

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



*Una Institución Adventista*

Relación de la radiación ultravioleta tipo B con las variables meteorológicas,

Huamanga-Ayacucho

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Por:**

Cinthy Ingrid Delgado Quispe

**Asesor:**

Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas

**Lima, 15 de agosto del 2022**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

**DECLARO:** Que la presente investigación titulada: ***“Relación de la Radiación Ultravioleta Tipo B con las Variables Meteorológicas, Huamanga-Ayacucho”*** constituye la memoria que presenta la Bachiller Cinthya Ingrid Delgado Quispe para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los *17 días* del mes de noviembre del año 2022.

Atentamente,



---

Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **15 días** día(s) del mes de **agosto** del año 2022 siendo **las 09:30 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, el secretario: **Mg. Iliana Del Carmen Gutierrez Rodríguez**, y los demás miembros: **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio** e **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y el asesor **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Relación de la Radiación Ultravioleta Tipo B con las Variables Meteorológicas, Huamanga Ayacucho"

de el(los)/la(las) bachiller(es): a) **CINTHYA INGRID DELGADO QUISPE**  
 .....b)

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**  
*(Nombre del Título profesional)*  
 con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/la(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **CINTHYA INGRID DELGADO QUISPE** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente


Candidato (b): .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
 Presidente  
 Mg. Milda Amparo  
 Cruz Huaranga

  
 \_\_\_\_\_  
 secretario  
 Mg. Iliana Del Carmen  
 Gutierrez Rodríguez

\_\_\_\_\_  
 Asesor  
 Mg. Joel Hugo  
 Fernandez Rojas

\_\_\_\_\_  
 Miembro  
 Mg. Jackson Edgardo  
 Perez Carpio

\_\_\_\_\_  
 Miembro  
 Ing. Orlando Alan  
 Poma Porras

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (a)  
 Cinthya Ingrid  
 Delgado Quispe

\_\_\_\_\_  
 Candidato/a (b)

### **Dedicatoria**

La presente investigación va dedicada a Dios, a mi guía, por siempre darme fortaleza, paciencia y sobre todo por brindarme salud y protección en momentos complicados, a la par me lo dedico a mí misma, por nunca rendirme y siempre echarle las ganas a pesar de ciertas circunstancias que surgían en el camino y lograr satisfactoriamente el resultado tan ansiado que es la culminación de la tesis.

A mis familiares quienes me brindaron sus consejos, apoyo moral y motivación constante en las distintas etapas del estudio.

Y a todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional, su bondad y compañía durante el camino recorrido en la investigación.

### **Agradecimiento**

La culminación de esta etapa es uno de mis mayores logros y no quiero desaprovechar la oportunidad de agradecer a Dios, familia, amigos y conocidos, que siempre estuvieron a mi lado dándome su apoyo incondicional, protección, guía, fortaleza, paciencia y salud en todo momento.

Así mismo, me gustaría agradecer a la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ayacucho y al Biólogo William Ayala Hinostroza por acceder a mi solicitud de para la ejecución de la investigación de Tesis.

Agradezco al Biólogo Jesús Tello Velarde por brindarme acceso al área del “Centro de Monitoreo en Información Ambiental del Gobierno Regional de Ayacucho”, asistencia para el uso de los equipos de monitoreo (Solmáforo y estación meteorológica) y apoyo constante para la descarga de datos.

Además, mi agradecimiento especial para el Ingeniero Eder Samaniego, por las enseñanzas brindadas y por proporcionarme ayuda en la descarga de los datos y manejo del software de la estación meteorológica, también, agradezco al Ingeniero William Apcho por el respaldo en la recopilación de datos, por el tiempo, apoyo moral, la paciencia, los consejos y el afecto brindados que hicieron posible culminar la investigación.

Mis agradecimientos especiales para el Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas, por su orientación, paciencia, respaldo y soporte para el desarrollo de la Tesis.

## ÍNDICE GENERAL

1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	15
1.1. Identificación del problema.....	15
1.2. Justificación.....	18
1.3. Presuposición Filosófica .....	19
1.4. Objetivos .....	20
1.4.1. Objetivo General:.....	20
1.4.2. Objetivos específicos: .....	20
2. CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	21
2.1. Antecedentes: .....	21
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	21
2.1.2. Antecedentes Nacionales .....	27
2.1.3. Antecedentes Locales.....	30
2.2. Marco Legal .....	31
2.3. Sol.....	32
2.4. Radiación Solar .....	37
2.5. Leyes que describen el comportamiento de la radiación solar.....	40
2.6. Planeta Tierra .....	41
2.6.1. Composición interna de la Tierra.....	43
2.6.2. Movimiento del Planeta Tierra .....	44

2.6.3.	Atmósfera.....	47
2.7.	Capa de Ozono .....	50
2.7.1.	Formación y destrucción de la capa de ozono .....	51
2.7.2.	Debilitamiento de la Capa de Ozono .....	54
2.7.3.	Protocolo de Montreal.....	58
2.8.	Radiación Ultravioleta.....	60
2.8.1.	Radiación ultravioleta en el Perú .....	63
2.8.2.	Índice de Radiación Ultravioleta .....	64
2.8.3.	Factores que Intervienen en la Intensidad de Radiación UV recibida.....	66
3.	CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS .....	70
3.1.	Población y muestra .....	70
3.1.1.	Población.....	70
3.1.2.	Muestra .....	70
3.2.	Lugar de ejecución .....	71
3.3.	Diseño de investigación .....	72
3.4.	Metodología .....	72
3.5.	Variables de estudio .....	73
3.6.	Técnicas e instrumentos de Recolección de datos .....	73
3.6.1.	Técnicas de recolección de datos.....	73
3.6.2.	Instrumentos y materiales de medición.....	74

4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	87
4.1.	Modelamiento de las variables Meteorológicas .....	87
4.1.1.	Distribución de las variables.....	88
4.1.2.	Análisis de la correlación de las variables de estudio.....	94
4.1.3.	Modelamiento de la radiación UV-B con las variables de Temperatura, Humedad, Presión, Vel. del viento y Dir. del viento.....	96
4.1.4.	Modelando con las variables que más aportan al modelo.....	97
4.2.	Modelamiento con series de tiempo.....	99
4.2.1.	Modelamiento de datos mediante Series de Tiempo .....	100
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	126
5.1.	Conclusiones .....	126
5.2.	Recomendaciones.....	129
6.	REFERENCIAS.....	130
7.	ANEXOS .....	145



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Normativa Internacional sobre monitoreo de la Radiación Ultravioleta .....	31
<b>Tabla 2</b> Descripción de la estructura solar .....	36
<b>Tabla 3</b> Subdivisión de las ondas electromagnéticas .....	38
<b>Tabla 4</b> Leyes que describen el comportamiento de un cuerpo negro .....	40
<b>Tabla 5</b> Características generales del Planeta Tierra .....	42
<b>Tabla 6</b> Descripción de las capas de la atmósfera.....	48
<b>Tabla 7</b> Características de los tres tipos de radiación .....	61
<b>Tabla 8</b> Categorización de los niveles del Índice de Radiación Ultravioleta.....	65
<b>Tabla 9</b> Escala de colores del índice Ultravioleta usada por SENAMHI .....	65
<b>Tabla 10</b> Factores que intervienen en la intensidad de la radiación ultravioleta .....	66
<b>Tabla 11</b> Identificación de las variables dependientes e independientes de la investigación .....	73
<b>Tabla 12</b> Color de luz indicativo acorde a la siguiente Tabla 2 .....	75
<b>Tabla 13</b> Especificaciones técnicas del Solmáforo .....	76
<b>Tabla 14</b> Características y flujo de datos de la estación Meteorológica de la GRNGMA-GRA.	81
<b>Tabla 15</b> Especificaciones técnicas del Datalogger netDL 500.....	83
<b>Tabla 16</b> Especificaciones técnicas de los sensores que posee la estación meteorológica del GRA .....	84
<b>Tabla 17</b> Materiales usados en la presente investigación .....	86
<b>Tabla 18</b> Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov .....	88
<b>Tabla 19</b> Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov.....	89
<b>Tabla 20</b> Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov .....	90
<b>Tabla 21</b> Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov .....	91

