteorológica Izobamba (M0003).

Para esta estación se utilizó datos de la heliofanía de la estación Bahía de Caráquez (M1217) y datos de radiación global y radiación UV de Pedernales (M0168), para llevar a cabo este proceso se calculó la radiación extraterrestre para períodos diarios lo que conlleva conocer los valores de declinación solar, ángulo horario, distanciamiento de la tierra con el sol y la latitud de la estación. Posteriormente se realizó la regresión lineal obteniendo $a = 0.37$ (pendiente) y $b = 0.017$ (punto del corte del eje Y), esto indica que los coeficientes no están dentro del rango establecido por (Allen et al. 1998), cuyos valores son $a = 0.29$ y $b = 0.42$ según (Baigorria et al., 2004) y a los propuestos por (Black et al., 1954), que son $a = 0.23$ y $b = 0.48$, como se puede observar en la Figura 13 en la que se muestra el coeficiente de determinación $R^2 = 0.1220$ y correlación de 34.92 %, que indica el grado de similitud entre heliofanía y radiación global, es decir están más cercanas a 0, por ende no se puede calcular la Ecuación 9.7, ya que no se ajusta al modelo creado, esto se debe a la toma de datos de las diferentes estaciones mencionadas anteriormente y por la diferencia climática y geográfica de Ecuador (latitudes, altitudes, longitud, etc.), por lo expuesto, no se aplicó este modelo para la región Costa.

Figura 13. Regresión lineal entre heliofanía Bahía de Caráquez (M1217) y radiación global de Pedernales (M0168)



Elaborado por: Autores

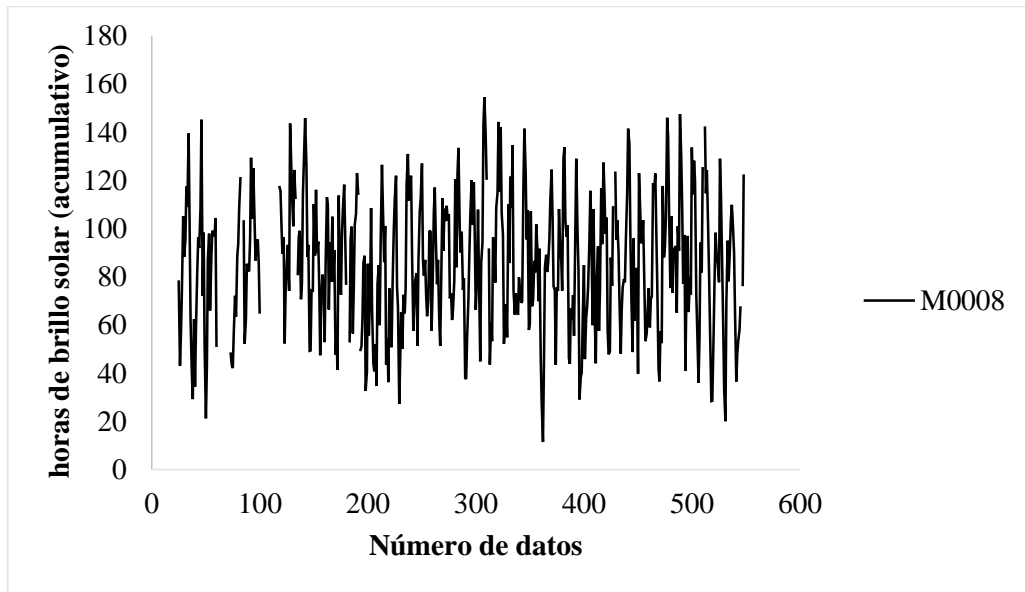
10.9 Teoría del 5 % de la banda UV de Pedernales

No se utilizó el modelo matemático, sin embargo, se calculó el porcentaje de la radiación UV-B con datos directos facilitado por el INAMHI, en la Tabla 13 muestra la radiación UV-B de la estación Pedernales (M0168) que solamente representa 5.19 % esto quiere decir, que está dentro del rango que este estudio ha establecido en Ecuador de $5 < UV < 7$ y según Francesco Zaratti & Ricardo Forno (2003) indica que está dentro de la teoría del 5% relativo de la banda UV, del libro de la radiación ultravioleta en Bolivia, es decir, en la región Costa indica que el porcentaje del 5% es semejante a la radiación en Bolivia.

10.10 Estación Puyo (M0008)

La heliofanía media de la estación Puyo fue 2.79 (*horas /sol /día*) y el comportamiento de esta variable en el transcurso del tiempo y la disponibilidad de datos del período 1972 - 2015, se muestra en la Figura 14. El valor máximo fue 11.20 (*horas /sol /día*) y el mínimo fue 0 (*horas /sol /día*).

Figura 14. Heliofanía de la estación Puyo (M0008)



Elaborado por: Autores

La estación Puyo (M0008), es una de las estaciones más importantes del Ecuador y de la región Amazónica, cuenta con la medición de varios instrumentos meteorológicos relevantes para el país, sin embargo, para este estudio cuenta con datos históricos de heliofanía pero solamente hasta el año 2015 y para llevar a cabo este proceso se necesita tener como mínimo hasta el año 2019, ya que no existe coincidencia de datos con la variable de radiación global porque se encuentran disponibles los datos del período 2016 al 2019.

Para la estación (M0008), se calculó la radiación extraterrestre para períodos diarios lo que conlleva conocer los valores de declinación solar, ángulo horario, distanciamiento de la tierra con el sol y la latitud de la estación y hasta aquí finiquita el proceso, ya que no existe coincidencia de las variables meteorológicas de heliofanía y radiación global, sin embargo, si se puede realizar el cálculo de la banda UV en Ecuador, con los datos proporcionados por el INAMHI.

10.11 Teoría del 5 % de la banda UV de Puyo

No se aplicó el método Angstrom - Page por la falta de información, sin embargo, se calculó el porcentaje de la radiación UV-B con datos directos facilitado por el INAMHI, en la tabla 13 muestra la radiación UV-B de la estación Puyo (M0008) representa 6.00%, esto indica que está dentro del rango establecido $5 < UV < 7$ en Ecuador, pero no está dentro del porcentaje expuesto en la teoría del 5% relativo de la banda UV en Bolivia.

El método Angstrom - Page, permitió crear un modelo de ecuación matemática para la estación meteorológica Izobamba (M0003), la estación más representativa, ya que es de primer orden en la región Sierra y Ecuador, cuenta con los mejores equipos y es precisamente de la base de datos disponibles que se empleó la información de heliofanía, radiación global y radiación UV-A, se usó los datos de las fechas coincidentes entre dichas variables meteorológicas, primeramente se coincidió heliofanía y radiación global y se obtuvo el período base de 04 de septiembre del 2013 hasta el 31 de agosto de 2015, lo cual corresponden a un total de 661 datos por ende se utilizó datos depurados y completos para obtener los coeficientes empíricos donde se obtuvieron valores de $a = 0.2647$ y $b = 0.4665$, el coeficiente b se encuentra relacionado con el valor de la radiación directa y en conjunto a y b se consideran constantes de regresión. Se verificó que las constantes se encuentran dentro del rango establecido por Allen et al. (1998), cuyos valores son $a = 0.29$ y $b = 0.42$ según Baigorria et al., (2004) y a los propuestos por Black et al., (1954), que son $a = 0.23$ y $b = 0.48$. Mientras que la radiación extraterrestre se calculó en un plano normal para comprobar el comportamiento anual de la misma, se puede observar en la Figura 6 para el cálculo de la modelación se utilizó la radiación diaria en $W/m^2/h/día$. Estos coeficientes son validados mediante el coeficiente de determinación (R^2) de 0.8811 y una correlación (r) de 93.86%, por lo que se evidencia su fiabilidad y la dispersión lineal de datos, es decir, los datos calculados presentan similitud a los medidos por el INAMHI, además se puede ver el comportamiento de la variable conforme en el transcurso del tiempo.