<b>Tabla 22</b> Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov .....	92
<b>Tabla 23</b> Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov .....	93
<b>Tabla 24</b> Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov .....	94
<b>Tabla 25</b> Resultado del modelamiento de la radiación UV-B con todas las variables.....	96
<b>Tabla 26</b> Resultado del modelamiento de la radiación UV-B con las variables que tienen mayor aporte al modelo .....	97
<b>Tabla 27</b> Resultado del modelamiento de la radiación UV-B con las variables que tienen mayor aporte al modelo.....	98
<b>Tabla 28</b> Distribución de datos en cuartiles .....	103
<b>Tabla 29</b> Prueba de Dickey-Fuller en los datos de RUV-B .....	104
<b>Tabla 30</b> Modelo ARIMA y componentes para la radiación UV-B .....	109
<b>Tabla 31</b> Tabla de normalidad del modelo.....	110
<b>Tabla 32</b> Prueba de Ljung-box .....	111
<b>Tabla 33</b> Pronóstico de valores de la RUV-B.....	112
<b>Tabla 34</b> Distribución de datos de Temperatura en cuartiles .....	116
<b>Tabla 35</b> Prueba de Dickey-Fuller en los datos de Temperatura .....	117
<b>Tabla 36</b> Prueba de Dickey-Fuller en los datos de Temperatura .....	120
<b>Tabla 37</b> Prueba de Dickey-Fuller en los datos de Temperatura .....	121
<b>Tabla 38</b> Tabla de normalidad del modeloc.....	122
<b>Tabla 39</b> Prueba de Dickey-Fuller en los datos de Temperatura .....	122

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Proceso químico de Fusión nuclear en el interior del sol.....	33
<b>Figura 2</b>	Diagrama de clasificación de estrellas por el tipo espectral y luminosidad.....	35
<b>Figura 3</b>	Descripción de la clasificación de la estructura solar.....	37
<b>Figura 4</b>	Espectro completo de la energía electromagnética clasificada por longitud de onda ...	38
<b>Figura 5</b>	Componentes de la radiación solar.....	40
<b>Figura 6</b>	División de la estructura interna del planeta Tierra .....	44
<b>Figura 7</b>	Descripción del inicio de Equinoccio y Solsticio del planeta con respecto al sol.....	47
<b>Figura 8</b>	Capas de la atmósfera y sucesos que ocurren en cada una.....	50
<b>Figura 9</b>	Producción natural del ozono en la estratósfera.....	52
<b>Figura 10</b>	Proceso de destrucción natural del ozono en la estratósfera .....	53
<b>Figura 11</b>	Proceso de destrucción del ozono con intervención del CFC y las SAO.....	55
<b>Figura 12</b>	Cronología del monitoreo de la capa de ozono de 1979 a 2019.....	56
<b>Figura 13</b>	Etapas de la destrucción de la capa de ozono.....	57
<b>Figura 14</b>	Intervalo de longitud de onda de la radiación ultravioleta .....	60
<b>Figura 15</b>	Descripción gráfica de la llegada de la radiación UV a la superficie terrestre .....	62
<b>Figura 16</b>	Factores que intervienen en la intensidad de la radiación UV .....	69
<b>Figura 17</b>	Mapa de ubicación del lugar de ejecución y ámbito de estudio.....	71
<b>Figura 18</b>	Código de colores del Índice Ultravioleta (UVI).....	75
<b>Figura 19</b>	Instalación del solmáforo .....	77
<b>Figura 20</b>	Módulo emisor y receptor por radio de 2,4 GHz utilizado en el Solmáforo.....	78
<b>Figura 21</b>	Ejemplo del gráfico y almacenamiento de datos del solmáforo en el computador.....	78
<b>Figura 22</b>	Fotografía del solmáforo con el que cuenta el Gobierno Regional de Ayacucho.....	79
<b>Figura 23</b>	Estación meteorológica instalado en la GRNGMA del GRA .....	80

<b>Figura 24</b> Principales usos de los datos de la medición.....	82
<b>Figura 25</b> Componentes de la unidad compacta de la estación meteorológica .....	83
<b>Figura 26</b> Distribución de los datos de la radiación UV-B.....	88
<b>Figura 27</b> Distribución de los datos de Temperatura.....	89
<b>Figura 28</b> Distribución de los datos de la Humedad relativa.....	90
<b>Figura 29</b> Distribución de los datos de Presión .....	91
<b>Figura 30</b> Distribución de los datos de la velocidad del viento.....	92
<b>Figura 31</b> Distribución de los datos de la dirección del viento.....	93
<b>Figura 32</b> Resumen de la distribución de los datos .....	94
<b>Figura 33</b> Resumen del análisis de la correlación de las variables de estudio.....	95
<b>Figura 34</b> Representación de las variables estudiadas .....	100
<b>Figura 35</b> Correlación de la radiación UV-B con las variables meteorológicas.....	101
<b>Figura 36</b> Representación gráfica del total de datos de la radiación UV-B.....	102
<b>Figura 37</b> Valores de la radiación UV-B distribuidos en cuartiles .....	102
<b>Figura 38</b> Valores de la radiación UV-B convertidos en series de tiempo .....	103
<b>Figura 39</b> Valores de la radiación UV-B convertidos ciclos .....	104
<b>Figura 40</b> Serie diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B .....	105
<b>Figura 41</b> Descomposición de serie diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B.....	106
<b>Figura 42</b> Serie no diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B .....	107
<b>Figura 43</b> Serie diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B .....	107
<b>Figura 44</b> Serie diferenciada parcial de la radiación ultravioleta tipo B .....	108
<b>Figura 45</b> Comportamiento diario de la radiación ultravioleta tipo B.....	109
<b>Figura 46</b> Gráficos residuales del modelo ARIMA de la radiación UV-B.....	111

<b>Figura 47</b> Proyección de datos del modelo ARIMA de la radiación UV-B .....	113
<b>Figura 48</b> Representación gráfica del total de datos de la Temperatura .....	115
<b>Figura 49</b> Valores de Temperatura distribuidos en cuartiles .....	115
<b>Figura 50</b> Valores de Temperatura convertidos en series de tiempo .....	116
<b>Figura 51</b> Valores de la Temperatura convertidos en ciclos.....	117
<b>Figura 52</b> Descomposición de serie diferenciada de la Temperatura .....	118
<b>Figura 53</b> Serie diferenciada con autocorrelación de la Temperatura .....	119
<b>Figura 54</b> Serie diferenciada parcial con autocorrelación de la Temperatura .....	120
<b>Figura 55</b> Comportamiento diario de la Temperatura .....	121
<b>Figura 56</b> Gráficos residuales del modelo ARIMA de la Temperatura.....	123
<b>Figura 57</b> Proyección de datos del modelo ARIMA de la Temperatura .....	124

**SIMBOLOGÍA**

RUV: Radiación Ultravioleta

UV: Ultravioleta

UV-B: Ultravioleta tipo B

CC: Cambio climático.

GEI: Gases de efecto invernadero.

TOC: Columna total de ozono.

UVI: Índice ultravioleta.

SDrel: Duración de la luz solar.

AAF: Factor de amplificación de anomalías.

CAMS: Servicio de monitoreo de la atmósfera Copernicus.

SAO: Sustancias que agotan el ozono.

ODS: Objetivos del Desarrollo Sostenible.

ROL: Radiación de onda larga.

AOD: Profundidad óptica del aerosol.

MINSA: Ministerio de Salud

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

GRNGMA: Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente.

DU: Unidades Dobson

PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

ONUDI: Organismo de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

PNUMA: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

HCFCs: Hidroclorofluorocarbonos

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como finalidad el evaluar la relación de la radiación ultravioleta tipo B con las Variables Meteorológicas, Huamanga-Ayacucho. Mediante la recopilación de datos del Solmáforo y la estación meteorológica de los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021, instalados en la GRNGMA, teniendo como unidad de análisis a la población compuesto por los datos de las variables de la estación y del Solmáforo. Los resultados iniciales muestran que el modelamiento de la RUV- B y de la temperatura, humedad, presión, velocidad y dirección del viento, resulta en que ninguno posee una distribución normal, que fue corroborado mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es por este motivo, que se procedió a usar la correlación de Spearman en vez de Pearson. La relación que la RUV-B con la mayoría de las variables fue directamente proporcional a pesar de tener una correlación baja (Temperatura: 0.142, presión: 0.085, velocidad del viento: 0.259 y dirección del viento: 0.054) y sólo la humedad (-0.078) tuvo una relación indirecta. Luego se realizó el modelamiento de la RUV-B con la temperatura, presión y velocidad del viento por ser variables que mayor aporte y relación tienen, esto dio como resultado la generación del P-value: <math>2.2e-16</math> y con la siguiente fórmula en el que se halló un modelo lineal.

$$RUVB = ((-1028.9587017) + (1.1549572 * T) + (1.3928245 * P) + (0.9432865 * VV))$$

Tras esto se convirtió los datos de la RUV-B y temperatura (por poseer 17% de influencia en la radiación) en series de tiempo con 61 ciclos por día, con un total de 942 ciclos de 57462 datos, equivalentes a los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021), con valores ubicados alrededor de la media cero con varianza constante, con presencia de ruido blanco y estacionario, siendo óptimo para el pronóstico y la aplicación del mejor modelo ARIMA, del cual se obtuvo: (2,0,2)(1,1,0)[61] (RUV-B) y (2,0,1)(1,1,0)[61] (Temperatura) y finalmente se proyectó 6000 datos representados en las Figuras 47 y 57, y de esta manera es que se pudo determinar la relación que posee la radiación ultravioleta tipo B con las variables de la estación meteorológica del gobierno regional de Ayacucho.

**Palabras clave:** *Radiación UVB, solmáforo, temperatura, humedad y presión.*

## SUMARY

The purpose of this research was to evaluate the relationship of type B ultraviolet radiation with the meteorological variables, Huamanga-Ayacucho. By collecting data from the Solmaphore and the meteorological station of the years 2019, 2020 to July 30 2021, installed in the GRNGMA, having as unit of analysis the population composed of the data of the variables of the station and the Sunmaphore. The initial results show that the modeling of the UVB-B and of the temperature, humidity, pressure, speed and direction of the wind, results in the fact that neither has a normal distribution, which was corroborated by the Kolmogorov-Smirnov test, it is for this For this reason, Spearman's correlation was used instead of Pearson's. The relationship that UVR-B with most of the variables was directly proportional despite having a low correlation (Temperature: 0.142, Pressure: 0.085, Wind Speed: 0.259, and Wind Direction: 0.054) and only humidity (-0.078) had an indirect relationship. Then, the modeling of the UVB-B was carried out with the temperature, pressure and wind speed as they are variables that have the greatest contribution and relationship, this resulted in the generation of the P-value:  $<2.2e-16$  and with the following formula in which a linear model was found:

$$RUVB = ((-1028.9587017) + (1.1549572 * T) + (1.3928245 * P) + (0.9432865 * VV))$$

After this, the RUV-B and temperature data (because they have a 17% influence on radiation) were converted into time series with 61 cycles per day, with a total of 942 cycles of 57,462 data, equivalent to the years 2019, 2020 to July 30, 2021), with values located around the zero mean with constant variance, with the presence of white and stationary noise, being optimal for the forecast and the application of the best ARIMA model, from which: (2, 0.2)(1,1,0)[61] (RUV-B) and (2,0,1)(1,1,0)[61] (Temperature) and finally 6000 data represented in Figures were projected 47 and 57, and in this way it is possible to determine the relationship that type B ultraviolet radiation has with the variables of the meteorological station of the regional government of Ayacucho.

**Key words:** *Radiation UVB, solmáforo, temperature, humidity, pressure.*



## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

### 1.1. Identificación del problema

Desde finales del siglo XX ha venido creciendo la inquietud por el incremento de la radiación ultravioleta proveniente del sol, debido a que esta se relaciona directamente con todo ser viviente del planeta tierra, la exposición por periodos largos (sea en el trabajo, recreación, etc.) a la radiación del sol puede causar efectos severos como canceres en la piel, afecciones a los ojos, entre otros. Las actividades antropogénicas son en mayoría responsables del agotamiento de la capa de ozono, porque son las causantes de la generación de gases que afecta a esta, la cual es responsable de filtrar la radiación ultravioleta, sin embargo, con su debilitamiento ha ocasionado que una parte de la radiación ultravioleta tipo B llegue a la superficie terrestre y la exposición a esta genera riesgos en la salud de la población.

Si la superficie terrestre no se encontraría protegida por la atmósfera y en especial por la capa de ozono, la magnitud de radiación al cual nos encontraríamos expuestos sería tan alta que fuese imposible la existencia del ser vivo, la capa de O<sub>3</sub> es altamente importante para la vida en la tierra, porque ella ayuda a atenuar la longitud de onda de la radiación UV, el trecho que recorre esta al atravesar la atmósfera determina en gran manera el grado de radiación que llega a la tierra; así mismo, se sabe que la intensidad con la que llega va depender de factores como la latitud, altitud, y otros (Castro Rafaile, 2013).

Los rayos ultravioleta provenientes del sol se clasifican en 3 (tipo A: No peligroso (315-400) nm, tipo B: Peligroso (280-315) nm, y, tipo C: Altamente peligroso (100-280) nm), la clasificación se basa en el tamaño de la onda; acorde a estudios realizados se sabe que a menor longitud de onda mayor es el grado de avance y por ende el peligro para el ser humano que se expone será superior (Araya Gutierrez, 2018).

Es por ello que la OMS preocupado por el daño que pueda causar la radiación creó el índice ultravioleta solar, el cual ayuda a la población a comprender el nivel de daño que esta pueda llegar a ocasionar (Organización Mundial de la Salud, 2003). Las ondas de la radiación solar que llegan a la superficie terrestre se dan de dos formas: tangencial (choca con la corteza y rebota) el cual se da en los polos y perpendicular (choque frontal) que se da en la zona ecuatorial. Eso significa que el Perú por la cercanía a la zona ecuatorial soporte altos índices de R-UV (Uribe Santos, 2011).

De acuerdo a (Blas Blavin, 2017) y (Uribe Santos, 2011) ) se sabe que en el año 2006 y estudios realizados por la NASA, determinaron que el Perú es uno de los países que recibe mayores radiaciones del sol, el cual es superior a la escala publicado por la OMS. Reportes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, mencionan que el índice de radiación UV está por encima del 11+ (escala de la OMS), siendo los índices más altos que se reportan en todo el mundo, SENAMHI menciona que estos índices vienen desde el año 2007 (Miranda Espinoza, 2018)

El (Laboratorio de Física de la Atmósfera, 1995) realizó el hallazgo realizó el hallazgo “Anomalía de la Capa de Ozono”, que es el agujero de la capa de ozono producido por fenómenos naturales y probablemente haya existido desde los comienzos del planeta tierra; esta anomalía cubre todo Perú y Bolivia y parte norte de Chile y Argentina y de acuerdo al estudio que realizaron será complejo que se recupere y que probablemente esté con nosotros hasta el fin de los tiempos.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología a lo largo de los años ha venido instalando estaciones meteorológicas que miden la RUV en diferentes partes del país, una de los tantos se encuentra en la región de Ayacucho, a inicios del presente año el SENAMHI reportó que las provincias de Huanca Sancos, Querobamba, Coracora, Vilcashuamán y Puquio de la región de Ayacucho recibieron radiaciones que llegan a 18 UV el cual está categorizado con

extremadamente alta (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2019), así mismo la agencia andina informó que los sensores colocados por SENAMHI en la región Ayacucho reportan valores por sobre 18 (Andina, 2019).

El comercio en una comunicación que tuvo con el SENAMHI obtuvo información que de lo que va del año la R-UVB en las regiones de la costa viene fluctuando entre 6 y 11, mientras que en las regiones andinas se tiene un rango entre 12 a 18 y la selva de 6 a 11, siendo las regiones andinas las más afectadas con la radiación categorizada como extremadamente alto, teniendo una inclinación al incremento es decir que sobrepase los 20 de índice de radiación ultravioleta tipo B (El Comercio, 2019).