Por otro lado, para las estaciones Bahía de Caráquez (M1217) y Pedernales (M0168) de la región Costa y Puyo (M0008) en la región Amazónica no se puede aplicar este modelo, ya que en la región Costa, estación M1217 cuenta con datos de heliofanía y radiación global sin embargo no cuenta con los datos de radiación UV-A que es importante para comprobar la teoría del % relativo de banda UV, por tal razón se tomó la estación más cercana que es la estación M0168 que cuenta con los datos de radiación global y radiación UV-A, para llevar este proceso a cabo, se utilizó heliofanía de la estación M1217 y radiación Global y UV de la estación Pedernales, para comprobar su linealidad se determinó el coeficiente de determinación R^2 es 0.1220 y la correlación es 34.92% donde indica que las variables no están dentro del rango establecido por lo tanto no es fiable utilizar este modelo. Mientras que la estación M0008 ubicada en la región Amazonía no tiene datos coincidentes entre las variables meteorológicas utilizadas por ende este proceso no se pudo aplicar.

En cuanto a la comprobación de la teoría del 5% relativo de la banda UV en Ecuador, se calculó a través de una regla de tres simple con los datos proporcionados por el INAMHI y datos calculados a través de método Angstrom - Page. En la estación Izobamba (M0003), se obtienen los valores de 6.59% (medida) y 6.79% (calculada) de la radiación UV-B, mientras que para la región Costa y Amazonía se calculó la radiación UV-B con los datos proporcionados por el INAMHI representando el 5.19% para la estación (M0168) Pedernales y 6.00% para la estación Puyo (M0008). Esto quiere decir que el rango UV-B del Ecuador continental es de $5 < UV < 7$. Según los autores Zaratti Sacchetti & Forno Gisbert (2003), Wright (2010), Fanola & Peñaloza (2012) han establecido el porcentaje del 5% relativo de la banda UV-B, esto se debe a que la intensidad de la radiación UV en la superficie de la Tierra no es la misma en diferentes lugares, meses del año y las horas del día. También varía si el día es soleado o nublado, si la atmósfera es contaminada o limpia, si estamos en lugares con horizonte abierto o rodeados de cerros, si estamos en la nieve o en un prado verde, en sí varía de acuerdo al clima y la geografía de cada zona del país.

11 IMPACTOS

11.1 Impactos técnicos

El impacto que genera este estudio es positivo, puesto que no sería necesario tener un pirómetro o radiómetro en una estación meteorológica, solamente se necesitaría datos de heliofanía para obtener datos de radiación global y radiación UV, es decir bastaría con la aplicación del método Angstrom - Page y con los Scripts utilizados en el software R.

11.2 Impactos sociales

En la actualidad el INAMHI, que es el ente rector de información hidrometeorológica, no dispone de datos históricos de radiación global y radiación UV, para los usuarios de instituciones públicas y privados, puesto que apenas desde el año 2013, se han generado datos de estas variables meteorológicas y con este estudio se puede crear una base de datos de radiación a partir de datos heliofanía y el método Angstrom - Page.

Por otro lado, tiene importancia para la salud, ya que se generó una referencia del porcentaje de radiación UV, que tiene cada región continental del Ecuador por ende se puede tomar precauciones sobre la sobreexposición a la radiación UV al momento de asistir a cualquier provincia del país y reducir las posibilidades de tener problemas de salud relacionados con el sol.

11.3 Impactos ambientales

El impacto ambiental de esta investigación es positivo, ya que se puede conocer las zonas de mayor influencia tanto de radiación global como radiación UV, esto es de gran importancia, puesto que los efectos de la radiación en la flora y fauna son negativos en algunas ocasiones. Según Idesia (2009) considera que la luz es uno de los factores más importantes que regulan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo, el aumento de la radiación ultravioleta-B debido a la acción antropogénica puede tener un impacto negativo en estas, provocando una disminución de la fotosíntesis y de la producción de biomasa. Esta radiación puede además causar daño en distintas biomoléculas, entre la cuales la más importante es el DNA. En la fauna también existen decadencias en la salud al estar expuestos los animales a altas temperaturas. Según Olearte (2019) mencionan que la luz solar es necesaria para todos los organismos vivos que habitan el planeta Tierra, pero debido a la contaminación ambiental, se ha generado un cambio climático a nivel mundial, que ha afectado a los seres vivos debido

al desgaste en la capa de ozono, la cual es importante para evitar el paso de la radiación ultravioleta (UV); esta afecta principalmente a los animales domésticos que están en contacto directo con ella, provocándoles lesiones cutáneas, tumoraciones ópticas, estrés térmico o incluso la muerte. La luz UV produce en la piel estrés oxidativo, el cual se da por una excesiva producción de especies reactivas del oxígeno (ERO), que pueden dañar a la célula causando envejecimiento celular o cáncer. Los antioxidantes neutralizan a estos agentes lesivos, pero van disminuyendo su actividad con la edad y el estado metabólico del organismo.

11.4 Impactos económicos

Con la conversión de los datos de heliofanía a radiación solar mediante el método Angstrom - Page y posterior derivación del porcentaje de radiación UV, se obtienen estas variables meteorológicas a través de la ecuación matemática creada, es decir con este proceso se puede omitir la compra de equipos meteorológicos automáticos.

12 PRESUPUESTO

Tabla 14. *Presupuesto de la elaboración del proyecto*

Recursos	Descripción	Unidades	Valor unitario	Valor total
Tecnológico	Computadora	800 horas	\$ 0.60	\$ 400.00
Oficina	Impresiones	200 hojas	\$ 0.15	\$ 30.00
	Libretas	2	\$ 1.25	\$ 2.50
	Esferográficos o lápices	4	\$ 1.00	\$ 4.00
Bibliográfico	Borradores	2	\$ 0.50	\$ 1.00
	Empastado	1	\$ 5.00	\$ 5.00
	Datos de heliofanía	135 años	\$ 8.00	\$ 1080.00
	Datos de radiación solar global	32 años	\$ 8.00	\$ 256.00
Otros	Datos de radiación UV	16 años	\$ 8.00	\$ 128.00
	Capacitación de software R	200 horas	\$ 10.00	\$ 100.00
	Transporte	50	\$ 0.30	\$ 15.00
	Alimentación	50	\$ 3.00	\$ 150.00
SUBTOTAL				2171.5
10% IMPREVISTOS				217.5
TOTAL				2388.65

Elaborado por: Autores

13 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- a. Se recolectaron, analizaron y filtraron los datos de heliofanía, radiación global y radiación UV. La región Sierra representado por la estación Izobamba (M0003) presentó los valores medios más altos de heliofanía (5,17 horas /sol /día), radiación global diaria (4665.88W/m²/h/día) y radiación UV-A (313.94 W/m²/h/día) comparados con la región Costa y Amazonía para el período comprendido entre el 04 de septiembre de 2013 hasta el 31 de agosto de 2015.
- b. Se determinó la radiación global en función de la heliofanía en la estación Izobamba (M0003) en la región Sierra, con la herramienta estadística de una regresión lineal simple que provee las constantes empíricas a través de un modelo matemático donde a fue 0.2647 y b fue 0.4665 y posteriormente se aplicó en el método Angstrom - Page (Ecuación 10.7) que transforma la heliofanía de horas brillo solar en radiación solar global incidente. Este modelo se replicó en la Región Costa y Amazonía, sin embargo en la Región Costa no existe coeficiente de correlación entre los datos de la estación Bahía de Caráquez (heliofanía) y la estación Pedernales (radiación global), es decir no tiene linealidad, ya que el coeficiente de determinación (R^2) de 0.1220 y una correlación (r) de 34,93%, por lo tanto no es fiable y no se aplicó el método mencionado, mientras tanto en la región Amazónica no existe coincidencia de datos entre heliofanía y radiación global de la estación Puyo, por lo tanto no se pudo realizar el respectivo proceso.
- c. Se determinó el porcentaje de radiación UV-B, con los datos de radiación global calculados a través del método Angstrom - Page con 6.79% y datos de radiación UV-A proporcionados por el INAMHI con 6.59% en la región Sierra estación Izobamba (M0003), mientras en las regiones Costa y Amazonía se determinó con los datos proporcionados por el INAMHI, teniendo en la estación (M0168) Pedernales 5.19 % y en la estación Puyo (M0008), 6.00 % es decir, solamente la estación Pedernales está dentro del rango de la teoría expuesta, ya que en las otras estaciones el porcentaje se encuentra de $5 < UV < 7$ de la banda UV-B del Ecuador.

RECOMENDACIONES

- a. Este estudio debe ser aplicado en una misma estación tanto convencional como automática, ya que si se aplican en diferentes estaciones aun perteneciendo a una misma región puede tener un coeficiente de correlación muy bajo debido a la variable geografía que tiene Ecuador.
- b. El proceso aplicado fue factible para la estación Izobamba, sin embargo, debería aplicarse en cada estación meteorológica convencional y automática del país, para tener una referencia histórica de cómo ha ido evolucionando la radiación situada en cada región del Ecuador.
- c. Debido a que el ciclo solar tiene forma sinusoidal y cambia aproximadamente cada 11 años este estudio necesitó como mínimo 5 años de datos de heliofanía y radiación global, 3 años para aplicar el método de Angstrom - Page y 2 años para su validación, y de tal forma transformar los datos históricos de heliofanía en radiación global a través del modelo de ecuación, sin embargo, el INAMHI no dispone de datos de heliofanía para poder completar el proceso.

14 REFERENCIAS

- Academia Nacional de Ciencias. (10 de 04 de 2017). *Sol Cenital en Costa Rica*. Obtenido de <http://www.cientec.or.cr/articulos/sol-cenital-en-costa-rica>
- Antonio Javier Cortés Aguilera, J. E. (2011). El índice ultravioleta en el ámbito laboral: un instrumento educativo. *Revista Analytics*, 255.
- Apaza, R. C. (1 de 1 de 2017). *Academia*. Obtenido de http://www.academia.edu/13555068/La_energia_solar_fotovoltaica
- Barrera, M. F. (2010). *Energía Solar- Eledctricidad Fotovoltaica*. Madrid: Liberfactory.
- Bautista, I. (2016). Cálculo de la radiación solar extraterrestre en fucion de la latitud y la declinación solar. *Universitat Politècnica de Valencia*, 2-3.
- Berg, H. S. (01 de 01 de 2017). *DeltaVolt*. Obtenido de <http://deltavolt.pe/calculo-solar>
- Camayo, L. (2019). Estimación de la radiación solar global, mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow-Campbell en la región Junín, Perú. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*.
- Carballo, G. (2016). La importancia del uso de paneles solares en la generación. *Revista electrónica* , 1-4.
- Cardenas, D. (2010). Diseño, construcción e implementación de un mecanismo localizador solar automático, montado en un sistema fotovoltaico para mantener la carga de una batería automotriz. *TESIS DE GRADO PARA LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO EN MECANICA AUTOMOTRIZ*.
- Castro, M., & Colmenar, A. (2004). *Energía Solar Térmica de Baja Temperatura*. Madrid: CENSOLAR.
- CONELEC. (2006). *Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica*. Quito: CIE.
- CONICET. (2014). DETERMINACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR HORARIA PARA DÍAS CLAROS MEDIANTE PLANILLA DE CÁLCULO. *Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta, organismo financiador.*, 3.
- Constante, J., & Palacios, E. (2014). *El Recurso Solar Para la Generación de Energía*. Quito: ABYAYALA.
- Contreras, W. (2018). Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta. *Entre Ciencias e Ingenieria*, 5.
- Cortes Aguilera, J. A. (2011). El índice ultravioleta en el ámbito laboral: un instrumento educativo. *Medicina y Seguridad del Trabajo*.

- Cortés, A., & Polo, K. (2013). Energías Tecnología. *I.E.D Marruecos y Molinos Tecnología*, 62.
- Crazycalculations. (1 de Enero de 2017). *Crazycalculations*. Obtenido de http://crazycalculations.com/solar_power/index_sp.php
- Duffie, J., & Beckman, W. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Wisconsin: ISBN.
- Elías, X., & Bordas, S. (2011). *Energía, agua, medio ambiente, territorialidad y sostenibilidad*. Madrid: Diaz de Santos.
- Falcón, N., Peña, F., Mavo, H., & Muñoz, R. (2001). Irradiación solar global en la ciudad de Valencia. *Revista INGENIERÍA UC*, 3-4.
- Fanola, L., Guzmán, D., & Peñaloza, M. (2012). MEDIDAS DE RADIACIÓN ULTRA VIOLETA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE SICA SICA. *Revista Boliviana de Física*.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo*. Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Roma, Italia: publicación N° 24 de la Serie de Riego y Drenaje de la FAO.
- Fluke. (2014). *Manual de usuario Fluke 287*. Washington: Fluke.
- Freire, D. X. (2010). Diseño, construcción e implementación de un mecanismo localizador solar. 27.
- Gallegos, G. (2002). ACERCA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA HELIOFANÍA EN ARGENTINA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.*, 37-38.
- García, J. (Diciembre de 2016). Indices de comportamiento del sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica y teoría de errores. *Tecnología Química.*, pág. 10.
- García, M., & Pérez, A. (2015). CLIMA Y RADIACIÓN SOLAR EN LAS GRANDES CIUDADES. *Investigaciones Geográficas*, págs. 165-175.
- Gastelo Roque, J. A., Morales Acevedo, A., & Tineo Soto, J. E. (2017). Estimación de la radiación solar diaria y ángulos de inclinación óptimos para Lambayeque (Perú) utilizando el modelo de Hargreaves-Samani. *Revista de Investigación Científica*, 4-5.
- Gastelo, J. (2017). Rev. Ciencia, Tecnología y Humanidades. *Revista de Investigación Científica*, 5-6.
- Gómez Sarduy, J. R., & Puerta Fernández, J. F. (2015). Direct and diffuse solar radiation determination at the Venezuelan seashore by using meteorological variables. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 9-10.
- Gonzales, G. (2016). Radiaciones ultravioletas como factor de riesgo vinculado a la génesis del pterigión en trabajadores expuestos. *Revista Cubana de Enfermería*, 2-4.
- Grossi, H., & Righini, R. (2010). Atlas de Energía solar de la República Argentina. *Atlas Solar*.

- Idesia, A. (2009). EFECTO DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN PLANTAS. *Idesia*.
- Jaen, U. d. (1 de 11 de 2011). *Naturaleza de la radiación solar*. Obtenido de Componentes de la radiación: https://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/02_radiacion/01_basico/2_radiacion_08.htm
- Kalogirou, S. A. (2009). *Solar Energy Engineering*. Cyprus: Elsevier.
- Kipp&Zonen. (2012). *Manual CMP6*. Suiza: Kipp&Zonen B.V.
- L, C. (2019). Estimación de la radiación solar global, mediante temperaturas extremas, aplicando el modelo Bristow-Campbell en la región Junín, Perú. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*.
- LESLIE K. FANOLA G.t, D. G. (2012). MEDIDAS DE RADIACIÓN ULTRA VIOLETA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE SICA SICA. *Revista Boliviana de Física v.21 , n.21*.
- Martin Leon, F. (2014). Los períodos de referencia climáticos de 30 años y la OMM. *Organizacion Meteorologica Mundial*.
- Martínez, M. (2016). RADIACIÓN SOLAR – CONCEPTOS Y APLICACIONES. *Informativo Inian Ururi*, 1-2.
- Martinez, R., & Seisdedo, A. (Septiembre- Octubre de 2017). El procesamiento estadístico con R en la investigación científica. *Medisur*, pág. 5.
- Meizoso Lopez, M. (2012). Distribución de la Irradiación Solar Global directa y difusa, en la Ciudad de A Caruña. *A Caruña, España*.
- Mirabal, M. (2010). R: Una herramienta poco difundida y muy útil para la investigación clínica. *Instituto "Finaly"*.
- Miranda, J. (1 de 1 de 2017). *La web de las energías renovables*. Obtenido de <http://www.lawebdelasenergiasrenovables.com/radiacion-solar>
- Muller, D. A. (2013). Heliógrafos Tipo Campbell-Stokes. *METEOROLOGISCHE INSTRUMENTE KG* , 2-3.
- Olearte, M. (2019). Efecto de la radiación ultravioleta (UV) en animales domésticos. . *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*.
- Organización Mundial de Meteorología. (2000). *Guía del sistema mundial de proceso de datos*. OMM.
- Organización Mundial de Meteorología. (2000). *Guía del sistema mundial de proceso de datos 305*. Génova: OMM.