En la región Ayacucho, específicamente en la ciudad de Huamanga la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ayacucho cuenta con un Solmáforo o conocido como el Semáforo solar, el cual fue colocado desde finales del 2015 e inicios del 2016, este equipo se encarga de medir la Radiación Ultravioleta de tipo B, desde ese año es que se viene realizando las mediciones de la radiación UV-B y la GRNGMA viene realizando reportes, por ejemplo el año 2016 del mes agosto se realizaron reportes con valores máximos de 13, mientras que a partir de octubre se verifica que se eleva a 18 (SIAR Ayacucho, 2016).

Por toda la problemática mencionada respecto a la RUV-B, es que nace la necesidad de conocer cuál es la relación que posee con las variables meteorológicas de la estación meteorológica del gobierno regional de Ayacucho de los años 2019, 2020 y parte del 2021, con la finalidad de evaluar la relación que guardan estas variables frente a la radiación ultravioleta tipo B.

## 1.2. Justificación

De acuerdo a las investigaciones realizadas en la zona ecuatorial, llegaron a la conclusión de que mientras se esté más cerca de la zona mayor radiación se recibe, siendo Perú uno de los primeros países que mayor incidencia tiene el sol, seguido de Bolivia, Argentina y Chile, así mismo, se sabe que existe un agujero de Ozono que al parecer existió desde el inicio de los tiempos, siendo esta una de las causas principales por el que el país recibe mayor radiación solar (Laboratorio de Física de la Atmósfera, 1995).

Tomando como ejemplo a la ciudad de Tumbes, el cual es uno de las regiones más cercanas a la zona ecuatorial, en el que Cánepa, y otros (2014) realizaron una investigación basada en el Nivel de Radiación Solar UV, nos mencionan que los valores de radiación solar diaria llegan hasta  $1999 \text{ W/m}^2$ , la exposición constante a la radiación solar podría tener efectos severos en los seres vivos, los ecosistemas, etc.

El debilitamiento de la capa de ozono desafía la supervivencia de la población peruana, también amenaza a los ecosistemas, ante esta problemática es que en la década de los 80 se firmó el Protocolo de Montreal, en el que los países se comprometían en reducir las emisiones de CFC, pero a la actualidad no hubo ningún avance en disminuir las emisiones (Custodio y Córdor, 2019).

Por todo lo mencionado con anterioridad es fundamental el desarrollo de la presente investigación, ya que en la ciudad de Huamanga es poca la información sobre la relación de la Radiación Ultravioleta tipo B con las variables meteorológicas, y una vez evaluado se podrá conocer la relación que guardan estas variables.

### 1.3. Presuposición Filosófica

“E hizo Dios las dos grandes lumbreras, la lumbrera mayor para que señorease en el día, y la lumbrera menor para que señorease en la noche: hizo también las estrellas” (Génesis 1:16)

La presencia del sol es sumamente importante para la existencia de la vida tal y como lo conocemos, esta estrella nos aporta luz y calor, así mismo, ilumina al planeta (haciendo posible la existencia del día y la noche), también se sabe que gracias al sol las plantas producen fotosíntesis, (modificando el  $\text{CO}_2$  a  $\text{O}_2$ , haciendo posible la existencia del ser humano y demás seres vivos, no sólo por el hecho de que nos proveen de oxígeno, sino también porque nos proporcionan de alimento, ya que sin estos no existimos).

De igual forma la radiación que produce el sol viene siendo aprovechada para la obtención de electricidad (esta energía proveniente del sol es ilimitada, siendo un recurso renovable) y empleado en diferentes sectores de la industria, sin duda el sol es vital para la existencia de vida en la tierra.

Sin embargo, durante las últimas décadas la actividad del hombre viene perjudicando la capa de  $\text{O}_3$ , el cual actúa como filtro frente a los diferentes tipos de radiación que emite el sol, siendo las más perjudiciales los de tipo B y C, y como la capa de ozono se está debilitando ya no tiene la capacidad de retener estas radiaciones, en especial las de tipo B.

Si seguimos con nuestra conducta (emitiendo gases perjudiciales a la atmósfera que debiliten la capa de ozono), no pasará más de una década para que se sientan los resultados de no optar por vías más amigables y sustentables con el medio ambiente, esto quiere decir que la radiación ultravioleta de tipo C (extremadamente perjudicial para el ser vivo) se hará presente entre los seres vivos, el cual generará grandes daños, haciendo imposible la exposición al sol.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. *Objetivo General:***

Evaluar la relación de la radiación ultravioleta tipo B con las variables meteorológicas, Huamanga-Ayacucho.

### **1.4.2. *Objetivos específicos:***

- Modelar la Radiación Ultravioleta tipo B del solmáforo, Huamanga-Ayacucho de los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021.
- Modelar las variables meteorológicas de la estación meteorológica del Gobierno Regional de Ayacucho, Huamanga-Ayacucho de los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021.
- Determinar el tipo de relación que existe entre la radiación ultravioleta tipo B con las variables meteorológicas, Huamanga-Ayacucho, de los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021.

## CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes:

#### 2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

Neale, y otros (2021) “Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020”, este análisis del Panel de Evaluación de Efectos Ambientales (EEAP) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) proporciona la última actualización científica, mediante diversos estudios, en el que muestran los efectos interactivos entre la capa de ozono estratosférico, la radiación ultravioleta solar (UV) y el cambio climático, los cuales se presentan en el marco del Protocolo de Montreal y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas. Uno de los estudios dio como resultado que las cantidades bajas en la columna total de ozono (TOC) dio lugar a anomalías sin precedentes en la radiación solar UV-B sobre el Ártico. Los datos analizados tuvieron mediciones en diez ubicaciones árticas y sub-árticas y observada por el Instrumento de Vigilancia del Ozono (OMI) en el satélite Aura de la NASA. Las anomalías de radiación UV fueron particularmente grandes entre principios de marzo y mediados de abril de 2020. Los índices UV medidos en 2020 superaron la media histórica (2005-2019) hasta en un 100%. En varios lugares del norte de Canadá y Escandinavia, los medios históricos fueron superados. Además, otra de las investigaciones sobre las tendencias de la radiación UV de varias estaciones europeas, de Europa septentrional y el Ecuador, confirmaron que lugares fuera de las regiones polares, tuvieron cambios a largo plazo en la radiación UV-B y se rigen principalmente por variaciones en las nubes, aerosoles y reflectividad superficial, estos resultados están corroborados por datos satelitales.

Finalmente al realizar otros estudios llegaron a la conclusión de que la radiación UV-B en latitudes bajas y medias aumente en la segunda mitad del siglo XXI debido a la menor cobertura de nubes resultante del aumento de los gases de efecto invernadero, para poder llegar a esta conclusión se utilizaron simulaciones con un modelo climático de química (EMAC) para el período 1960-2100 para derivar tendencias en la radiación perjudicial para el ser humano, en el que se prevé que entre 2050 y 2100 la irradiancia nociva para el ser vivo incremente en un 1,3% por década, la tendencia de la irradiancia perjudicial se atribuyó a una disminución estadísticamente significativa en la cubierta de nubes de 1,4% por década como resultado del aumento de los GEI. El estudio sugiere que los cambios en la irradiancia UV-B en latitudes bajas y medias durante la segunda mitad del siglo XXI estarán dominados por factores distintos de los cambios en el ozono estratosférico. Sin embargo, estas proyecciones dependen de la descripción precisa de las nubes por modelos climáticos.

***“Sphagnum growth as an indicator of wavelength-specific UV-B penetration through the ozone layer”*** de Mironov, Kondratev, & Mironova, (2020) analizaron la respuesta de las tasas de crecimiento diario del *Sphagnum riparium* a la radiación UV de longitudes de onda 200 a 310 nm registradas fuera de la atmósfera terrestre por el satélite SORCE. El área de estudio es un cieno de *Sphagnum* de 0.12 ha y se encuentra en la parte sur de Carelia (Rusia), una de las características principales del musgo de turba *Sphagnum riparium* es su crecimiento rápido de sus brotes y los marcadores innatos fácilmente reconocibles.