- Organización Mundial de Meteorología Guía 8. (2014). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*. Génova: OMM.
- Ospino, V. M., & Isaza, L. (2016). Manual de Implementación de Energía Solar Fotovoltaica en Viviendas "ECO". *Universidad Católica de Colombia*, 75.
- Pareja, A. M. (2015). *Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada*. Madrid: MARCOMBO.
- Pettazzi, A., & Gonzalez Souto, J. (2009). MEDIDAS OPERATIVAS DERIVADAS DE UN RADIOMETRO. *MeteoGalicia-Centro de Desenvolvimento Sostible*, 35.
- Prescott, J. (1940). Evaporation From Water Surface in Relation to Solar Radiation. *Transaction of the Royal Society of South Australia*.
- Raichijk, C., Grossi Gallegos, H., & Righini, R. (2005). Evaluacion de un metodo alternativo para la estimacion de valores medios. *Avances en Energias Renovables y Medio Ambiente*.
- Ramírez, L., Mora, L., Sidrach, M., Navarro, A., Varela, M., & De la Cruz, M. (2003). *Radiación Global en la España Peninsular a Partir de Imágenes de Satélite*. Madrid: Informes Técnicos Ciemat.
- Rios , A. (2001). *El sol, la radiación Guia Sun wise*. Estados Unidos: Agencia de protección ambiental.
- Rodriguez Mucias, H. (30 de Enero de 2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de ingeniería. Universidad de los Andes*, págs. 13-15.
- Rodríguez, H. G. (01 de 01 de 2017). *Ingemecánica*. Obtenido de Tutorial N° 192: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html>
- Roman Diez, R. (2010). Efectos de los componentes atmosféricos sobre la radiación eritemática y modelo propuesto para la reconstrucción de series. . *Universidad de Valladolid, Laboratorio de Atmósfera y Energía, Departamento de Física Aplicada*.
- Saez, A. (2010). *Métodos Estadísticos R Commander*. España: Departamento de Estadística e Investigación Operativa.
- Stackhouse, P. (1 de 11 de 2012). *Atmosferic science data center*. Obtenido de <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi>
- Torre Nieto, A., & Villate Bonilla, E. (1997). *Topografía*. Bogota: Norma derechos reservados.
- Torrez, R., Burgoa, A., & Ricaldi, E. (2013). MODELOS DE ESTIMACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR. *Revista Boliviana de Física v.23* , pp.23.
- Varo Martinez, M. (2006). Modelización de la radiación ultravioleta solar.

- Wright Gilmore, J. (2010). MEDICIÓN Y PREDICCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL UV-B BAJO CIELOS CLAROS Y SIN NUBE. *UNICIENCIA 24*, Departamento de Física, Universidad Nacional.
- Wright, J. (2010). MEDICIÓN Y PREDICCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL UV-B BAJO CIELOS CLAROS Y SIN NUBES. *UNICIENCIA 24*, 111-117.
- Zaratti Sacchetti , F., & Forno Gisbert, R. (2003). *La Radiacion Ultravioleta en Bolivia*. La Paz-Bolivia: Primera Edicion.
- Zuleta, D., & Lema, C. (2015). SOLMÁFORO (SEMÁFORO SOLAR): MODELO AMBIENTAL DE ALERTA POR EXPOSICION A LA RADIACION SOLAR EN QUITO. *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO*.
- Idesia. (2009). Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. Chile. Volumen 27, páginas 59-76

15 ANEXOS

15.1. Certificado de Aval de traducción



UNIVERSIDAD
TÉCNICA DE
COTOPAXI



CENTRO
DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la tesis al Idioma Inglés presentado por las señoritas: **CHIGUANO VALDIVIEZO SHIRLEY GHISELL Y TIGASI GUAMANGATE JENNY MARITZA** Egresados de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Carrera de Ingeniería en Medio Ambiente cuyo título versa **"ANÁLISIS Y CONVERSIÓN DE HELIOFANÍA A RADIACIÓN SOLAR GLOBAL Y DERIVACIÓN A RADIACIÓN ULTRAVIOLETA EN LAS TRES REGIONES CONTINENTALES DEL ECUADOR, 2020"** lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a las peticionarias hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente

Latacunga, septiembre del 2020

Atentamente

Lcd. Collaguazo Vega Wilmer Patricio Mg. C.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
CC. 1722417571



Latacunga Ecuador

Av. Simón Bolívar 153 - Entre El Triunfo / San Felipe, Tel: 071 2727486 - 2624337 - 2624205

15.2. Scripts elaborados en el Software de Análisis Estadístico R

a. Valores de análisis exploratorio de datos y códigos

```
#suma de los vacios NAs
Num_NA_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) sum(is.na(x)))
View(Num_NA_hf)

#maximo de heliofania de estaciones
Max_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
View(Max_hf)

#minimo de estaciones
Min_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
View(Min_hf)

#media
media_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
View(media_hf)

#mediana
mediana_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) median(x,na.rm =TRUE))
View(mediana_hf)

#desviacion estandar
ds_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_hf)

#CV
CV <- ds_hf/media_hf
View(CV)

#moda
moda_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) mode(x))
View(moda_hf)
```

b. Análisis exploratorio de datos de la radiación UV

```
Num_NA_rsg<-apply(zoo_RUV_diario, 2, function(x) sum(is.na(x)))
View(Num_NA_rsg)

#maximo de heliofania de estaciones
Max_coin_uv<-apply(zoo_RUV_diario, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
View(Max_coin_uv)

#minimo de estaciones
Min_coin_uv<-apply(zoo_RUV_diario, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
View(Min_coin_uv)

#media
media_coin_uv<-apply(zoo_RUV_diario, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
```

```
View(media_coin_uv)
#desviacion estandar
ds_coin_uv<-apply(zoo_RUV_diario, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_coin_uv)
#CV
CV_uv<- ds_coin_uv/media_coin_uv
View(CV_uv)
```

c. Heliofanía

```
install.packages("Hmisc")
install.packages("zoo")
install.packages("xts")
library(zoo)
library(xts)
library(Hmisc)

#abrir archivo de heliofania diaria

Heliofania<-read.csv('heliofania.csv',stringsAsFactors = F)
View(Heliofania)
helio <-Heliofania[1:1297,9:42]
View(helio)
##helio_mod<-helio[-which(helio$mes<1),]

cod<-c('M0003','M0008','M0168','M1217')

helio_mod<-helio[which(!is.na(match(helio$codigo,cod))),]

zoo_hfttotal<-zoo(NA,seq.Date(as.Date('1970-01-01'),as.Date('2015-12-31'),by='day'))

#Abrir el csv para colocarlo en un zoo, las columnas son las estaciones y las filas las fechas

for (i in 1:length(cod)){
  #seleccionar una estacion, se almacena en una variable temporal
  temp<-subset(helio_mod,codigo %in%cod[i])

  #data frame vacio para almacenar toda la información de la estación
  df_est<-NULL
  for (j in 1:nrow(temp)){

    #data frame temporal para almacenar las variables de cada mes
    df_temp1<-NULL

    ##fecha para determinar cuántos días tiene cada mes
    fecha0<-as.Date(paste(temp$anio[j],temp$mes[j],1,sep='-'))

    ##valor hasta el cual debe llegar el contador para leer los dias de cada mes
    a<-monthDays(fecha0)
```

```

for (k in 1:a){

  ##crear variable de fecha
  fecha<-as.Date(paste(temp$anio[j],temp$mes[j],k,sep='-'))

  ##obtener el valor de heliofanía para fecha
  HF<-temp[j,k+3]

  ##colocar los valores en data frame temporal hasta completar el mes
  df_temp1<-rbind(df_temp1,data.frame(fecha,HF))
}

##para dar seguimiento a la corrida del código
print(paste(i,' ',cod[i],' ',fecha))

##para unir los valores de todos los meses en el data frame
df_est<-rbind(df_est,df_temp1)

##transformar en tipo zoo
zoo_est<-zoo(df_est$HF,df_est$fecha)
}
View(zoo_est)
#unir en el zoo total estaciones
zoo_hftotal<-merge(zoo_hftotal,zoo_est)
}
View()
# cambiar nombre de las estaciones
colnames(zoo_hftotal)<-c('NA','M0003','M0008','M0168','M1217')
View(zoo)

#Eliminar columna NA
zoo_hf_diario=zoo((zoo_hftotal[,-c(1)]))
View(zoo_hf_diario)
sum(zoo_hf_diario$M0003)
#suma de los vacios NAs
Num_NA_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) sum(is.na(x)))
View(Num_NA_hf)
#maximo de heliofanía de estaciones
Max_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
View(Max_hf)
#minimo de estaciones
Min_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
View(Min_hf)
#media
media_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
View(media_hf)
#mediana
mediana_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) median(x,na.rm =TRUE))
View(mediana_hf)
#desviacion estandar