Este estudio se realizó en 4 años, en el que monitorearon el crecimiento de estos musgos mediante el método de curvatura geotrópica, las mediciones se realizaron durante 4 temporadas en una serie de parcelas de 9 m<sup>2</sup> (4 en el año 2015, 11 en el 2016, 13 en 2017 y 6 en el 2018), teniendo como resultado 539 valores de crecimiento diario de esfagno, basados en 3746 valores de



crecimiento diario para parcelas individuales y 96.668 mediciones de crecimiento de brotes. Los datos indican que sólo las longitudes onda superiores a 286 nm inhiben el crecimiento de Sphagnum, mientras que las longitudes de onda más cortas no afectan el proceso de crecimiento de las plantas. Se concluyó que las plantas con mayor sensibilidad UV tienen potencial indicador para la evaluación de la penetración de las longitudes de onda UV solares más cortas a través de la capa de ozono.

La investigación titulada “*Linkages between stratospheric ozone, UV radiation and climate change and their implications for terrestrial ecosystems*” Broenman, y otros (2019) realizan diferentes estudios sobre la exposición de plantas y animales a la radiación ultravioleta-B (UV-B; 280-315 nm) y como se modifica por la dinámica del ozono estratosférico y el cambio climático (CC).

El CC puede afectar el agotamiento del ozono por varias vías, como los gases de efecto invernadero que pueden aumentar el calentamiento de la atmósfera, alterar los patrones meteorológicos regionales, incluidos temperatura y precipitación, a los ecosistemas al alterar la disponibilidad de humedad y condiciones térmicas críticas para el crecimiento, la reproducción, y supervivencia, además puede modificar el agotamiento del ozono estratosférico perturbando la dinámica de la temperatura entre la estratósfera y la tropósfera. También se observa que el agotamiento del ozono estratosférico en el hemisferio sur contribuye directamente al cambio climático, es así que observaron los patrones cambiantes de circulación atmosférica que, a su vez, afectan las condiciones climáticas, las temperaturas de la superficie del mar y la frecuencia de los incendios forestales, así como a la radiación UV-B. Los cambios en los patrones climáticos estacionales y las condiciones del cielo están trayendo períodos de altas temperaturas, que a menudo van acompañados de alta radiación solar, incluida la radiación UV-B, en los próximos 10

años se espera que la menor nubosidad conduzca a un aumento de la radiación UV-B y futuras sequías estacionales en los sistemas ecológicos mediterráneos. Por lo tanto, los efectos interactivos de la sequía y la radiación UV-B deben considerarse en el contexto de las condiciones actuales y futuras, en particular el calentamiento de las temperaturas, es necesario tener en cuenta la vigilancia del ozono estratosférico para evaluar las posibles consecuencias de cualquier cambio repentino en la trayectoria prevista de recuperación del ozono, y la respuesta de los ecosistemas terrestres al aumento o disminución de la radiación ultravioleta.

Jansen, y otros, (2019) “*Editorial: Interactive Effects of UV-B Radiation in a complex environment*” trata sobre las discusiones que tuvieron lugar durante un taller celebrado en junio de 2017 en el Instituto de Investigación del Cambio Global, en República Checa, centrándose en los efectos interactivos de la radiación UV-B en un entorno complejo. Con el objetivo de explorar estas interacciones recíprocas entre la radiación UV y otras variables ambientales, los principales temas abordados fueron ¿cómo es que la RUV-B afecta en el crecimiento de las plantas? y ¿cómo estas se adaptan?, uno de los principales factores relacionados a los rayos UV-B fueron las sequías, y es que en latitudes más bajas es probable que la ausencia prolongada de lluvia se asocie a altas radiaciones UV-B, aunque no necesariamente es cierto lo contrario, es decir, la alta irradiancia UV-B también puede prevalecer en presencia de suficiente suministro de agua. Así mismo, los gradientes latitudinales de temperatura, radiación global y radiación UV muestran disminuciones con el aumento de latitud, de igual modo se observa que en ángulos bajos cenitales la radiación UV-B tiene una fuerte disminución por el paso de la radiación solar a través de la atmósfera.

Uno de los estudios discutidos fue que la exposición previa a la radiación UV-B de una planta indujo tolerancia a la sequía, desde una perspectiva evolutiva. La radiación UV-B puede ser considerada como uno de los primeros factores estresantes hacia a las plantas. Es por ello que esta

editorial no sólo hace hincapié en el impacto casi omnipresente de la radiación UV en la planta y su respuesta a otras variables ambientales, sino que también establece una nueva hipótesis sobre el papel funcional de la radiación UV-B, siendo relevante en el contexto de alguno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad.

El estudio sobre “*Deadly Ultraviolet UV-C and UV-B Penetration to Earth’s Surface: Human and Enviromental Health Implications*” de Herndon, Hoisington, y Whiteside, (2018) con el objetivo de realizar múltiples mediciones en la superficie de la Tierra del espectro de irradiación solar en el rango de 200-400 nm se realizaron numerosas mediciones del espectro de radiación solar y es que se cree ampliamente que el ozono (O<sub>3</sub>) y el oxígeno atmosférico (O<sub>2</sub>) impiden que más del 90% de la radiación UV-B (290-320 nm) y toda la radiación UV-C (100-290 nm) lleguen a la superficie de la Tierra. Por ello las mediciones realizadas del espectro de irradiación solar a una elevación de 56 m con the Spectral Radiometer de International Light Technologies ILT950UV con resolución manométrica fraccionada en la porción de longitud de onda corta del espectro ultravioleta (UV), los niveles de potencia se midieron en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ , el cual, fue certificado según la norma ISO 17025, proporcionando un escaneo espectral completo de 200 a 450 nanómetros cada 2 segundos, y los resultados en 1.854 puntos de datos recogidos de 200 a 450 nm en el escaneo, que se repetirá cada 2 segundos.

La medición de los espectros de irradiación solar en el rango de 200-400 nm demuestra de manera concluyente que todas las longitudes de onda en ese rango espectral alcanzan la superficie de la Tierra, contrariamente a la percepción generalizada de que todos los UV-C y la mayoría de los UV-B nunca llegan a la superficie, con esto proporcionamos información introductoria sobre los efectos devastadores de los rayos UV-B y UV-C en seres humanos, fitoplancton, coral, insectos y plantas.

Schwarz, y otros, (2018) investigan la “*Influence of low ozone episodes on erythemat UV-B radiation in Austria*” durante el período 1999-2015. Con este fin, recolectaron datos de TCO (columna total de Ozono) de 04 sitios en la Región Alpina Mayor, mediciones UV en tierra de 12 sitios de la red de monitoreo UV-B de Austria y datos de duración de la luz solar de semi-estaciones meteorológicas automáticas del Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) de Austria desde 1999 al 2015.

Todos los conjuntos de datos del ozono analizados fueron obtenidos con espectrofotómetros Brewer utilizando el principio de la espectroscopía de absorción óptica diferencial, de igual modo, la data de radiación UV fue recibida con una resolución temporal de 30'. Para el procesamiento de los datos se desarrolló un nuevo enfoque de umbral que tiene en cuenta las anomalías que proporcionan un marco conjunto para el análisis de los extremos, en este marco analítico los valores medios diarios de UVI y TCO se convierten en desviaciones de las medias diarias climatológicas (derivadas a partir de medias mensuales interpoladas linealmente) en términos de desviación estándar (interpolada linealmente)

Por ende, el análisis conjunto de anomalías tanto del índice UVI y ozono total ( $\Delta$ UVI,  $\Delta$ TCO) y SDrel (duración de la luz solar) a través de sitios mostraron que más del 65% de las observaciones con anomalías de ozono fuertemente negativas ( $\Delta$ TCO  $< -1$ ) condujeron a anomalías de UVI positivas. Considerando sólo días con anomalía de UVI fuertemente positiva ( $\Delta$ UVI  $> 1$ ), es más encontraron que alrededor del 90% corresponden a  $\Delta$ TCO negativo, el 10% restante de días ocurrieron durante las condiciones climáticas justas (SDrel  $\geq 80\%$ ) explicando la aparición de  $\Delta$ UVI  $> 1$  a pesar de anomalías positivas de TCO. Además, introducimos un factor de amplificación de anomalías (AAF), que cuantifica el cambio esperado del  $\Delta$ UVI para un cambio dado en  $\Delta$ TCO.