```

```

ds_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_hf)
#CV
CV <- ds_hf/media_hf
View(CV)
#moda
moda_hf<-apply(zoo_hf_diario, 2, function(x) mode(x))
View(moda_hf)
#dimensiones
dim(zoo_hf_diario)
#numero de filas
nrow(zoo_hf_diario)

# Acumular de nivel diario a mensual
#de paquete xts
zoo_hf_acum_mensual<-apply.monthly( zoo_hf_diario,colSums)
View(zoo_hf_acum_mensual)

plot(zoo_hf_diario$M0003)
write.zoo(zoo_hf_diario$M0003,"zoo_hf_diario$M0003.csv")

### promedio de Acumular de nivel diario a mensual
apply(zoo_hf_acum_mensual, 2, function(x) mean(x,na.rm =T))
# grafico de la informacion mensual de cada estación
plot(zoo_hf_acum_mensual)

#grafica de estacion Izobamba M0003
plot(zoo_hf_acum_mensual$M0003)
#grafica de estacion bahia de caraquez
plot(zoo_hf_acum_mensual$M1217)
#grafica de estacion bahia de caraquez
plot(zoo_hf_acum_mensual$M0008)

#guardar la gráfica Izobamba
pdf(file="zoo_hf_acum_mensual_pdf")
plot(zoo_hf_acum_mensual$M0003)
dev.off()
write.zoo(zoo_hf_acum_mensual$M0003,"zoo_hf_acum_mensual$M0003.csv")
# Guardar en R.data los zoo
save(zoo_hf_diario,file='zoo_hf_diario.RData')
View(zoo_hf_diario)

```

d. Radiación solar global

```

library(xts)
library(Hmisc)
library(zoo)

###crear zoo de la estación M0003_RSG

```

```

zoo_M0003_RSG <- read.zoo('M0003_RSG.csv',index.column=1, sep = ",", header=TRUE,
format='%d/%m/%Y %H:%M',FUN=as.POSIXct)
View(zoo_M0003_RSG)

#crear zoo de estaciones M0008_RSG
zoo_M0008_RSG <- read.zoo('M0008_RSG.csv',index.column=1, sep = ",", header=TRUE,
format='%d/%m/%Y %H:%M',FUN=as.POSIXct)

#crear zoo de estaciones M0168_RSG
zoo_M0168_RSG <- read.zoo('M0168_RSG.csv',index.column=1, sep = ",", header=TRUE,
format='%d/%m/%Y %H:%M',FUN=as.POSIXct)

#crear zoo de estaciones M1217_RSG
zoo_M1217_RSG <- read.zoo('M1217_RSG.csv',index.column=1, sep = ",", header=TRUE,
format='%d/%m/%Y %H:%M',FUN=as.POSIXct)

#####libreria xts

## ultimo día de las estaciones
last(zoo_M0003_RSG)
last(zoo_M0008_RSG)
last(zoo_M0168_RSG)
last(zoo_M1217_RSG)
rm(crear_funcion)
#### fijamos el día de inicio y el ultimo día
zoo_NA<-zoo(NULL,seq.POSIXt(as.POSIXct('2013-05-01 00:00'),as.POSIXct('2019-12-31
23:00'),by='hour'))

#### unimos con merge.zoo todas las estaciones con el zoo_NA
zoo_compl_merge<-
merge.zoo(zoo_NA,zoo_M0003_RSG,zoo_M0008_RSG,zoo_M0168_RSG,zoo_M1217_RS
G)
first(zoo_M0008_RSG)
save(zoo_compl_merge,file='merge_compl_merge.RData')
View(zoo_compl_merge)

###trabajamos con datos diarios
zoo_diario<-apply.daily(zoo_compl_merge,colSums)
View(zoo_diario)

#### seleccionar las horas a trabajar
vec<-0:23
View(vec)
vec>5
vec<19
vec[vec>5 & vec<19]
#####seleccionamos desde las 6:00 am a 18:00 pm
zoo_RSG_horario <- zoo_compl_merge [c(vec>5 & vec<19)]
View(zoo_RSG_horario)
save(zoo_RSG_horario,file='zoo_RSG_horario.RData')

```

```
#####APLICAR apply.daily diarios y horas a trabajar
zoo_RSG_diario <- apply.daily(zoo_RSG_horario,colSums)
View(zoo_RSG_diario)
index(zoo_RSG_diario)<-as.Date(index(zoo_RSG_diario))
index(zoo_RSG_diario_angstrom)<-as.Date(index(zoo_RSG_diario_angstrom))
save(zoo_RSG_diario,file='zoo_RSG_diario.RData')
nrow(zoo_RSG_diario)
```

```
###estadística básica de rsg
Num_NA_rsg<-apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) sum(is.na(x)))
View(Num_NA_rsg)
#máxima de radiación solar global
Max_rsg<-apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
View(Max_rsg)
#mínimo de radiación solar global
Min_rsg<-apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
View(Min_rsg)
#media de radiación solar global
media_rsg<-apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
View(media_rsg)
#mediana de radiación solar global
mediana_rsg<-apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) median(x,na.rm =TRUE))
View(mediana_rsg)
#desviación estándar
ds_rsg<-apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_rsg)
#moda de radiación solar global
moda_rsg<-apply(zoo_RSG_diario, 2, function(x) mode(x))
View(moda_rsg)
```

e. Cálculo de constantes Izobamba

```
library(zoo)
library(xts)

#1.ecuación de la radiación extraterrestre constante
dia_juliano_fao<- data.frame(n=1:365)
View(dia_juliano_fao)
class(dia_juliano)
dia_juliano_fao$constante <- 1366*(1+0.034*cos(360*dia_juliano_fao$n/365*pi/180))

#grados a radianes
x=60*pi/180
View(x)
cos(x)
plot(x=dia_juliano_fao$n,y=dia_juliano_fao$constante)

#crear zoo de la constante RSE
```

```

dia_ano<-(dia_juliano_fao[,c(2)])
fechai <- as.Date("2013-01-01")
fechaf <- as.Date("2015-12-31")
fecha <- seq.Date(fechai,fechaf,by="days")
radiacion_extraterrestre<-zoo(dia_ano,fecha)
View(radiacion_extraterrestre)

####ECUACIÓN SEGÚN LA FAO
### latitud izobamba
latitud_Izobamba <-(-0.36)

dia_juliano_fao$declinacion_solar<-((23.5*cos((360*(dia_juliano_fao$n-172))/365))*pi)/180

dia_juliano_fao$angulo_horario<-acos(-
tan(latitud_Izobamba*pi/180)*tan(dia_juliano_fao$declinacion_solar))

# según la FAO distanciamiento
dia_juliano_fao$distanciamiento<-1+0.033*cos(2*pi*(dia_juliano_fao$n/365))

dia_juliano_fao$Ra<-
24*60/pi*0.082*(dia_juliano_fao$distanciamiento)*(dia_juliano_fao$angulo_horario*(sin(latitud_Izobamba*pi/180)*sin(dia_juliano_fao$declinacion_solar))+cos(latitud_Izobamba*pi/180)*cos(dia_juliano_fao$declinacion_solar))*sin(dia_juliano_fao$angulo_horario))

dia_juliano_fao$ho_horaria_dia <- dia_juliano_fao$Ra*277.8

#crear zoo de la constante RSE
dia_A<-(dia_juliano_fao[,c(1,3,4,5,6,7)])
fechai <- as.Date("2013-01-01")
fechaf <- as.Date("2015-12-31")
fecha <- seq.Date(fechai,fechaf,by="days")
datos_HO<-zoo(dia_A,fecha)
View(datos_HO)

f. Cálculo de constantes bahía de Caráquez
library(zoo)
library(xts)

#1.ecuacion de la radiación extraterrestre constante
N_dia_juliano_1217<- data.frame(n=1:365)
View(N_dia_juliano_1217)
class(dia_juliano)
N_dia_juliano_1217$constante <-
1366*(1+0.034*cos(360*N_dia_juliano_1217$n/365*pi/180))

#grados a radianes
x=60*pi/180
View(x)
cos(x)
plot(x=N_dia_juliano_1217$n,y=N_dia_juliano_1217$constante)