**“Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation”** Bais, y otros, (2015) realizaron este estudio con la finalidad de evaluar la importancia de los factores que determinan la intensidad de la radiación UV en la superficie de la tierra. Los factores evaluados fueron el ozono atmosférico y la relación con el cambio climático, variaciones de la radiación UV en el pasado y presente, proporcionando proyecciones a futuro, estos valores tienen gran influencia como monitor del Protocolo de Montreal y sus enmiendas, así mismo, evaluaron los aspectos de la radiación UV con los efectos en el ecosistema y la salud humana, durante esta investigación hallaron que las variables de reflectividad, nubes y el ozono atmosférico tienen mucho que ver con la cantidad de radiación UV-B y UV-A que pasa a la superficie de la tierra, además la reflectividad depende del material del suelo, también la otra variable importante que regula la cantidad de radiación es el aerosol, el cual tiene mucha relación con la disminución del ozono, llegando a causar elevadas radiaciones sobre la Antártida. En fin, las disminuciones en la radiación UV-B son atribuibles al comienzo de recuperación de la capa de ozono, también los aerosoles son importantes para el futuro de los niveles de radiación en áreas densamente pobladas, sin embargo, los efectos previstos aún son inciertos.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Ccora y Aguirre (2021) redactaron y analizaron el **“Boletín Mensual: Vigilancia de la radiación UV-B en ciudades del país”** basado en las mediciones realizadas en diferentes puntos de las regiones del Perú, en el que observa los resultados del monitoreo del índice de radiación UV indican que hubo un ligero incremento en el mes de agosto, de igual modo, describen que la radiación de onda larga (ROL) tuvo anomalías positivas ( $+5\text{W}/\text{m}^2$ - $25\text{W}/\text{m}^2$ ) generando el incremento de la radiación ultravioleta.

Uno de los factores determinantes en la variabilidad de la UVI son los aerosoles, estos se miden en AOD (profundidad óptica del aerosol) con resultados de: 0.1-0.2 (costa norte), 0.16-0.29 (costera, central sur), 0.20-0.50 (zona andina), 0.16-0.10 (centro sur) y 0.20-0.70 (selva). Así mismo, el CAMS (Servicio de Monitoreo de la atmósfera de Copernicus) proporcionó datos de las mediciones realizadas en el Perú, del cual la zona andina tuvo valores de radiación extremadamente alto.

Polo y Miranda (2020) “*Cuantificación y Caracterización de la Radiación Ultravioleta-B en la Ciudad de Tacna, Periodo: 2012-2014*”, este estudio fue realizado con la finalidad de cuantificar los niveles de la radiación UV-B y la calificación de exposición en la ciudad de Tacna de los años 2012 a 2014, los datos usados en esta investigación fueron recopilados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú de la estación meteorológica agrícola principal Jorge Basadre Grohmann de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna mediante la red de monitoreo de la radiación UV-B, el instrumento usado para las mediciones fue el Biometer Solar Ligth modelo 501.

Una vez que procesaron y analizaron los datos obtuvieron el resultado de 8 a 12 del índice UV en el horario de 11 a 13 horas del día, categorizados de muy alto a extremadamente alto de acuerdo a la OMS (2002), los cuales tienen relación con la ubicación geográfica, el deterioro de la capa de ozono y otros factores.

“*Estudio y Análisis de la actividad Solar, Radiación Solar Global y Radiación UV en la Ciudad de Arequipa*” (Chambi Laura, 2018) para esta investigación usaron datos satelitales publicados en 2 plataformas en línea: en primer lugar se tiene a SILSO (Sunspot Index and Long-term Solar Observations) centro de datos de preservación y difusión del número de manchas solares, esta plataforma contiene datos desde el año 1700 y se puede hallar en

<http://sidc.oma.be/silso/>. En esta investigación usaron datos de 1749 al 2017 (recopilando un total de 3228 datos), de igual modo la plataforma número 2 usada es el SPACEWEATHER que publica datos del número de manchas solares, intensidad del campo magnético, velocidad del viento solar y densidad, estos datos los mide la red de cámaras de la NASA desde el 2001, en esta investigación usaron datos del 2001 a 2015 (6051 datos).

Mientras tanto los datos de la radiación ultravioleta lo obtuvieron gracias al SENAMHI que mide los datos en mención y la radiación solar en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, registrados con la estación meteorológica VANTAGE Pro2 Plus, cuyos datos fueron obtenidos en forma horaria de 6 a 18 horas desde julio del 2001 al 2015. Una vez procesado y analizado tuvieron resultados de los meses de verano ( $1000 \text{ W/m}^2$  e índice UV 14 a las 12 horas del día) e de invierno ( $500$  a  $700 \text{ W/m}^2$ ) con índice UV entre 7 a 10.

*“Determinación de la irradiación solar, como potencia incidente por unidad de superficie, y los rayos ultravioletas UV-A y UV-B en Pucallpa Perú 2016”* Barreto (2017) para esto se usó el piranómetro Kipp y Zonen SP Lite 2 durante todo el año 2016 con mediciones de 7:00 a 17 horas del día, el área de estudio se ubicó en las instalaciones de la estación meteorológica del Universidad Nacional de Ucayali. También se instaló un registrador de datos automático Arduino que ayudaron a procesar los datos en Excel, de esta manera se procedió a hallar la irradiancia solar (producto de la irradiancia solar por horas picos del sol) una vez obtenido estos valores, se procedió a hallar la radiación ultravioleta, para el cual usaron 2 métodos: la primera consiste en el producto del nivel de radiación real que ingresa por la ponderación, este método toma en cuenta factores de nubosidad y altitud, mientras que el segundo método consiste en usar los datos del piranómetro. El resultado del análisis de irradiancia solar mostró que el valor mínimo es de  $6.533 \text{ Wh/m}^2$  y  $231.7 \text{ Wh/m}^2$  máximo, en último lugar los resultados del índice de radiación

UV es alto (10-14) de 10 de la mañana a 14 horas del día, en resumen, a partir de las 10 horas los valores del índice UV fueron superiores a 8 y  $> 13,5$  a partir de las 12 del día.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

En la Región de Ayacucho Gómez (2017) investigó sobre los “**Niveles de Radiación Ultravioleta (UV) en la Ciudad de Ayacucho Periodo 2006-2011 e Incidencia de Cáncer de Piel en la Población**” Este estudio nació de la necesidad de conocer los niveles de radiación ultravioleta, el cual tiene un incremento acelerado debido al deterioro de la capa de ozono, la finalidad de la presente investigación es el de analizar los niveles de radiación UV del 2006 al 2011 y la incidencia en la salud (cáncer de piel), el cual permitirá a la población, autoridades regionales y personal de la salud a conocer sobre los niveles de RUV y poder actuar frente a ello.

Para esto realizaron la captura de los datos de la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, los datos recopilados fueron (T° extrema, T° máx. T° min, Humedad, radiación solar, índice UV. El horario de medición de los datos fue de 9:00 a.m. a 5:00 p.m. del 2006 al 2011, así mismo, se obtuvieron las estadísticas del MINSA e INEN sobre el porcentaje de las personas con cáncer en la piel (ciudadanos que viven en Ayacucho), a la par se realizó una encuesta para obtener información, sobre antecedentes de quemaduras y/o cáncer, conocimiento, actitudes y medidas de fotoprotección a la exposición RUV, se encuestó a un total de 383 habitantes ( $> 15$  años) de los distritos de Jesús Nazareno, Ayacucho, Carmen Alto y San Juan Bautista.

Los datos obtenidos de la estación meteorológica, del MINSA y de la encuesta realizada se procesaron en SPSS v.18 y Excel, teniendo como resultado que durante el periodo de 2006 a 2011 los habitantes de Ayacucho estuvieron expuestos a categorías altas, muy altas y extremas de radiación UV.



## 2.2. Marco Legal

A nivel marco legal, el Perú cuenta con las Ley 30102 que describe las disposiciones que se debe tener en la exposición a los rayos ultravioleta B (UV-B), el cual fue aprobado el quince de octubre del 2013, sin embargo, al 2021 aún no se cuenta con la reglamentación. Seguido a esta ley se tiene la Ley 31110 régimen laboral del sector agrario, aprobado mediante DS N° 006-2021-TR, en esta ley se detalla las obligaciones del empleador en caso los trabajadores se expongan a los rayos UV. De igual manera, mediante Resolución Presidencial Ejecutiva N° 265-2016-SENAMHI se aprobó la escala de colores de la Nota Técnica N° 002-2016/SENAMHI para el monitoreo de la radiación UV.