```

ECUACIÓN SEGÚN LA FAO

latitud izobamba

latitud_Bahia_Caraquez_PUCE <-(-0.65)

$$N_dia_juliano_1217\$D_solar_1217 <- ((23.5 * \cos((360 * (N_dia_juliano_1217\$n - 172)) / 365)) * \pi) / 180$$

$$N_dia_juliano_1217\$angulo_H_1217 <- \arccos(-\tan(\text{latitud_Bahia_Caraquez_PUCE} * \pi / 180) * \tan(N_dia_juliano_1217\$D_solar_1217))$$

según la FAO distanciamiento

$$N_dia_juliano_1217\$Distancia_Tierra_Sol_1217 <- 1 + 0.033 * \cos(2 * \pi * (N_dia_juliano_1217\$n / 365))$$

$$N_dia_juliano_1217\$Radiacion_Diaria_1217 <- 24 * 60 / \pi * 0.082 * (N_dia_juliano_1217\$Distancia_Tierra_Sol_1217) * (N_dia_juliano_1217\$angulo_H_1217 * (\sin(\text{latitud_Bahia_Caraquez_PUCE} * \pi / 180) * \sin(N_dia_juliano_1217\$D_solar_1217)) + (\cos(\text{latitud_Bahia_Caraquez_PUCE} * \pi / 180) * \cos(N_dia_juliano_1217\$D_solar_1217)) * \sin(N_dia_juliano_1217\$angulo_H_1217))$$

$$N_dia_juliano_1217\$HO_horaria_dia_1217 <- N_dia_juliano_1217\$Radiacion_Diaria_1217 * 277.8$$

#crear zoo de la constante RSE

dia_Ano_1217 <- (N_dia_juliano_1217[,c(1,3,4,5,6,7)])

fechai <- as.Date("2013-01-01")

fechaf <- as.Date("2015-12-31")

fecha <- seq.Date(fechai, fechaf, by="days")

Datos_radiacion_diaria_1217 <- zoo(dia_Ano_1217, fecha)

View(Datos_radiacion_diaria_1217)

g. Cálculo de constantes pedernales

library(zoo)

library(xts)

#1. ecuación de la radiación extraterrestre constante

N_dia_juliano <- data.frame(n=1:365)

View(N_dia_juliano)

class(dia_juliano)

$$N_dia_juliano\$constante <- 1366 * (1 + 0.034 * \cos(360 * N_dia_juliano\$n / 365 * \pi / 180))$$

#grados a radianes

x=60*pi/180

View(x)

cos(x)

plot(x=dia_juliano_fao\$n, y=dia_juliano_fao\$constante)

#crear zoo de la constante RSE

dia_julian <- (N_dia_juliano[,c(2)])

```

fechai <- as.Date("2013-01-01")
fechaf <- as.Date("2015-12-31")
fecha <- seq.Date(fechai,fechaf,by="days")
RE<-zoo(dia_julian,fecha)
View(RE)

####ECUACIÓN SEGÚN LA FAO
### latitud izobamba
latitud_Pedernales <-(0.06)

N_dia_juliano$D_solar<-((23.5*cos((360*(N_dia_juliano$n-172))/365))*pi)/180

N_dia_juliano$angulo_H<-acos(-
tan(latitud_Pedernales*pi/180)*tan(N_dia_juliano$D_solar))

# segun la FAO distanciamiento
N_dia_juliano$Distancia_Tierra_Sol<-1+0.033*cos(2*pi*(N_dia_juliano$n/365))

N_dia_juliano$Radiacion_Diaria<-
24*60/pi*0.082*(N_dia_juliano$Distancia_Tierra_Sol)*(N_dia_juliano$angulo_H*(sin(latitud_Pedernales*pi/180)*sin(N_dia_juliano$D_solar))+cos(latitud_Pedernales*pi/180)*cos(N_dia_juliano$D_solar))*sin(N_dia_juliano$angulo_H))

N_dia_juliano$HO_horaria_dia <- N_dia_juliano$Radiacion_Diaria*277.8

#crear zoo de la constante RSE
N_dia_Ano<-(N_dia_juliano[,c(1,3,4,5,6,7)])
fechai <- as.Date("2013-01-01")
fechaf <- as.Date("2015-12-31")
fecha <- seq.Date(fechai,fechaf,by="days")
Datos_radiacion_diaria<-zoo(N_dia_Ano,fecha)
View(Datos_radiacion_diaria)

h. Coincidencia de años 2013-2015 Izobamba (Sierra)
library(zoo)
library(xts)
##crear zoo para datos coincidos Izobamba M0003
zoo_M0003_HF_RSG1<-
merge.zoo(zoo_hf_diario$M0003,zoo_RSG_diario$zoo_M0003_RSG,datos_HO$ho_horaria_dia,all=F)
View(zoo_M0003_HF_RSG1)
plot(zoo_M0003_HF_RSG1)

# tomar solo datos completos con complete cases de Izobamba M0003
fecha_coindicente_M0003_1<-
zoo_M0003_HF_RSG1[complete.cases(zoo_M0003_HF_RSG1),]
View(fecha_coindicente_M0003_1)
plot(fecha_coindicente_M0003_1)
cor(fecha_coindicente_M0003_1$Hf,fecha_coindicente_M0003_1$RSG)

```

```

# ANÁLISIS EXPLORATORIO
Num_NA_rsg<-apply(fecha_coindicente_M0003_1, 2, function(x) sum(is.na(x)))
View(Num_NA_rsg)
#maximo de heliofania de estaciones
Max_coin<-apply(fecha_coindicente_M0003_1, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
View(Max_coin)
#minimo de estaciones
Min_coin<-apply(fecha_coindicente_M0003_1, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
View(Min_coin)
#media
media_coin<-apply(fecha_coindicente_M0003_1, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
View(media_coin)
#desviacion estandar
ds_coin<-apply(fecha_coindicente_M0003_1, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_coin)
#CV
CV <- ds_coin/media_coin
View(CV)

#cambiar nombres de columnas Hf y RSG
colnames(fecha_coindicente_M0003_1)=c("Hf","RSG","Rextra")

### Relación entre heliofanía y max de hf
fecha_coindicente_M0003_1$helio_maxhelio<-fecha_coindicente_M0003_1$Hf/11.9
View(relacion_M0003)

###relación entre radiación global y radiación extraterrestre
fecha_coindicente_M0003_1$RSG_ho_diario<-
fecha_coindicente_M0003_1$RSG/fecha_coindicente_M0003_1$Rextra
View(fecha_coindicente_M0003_1)

##correlación entre la heliofanía y rsg
cor_M0003_helio_maxhelio_Rextra <-
cor(fecha_coindicente_M0003_1$helio_maxhelio,fecha_coindicente_M0003_1$RSG_ho_dia
rio)
View(cor_M0003_helio_maxhelio_Rextra)

#regresion lineal Izobamba M0003
#y=mx+b
R_lineal_M0003<-lm(fecha_coindicente_M0003_1[,5]~fecha_coindicente_M0003_1[,4])
class(R_lineal_M0003)
#grafica de regresión lineal
plot(fecha_coindicente_M0003_1[,4],fecha_coindicente_M0003_1[,5])

##RECTA lineal M0003
abline(R_lineal_M0003,col='blue')

#pendiente y punto de corte
ecuacion_M0003_Izobam<-
paste0('y=',R_lineal_M0003$coefficients[2],'x+',R_lineal_M0003$coefficients[1])

```

```
View(ecuacion_M0003_Izobam)

#máximo de heliofanía de estaciones
Max_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
View(Max_coin)
#minimo de estaciones
Min_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
View(Min_coin)
#media
media_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
View(media_coin)

#desviacion estandar
ds_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_coin)

#obtener el resultado con dos decimales
round()
write.zoo(fecha_coincidente_M0003_1,"fecha_coincidente_M0003_1.csv")
write.foreign(fecha_coincidente_M0003,"fecha_coincidente_M0003.txt","fecha_coincidente_
M0003.sps",package = "SPSS")
write.csv(fecha_coincidente_M0003,"fecha_coincidente_M0003.csv")
```

i. Coincidencia de años 2013-2015 Bahía de Caráquez y Pedernales (Costa)

```
library(zoo)
library(xts)

##crear zoo para datos coincidos de Pedernales M0168 RSG y Bahía de Caraquez PUCE
M1217 Heliofanía
zoo_M0168_hf_M1217_RSG<-
merge.zoo(zoo_hf_diario$M1217,zoo_RSG_diario$zoo_M0168_RSG,Datos_radiacion_diari
a$HO_horaria_dia,all=F)
View(zoo_M0168_hf_M1217_RSG)

# tomar solo datos completos con complete cases de Pedernales M0168 RSG y Bahía de
Caraqez PUCE M1217 Heliofanía
fecha_coincidente_M0168_M1217<-
zoo_M0168_hf_M1217_RSG[complete.cases(zoo_M0168_hf_M1217_RSG),]
View(fecha_coincidente_M0168_M1217)
plot(fecha_coincidente_M0168_M1217)

#cambiar nombres de columnas Hf y RSG
colnames(fecha_coincidente_M0168_M1217)=c("Heliofania","RSG","RadiacionEX")

### RELACION entre heliofanía y max de hf
fecha_coincidente_M0168_M1217$relacion_M1217_Hf<-
fecha_coincidente_M0168_M1217$Heliofania/10.33
View(relacion_M0003)

###relación entre radiación global y radiación extraterrestre
```

```

fecha_coincidente_M0168_M1217$relacion_M0168_RSG<-
fecha_coincidente_M0168_M1217$RSG/fecha_coincidente_M0168_M1217$RadiacionEX
View(relacion_M0003_RSG)

##correlación entre la heliofanía y rsg
cor_M1217_M0168_helio_maxhelio_Rextra <-
cor(fecha_coincidente_M0168_M1217$relacion_M1217_Hf,fecha_coincidente_M0168_M12
17$relacion_M0168_RSG)
View(cor_M1217_M0168_helio_maxhelio_Rextra)
save(fecha_coincidente_M0003,file='fecha_coincidente_M0003')

#regresion lineal Izobamba M0003
#y=mx+b
regresion_lineal_M1217_M0168<-
lm(fecha_coincidente_M0168_M1217[,5]~fecha_coincidente_M0168_M1217[,4])
class(regresion_lineal_M0003)
#grafica de regresión lineal
plot(fecha_coincidente_M0168_M1217[,4],fecha_coincidente_M0168_M1217[,5])

###RECTA lineal M0003
abline(regresion_lineal_M1217_M0168,col='blue')

#pendiente y punto de corte
ecua_M1217_M0168<-
paste0('y=',regresion_lineal_M1217_M0168$coefficients[2],'x+',regresion_lineal_M1217_M0
168$coefficients[1])
View(ecua_M1217_M0168)
#ANALISIS EXPLORATORIO
Num_NA_B_P<-apply(fecha_coincidente_M0168_M1217, 2, function(x) sum(is.na(x)))
View(Num_NA_B_P)
#máximo de heliofanía de estaciones
Max_coin_B_P<-apply(fecha_coincidente_M0168_M1217, 2, function(x) max(x,na.rm
=TRUE))
View(Max_coin_B_P)
#minimo de estaciones
Min_coin_B_P<-apply(fecha_coincidente_M0168_M1217, 2, function(x) min(x,na.rm
=TRUE))
View(Min_coin_B_P)
#media
media_coin_B_P<-apply(fecha_coincidente_M0168_M1217, 2, function(x) mean(x,na.rm
=TRUE))
View(media_coin_B_P)
#desviacion estandar
ds_coin_B_P<-apply(fecha_coincidente_M0168_M1217, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_coin_B_P)
#CV
CV_B_P <- ds_coin_B_P/media_coin_B_P
View(CV_B_P)

```

j. Coincidencia de años 2013-2015 puyo (Amazonía)

```

library(zoo)
library(xts)
##RELACION HF Y RSG

zoo_M0008_HF_RSG<-
merge.zoo(zoo_hf_diario$M0008,zoo_RSG_diario$zoo_M0008_RSG,datos_HOM0008$ho_
horaria_diaM0008,all=F)
View(zoo_M0008_HF_RSG)

# tomar solo datos completos con complete cases de Izobamba M0008
fecha_coincidente_M0008<-zoo_M0008_HF_RSG[complete.cases(zoo_M0008_HF_RSG),]
View(fecha_coincidente_M0008)

#ANALISIS EXPLORATORIO
Num_NA_rsg<-apply(fecha_coincidente_M0008, 2, function(x) sum(is.na(x)))
View(Num_NA_rsg)
#maximo de heliofania de estaciones
Max_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) max(x,na.rm =TRUE))
View(Max_coin)
#minimo de estaciones
Min_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) min(x,na.rm =TRUE))
View(Min_coin)
#media
media_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) mean(x,na.rm =TRUE))
View(media_coin)
#desviacion estandar
ds_coin<-apply(fecha_coincidente_M0003_1, 2, function(x) sd(x,na.rm =TRUE))
View(ds_coin)
#CV
CV <- ds_coin/media_coin
View(CV)

#cambiar nombres de columnas Hf y RSG
colnames(fecha_coincidente_M0008)<-c("Hf_M008","RSG_M008","Rextra")
View(fecha_coincidente_M0008)
### RELACION entre heliofania y max de hf
fecha_coincidente_M0008$helio_maxhelio_M0008<-
fecha_coincidente_M0008$zoo_hf_diario$M0008/11.9
View(fecha_coincidente_M0008)

###relación entre radiación global y radiación extraterrestre
fecha_coincidente_M0008$RSG_ho_diario_M0008<-
fecha_coincidente_M0008$RSG/fecha_coincidente_M0008$Rextra
View(fecha_coincidente_M0008)
save(fecha_coincidente_M0003,file='fecha_coincidente_M0003')

##corelacion
cor_M0003_helio_maxhelio_Rextra <-
cor(fecha_coincidente_M0008$helio_maxhelio,fecha_coincidente_M0008$RSG_ho_diario)
View(cor_M0003_helio_maxhelio_Rextra)

```

```

#regresion lineal Izobamba M0003
#y=mx+b
R_lineal_M0008<-lm(fecha_coindicente_M0008[,5]~fecha_coindicente_M0008[,4])
class(R_lineal_M0003)
#grafica de regresión lineal
plot(fecha_coindicente_M0008[,4],fecha_coindicente_M0008[,5])

##RECTA lineal M0003
abline(R_lineal_M0008,col='blue')

#pendiente y punto de corte
R_lineal_M0008<-
paste0('y=',R_lineal_M0003$coefficients[2],'x+',R_lineal_M0003$coefficients[1])
View(R_lineal_M0008)