**Tabla 1**

*Normativa Internacional sobre monitoreo de la Radiación Ultravioleta*

Normativa Internacional			
N°	País	Normativa	Descripción
01	España	UNE-EN 1836:2006+A1:2008	Equipo ocular personal - Gafas de sol y filtros para protección contra radiación solar.
		UNE-EN 14255-3:2009	Monitoreo y evaluación de exposición de personas a la radiación óptica incoherente. Parte 3: Radiación ultravioleta emitida por el sol.
02	Estados Unidos	Ley de Aire Limpio	Establece criterios, disposiciones para la disminución de constaminantes, bruma regional, incentivos al uso de tecnologías limpias, reducción de contaminantes del aire, entre otros.
		Ley 20096, Código del trabajo y Ley N° 16744.	Describe el uso de los elementos de protección en caso se trabaje bajo la influencia de los rayos ultravioleta, obligaciones de empleadores, entre otros (Moreno, 2021).
03	Chile	Guía Técnica de radiación UV de origen solar (2011)	Se encuentran las obligaciones de los empleadores, evaluación y cuantificación de riesgos y medidas

---

			de control frente a la exposición de la radiación UV.
		Dirección Meteorológica de Chile.	Organismo encargado del monitoreo de los factores meteorológicos de Chile, creado el 26/03/1884. Este organismo es responsable de la medición del índice de radiación UV-B diario y anual (Dirección Meteorológica de Chile, 2021).
		Decreto Ejecutivo 2393	Protección de trabajadores en caso de exposición a la radiación UV.
<b>04</b>	Ecuador	Acuerdo N° MINEDUC-2018-00098-A	Lineamiento que establece la protección de los escolares a exposición de los rayos UV (Falconí, 2018).
		Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.	INAMHI (2021) institución encargada de realizar monitoreo de la radiación UVB en tiempo real.
		Proyecto de Ley 129 Senado	En archivos
<b>05</b>	Colombia	Instituto de Hidrología, Meteorología y Aspectos Ambientales.	Realizan el monitoreo de a radiación solar mediante el piranómetro, que dio pase a la elaboración de un Atlas solar (IDEAM, 2021).
<b>06</b>	España	UNE-EN 1836:2006+A1:2008	Equipo ocular personal - Gafas de sol y filtros para protección contra radiación solar.

---

Nota: Tabla elaborada a base de recopilación de las normas legales de los distintos países.

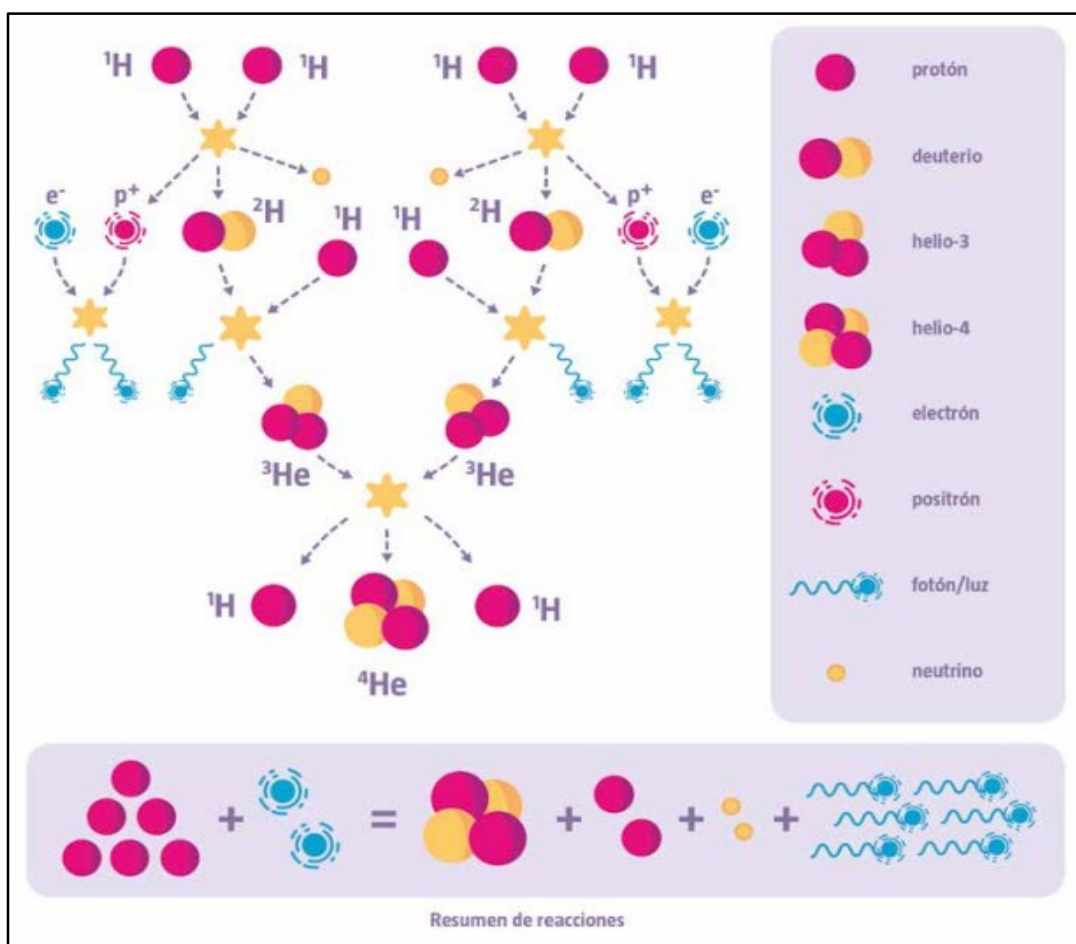
### 2.3. Sol

El sol es una estrella del sistema solar que produce luz propia, compuesto por helio (24%), hidrógeno (75%) y metales de astronomía (oxígeno, carbono, neón y otros) de 1 391016 kilómetros de diámetro. La gran luminosidad que se observa es debido a la cercanía que tiene el planeta tierra con el sol (150 millones de distancia), además, el brillo se atribuye a las fusiones nucleares que se producen en su interior (Uribe, 2021).

Estas fusiones se producen por la unión de átomos de hidrógeno para dar paso al helio, para la formación de un átomo de helio se necesitan 4 átomos de hidrógeno, este proceso inicia con la unión de 2 átomos de hidrógeno que dará paso a la formación de un electrón, positrón, neutrino, fotón y un deuterio que se une con un átomo de hidrógeno del cual nace un helio-3, el helio-3 se une con otro helio-3 y forma el helio-4 tal como se puede apreciar en la Figura 1 (Beamin, 2019) y (National Geographic, 2019).