```

k. Calculo angstrom-page Izobamba región Sierra

```

#ecuación del Método Angstrom Page
ecuacion_M0003_Izobam<-
paste0('y=',R_lineal_M0003$coefficients[2],'x+',R_lineal_M0003$coefficients[1])
View(ecuacion_M0003_Izobam)
round(0.26)
round(0.46)

library(zoo)
#ecuación del método angstrom page
#ecuacion spencer
ecua_ang_fao<-
(fecha_coindicente_M0003_1$Rextra*0.26)+((fecha_coindicente_M0003_1$Rextra*0.46/11.
9)*fecha_coindicente_M0003_1$Hf)
View(ecua_ang_fao)

# Unir Radiación solar global
#Datos diarios de RSG INAMHI,RSG calculada de cooper
zoo_RSG_INAMHI_fao<-merge.zoo(fecha_coindicente_M0003_1$RSG,ecua_ang_fao)
View(zoo_RSG_INAMHI_fao)
colnames(zoo_RSG_INAMHI_fao)=c("RSG_INMAHI","RSG_Calculada")
plot(zoo_RSG_INAMHI_fao)

```

I. VALIDACIÓN-CORRELACIÓN

```

install.packages("hydroGOF")
library(hydroGOF)
#correlación entre la RSG medida de inamhi y RSG calculada de cooper
cor_RSG_observada_calculada_M0003<-
cor(zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_Calculada,zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_INMAHI)
View(cor_RSG_observada_calculada_M0003)

#regresion lineal Izobamba M0003 entre la y RSG INMAHI y RSG Calculada
#y=mx+b

```

```

lm_rsg_INAMHI_fao_M0003<-
lm(zoo_RSG_INAMHI_fao[,2]~zoo_RSG_INAMHI_fao[,1])

#grafica de regresion lineal
plot(zoo_RSG_INAMHI_fao[,1],zoo_RSG_INAMHI_fao[,2])

##RECTA lineal M0003
abline(lm_rsg_INAMHI_fao_M0003,col='blue')

#pendiente y punto de corte
ecua_M0003_obs_calc<-
paste0('y=',lm_rsg_INAMHI_fao_M0003$coefficients[2],'x+',lm_rsg_INAMHI_fao_M0003$
coefficients[1])
View(ecua_M0003_obs_calc)

#guardar grafica
pdf(file = "lm_rsg_INAMHI_fao_M0003.pdf")
plot(zoo_RSG_INAMHI_fao[,1],zoo_RSG_INAMHI_fao[,2])
abline(lm_rsg_INAMHI_fao_M0003,col='blue')
dev.off()

#Raíz del error cuadrático medio
rmse(zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_Calculada,zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_INMAHI)

## media del error absoluto
mae(zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_Calculada,zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_INMAHI)

##porcentaje de sesgos
pbias(zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_Calculada,zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_INMAHI)

m. Cálculo del porcentaje de radiación ultravioleta tres regiones continentales del Ecuador
library(zoo)
library(xts)
library(Hmisc)

#Abrimos archivo RUV csv y lo convertimos en zoo
RUV_M0003_zoo <- read.zoo('RUV_M0003.csv',index.column=1, sep = ",", header=TRUE,
format='%d/%m/%Y %H:%M',FUN=as.POSIXct)
View(RUV_M0003_zoo)
RUV_M0008_zoo <- read.zoo('RUV_M0008.csv',index.column=1, sep = ",", header=TRUE,
format='%d/%m/%Y %H:%M',FUN=as.POSIXct)
View(RUV_M0008_zoo)
RUV_M0168_zoo <- read.zoo('RUV_M0168.csv',index.column=1, sep = ",", header=TRUE,
format='%d/%m/%Y %H:%M',FUN=as.POSIXct)
View(RUV_M0168_zoo)

##Primer dia de las estaciones
first(RUV_M0003_zoo)

```

```
first(RUV_M0008_zoo)
first(RUV_M0168_zoo)
```

```
## ultimo día de las estaciones
last(RUV_M0003_zoo)
last(RUV_M0008_zoo)
last(RUV_M0168_zoo)
```

```
#columna 2 del zoo la reemplaces en el mismo zoo pasamos a clase as.numeric
UV_m0003<-zoo(as.numeric(RUV_M0003_zoo[,c(2)]),index(RUV_M0003_zoo))
View(UV_m0003)
UV_m0008<-zoo(as.numeric(RUV_M0008_zoo[,c(2)]),index(RUV_M0008_zoo))
View(UV_m0008)
UV_m0168<-zoo(as.numeric(RUV_M0168_zoo[,c(2)]),index(RUV_M0168_zoo))
View(UV_m0168)
```

```
##### fijamos el día de inicio y el ultimo día
zoo_NA_RUV<-zoo(NULL,seq.POSIXt(as.POSIXct('2013-05-01 00:00'),as.POSIXct('2019-
12-31 23:00'),by='hour'))
View(index_NA_RUV)
##### unimos con merge.zoo todas las estaciones con el zoo_NA
zoo_completo_RUV<-merge.zoo(zoo_NA_RUV,UV_m0003,UV_m0008,UV_m0168)
View(zoo_completo_RUV)
```

```
##### seleccionar las horas a trabajar
vec<-0:23
View(vec)
vec>5
vec<19
vec[vec>5 & vec<19]
#####seleccionanos desde las 6:00 Am a 18:00 pm
zoo_RUV_horario<-zoo_completo_RUV[c(vec>5 & vec<19)]
View(zoo_RUV_horario)
save(zoo_RUV_horario,file='zoo_RUV_horario.RData')
class(zoo_RUV_horario)
```

```
#####APLICAR apply.daily
zoo_RUV_diario<-apply.daily(zoo_RUV_horario,colSums)
View(zoo_RUV_diario)
save(zoo_RUV_diario,file='zoo_RUV_diario.RData')
index(zoo_RUV_diario)<-as.Date(index(zoo_RUV_diario))
```

```
### Unir y coincidir datos
```

```
#datos RSG calculada y radiacion ultravioleta
zoo_uv_compl<-merge.zoo(zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_INMAHI,
zoo_RSG_INAMHI_fao$RSG_Calculada,zoo_RUV_diario,all=F)
View(zoo_uv_compl)
```

```
# tomar solo datos completos con complete cases de Izobamba M0003
```

```

fecha_coincidente_UV<-zoo_uv_compl[complete.cases(zoo_uv_compl),]
View(fecha_coincidente_UV)
plot(fecha_coincidente_UV[,6],fecha_coincidente_UV[,7])

```

```

#cambiar nombres
colnames(fecha_coincidente_UV)=c("UV_INAMHI","UV_CALCULADA","UV_M0003","
UV_M0008","UV_M0168")

```

n. Cálculo de la radiación ultravioleta región Sierra (Izobamba)

```

#TEORIA DE 5% DE UV innamhi M0003
fecha_coincidente_UV$RUV_M0003_INAMHI <-
fecha_coincidente_UV$UV_M0003*100/fecha_coincidente_UV$UV_INAMHI
mean(fecha_coincidente_UV$RUV_M0003_INAMHI)

```

```

#teoría 5% de uv calculada M0003
fecha_coincidente_UV$RUV_M0003_calculada <-
fecha_coincidente_UV$UV_M0003*100/fecha_coincidente_UV$UV_CALCULADA
mean(fecha_coincidente_UV$RUV_M0003_calculada)

```

o. Cálculo de la radiación ultravioleta región Amazónica (Puyo)

```

##M0008
#TEORIA DE 5% DE UV innamhi M0008
fecha_coincidente_UV$RUV_M0008_INAMHI <-
fecha_coincidente_UV$UV_M0008*100/fecha_coincidente_UV$UV_INAMHI
mean(fecha_coincidente_UV$RUV_M0008_INAMHI)

```

p. Cálculo de la radiación ultravioleta región Costa (Pedernales)

```

#M00168
#TEORIA DE 5% DE UV innamhi M0168
fecha_coincidente_UV$RUV_M0168_INAMHI <-
fecha_coincidente_UV$UV_M0168*100/fecha_coincidente_UV$UV_INAMHI
mean(fecha_coincidente_UV$RUV_M0168_INAMHI)

```