**Figura 1**

*Proceso químico de Fusión nuclear en el interior del sol*



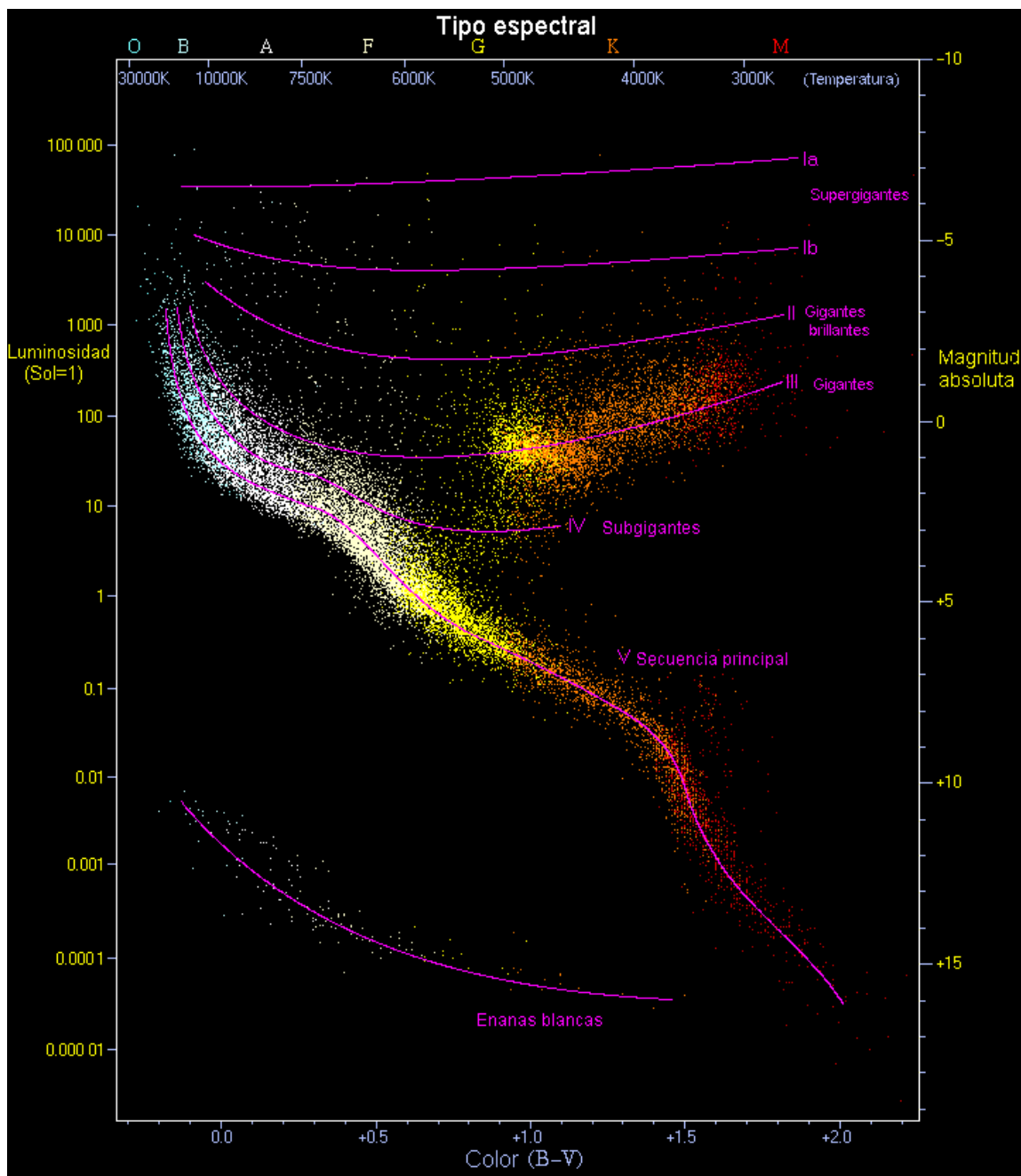
Nota: Figura adaptado del libro Astronomía Ilustrada, por Beamin (2019)

National Geographic España (2021) describe al sol como una estrella de aproximadamente 4500 a 5000 millones de años, las investigaciones realizadas por diferentes científicos concluyen en que el sol se encuentra en la mitad de su vida (estrella adulto joven), asimismo, posee el 98% de toda la masa del sistema solar, de igual modo, la intensa atracción que ejerce sobre los ocho planetas (cuatro terrestres y 4 jovianos) hace que giren a su alrededor.

De acuerdo al diagrama realizado por Hertzsprung Russell (clasificación de las estrellas por el tipo espectral y luminosidad) el sol se encuentra dentro de la secuencia principal con clasificación espectral de G2 (denominada enana amarilla) V (intensidad de luminosidad) G2V, en la Figura 2 apreciamos mejor el diagrama elaborado por Hertzsprung Russel (Escamilla, 2010).

**Figura 2**

*Diagrama de clasificación de estrellas por el tipo espectral y luminosidad.*



Nota: La Figura 2 fue extraído de la publicación sobre el Sol de la NATIONAL GEOGRAPHIC (2021)

La energía que se produce por la fusión nuclear en el interior del sol tarda miles de años en llegar a la superficie de la estrella y tan sólo 8 minutos en llegar a superficie terrestre (la

radiación solar viaja a una distancia de una unidad astronómica), de igual modo, el sol es responsable de todas las formas de vida, variaciones climáticas, responsable principal del día y la noche en la superficie terrestre (Lantos, 2021). En la Tabla 2 y Figura 3 se aprecia las diferentes zonas con el que cuenta el sol.

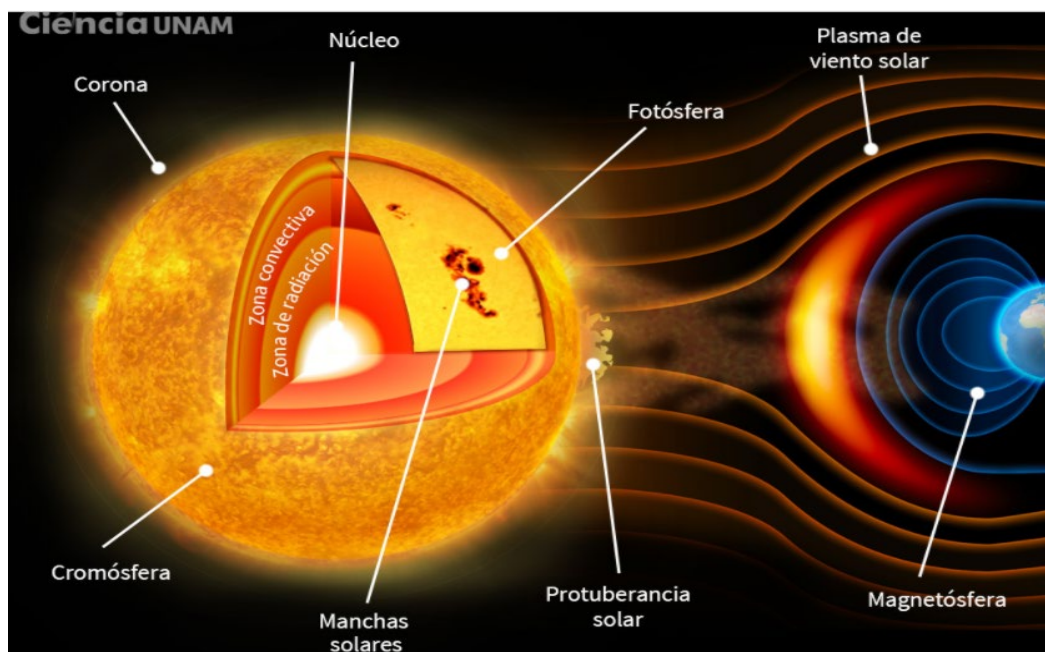
**Tabla 2**

*Descripción de la estructura solar*

N°	Zona	Descripción
01	Núcleo	Centro de producción de la energía (proceso de transformación de H a He) que son transportados por los fotones a través de la zona radiativa hasta llegar a la superficie (Gómez, 2019).
02	Zona Radiativa	Compuesta por plasma (H y He ionizado), en esta zona la T° disminuye drásticamente (esto ocurre al llegar a la zona de transición llamada Tacoclina) (Beamin, 2019).
03	Zona Convectiva	En esta zona se produce el transporte de energía mediante convección debido a las celdas convectivas (movimiento de los gases hirviendo que ocasiona el transporte de energía al exterior) (Geographic, 2021).
04	Fotósfera	Capa superficial que ocupa aproximadamente entre 300 a 500 km, esta zona da lugar a la producción de manchas solares por la baja T°, también esta zona es capaz de absorber y emitir radiación, además se producen las famosas explosiones (IDEAM, 2021).
05	Cromósfera	La cromósfera se puede observar por breves instantes durante el eclipse, aquí se producen las espículas (chorros de plasma) y lo que caracteriza esta zona es el aumento de la temperatura (Doddoli, 2021).
06	Corona	La temperatura de la corona oscila entre el millón de kelvin, siendo visible durante el eclipse al igual que la cromósfera, sin embargo, el avance de la ciencia hace posible que con el cronógrafo se pueda apreciar (Planas, 2021).

### Figura 3

*Descripción de la clasificación de la estructura solar*



Nota: Figura extraído del Sol la estrella más cercana a la tierra, por Doddoli (2021)

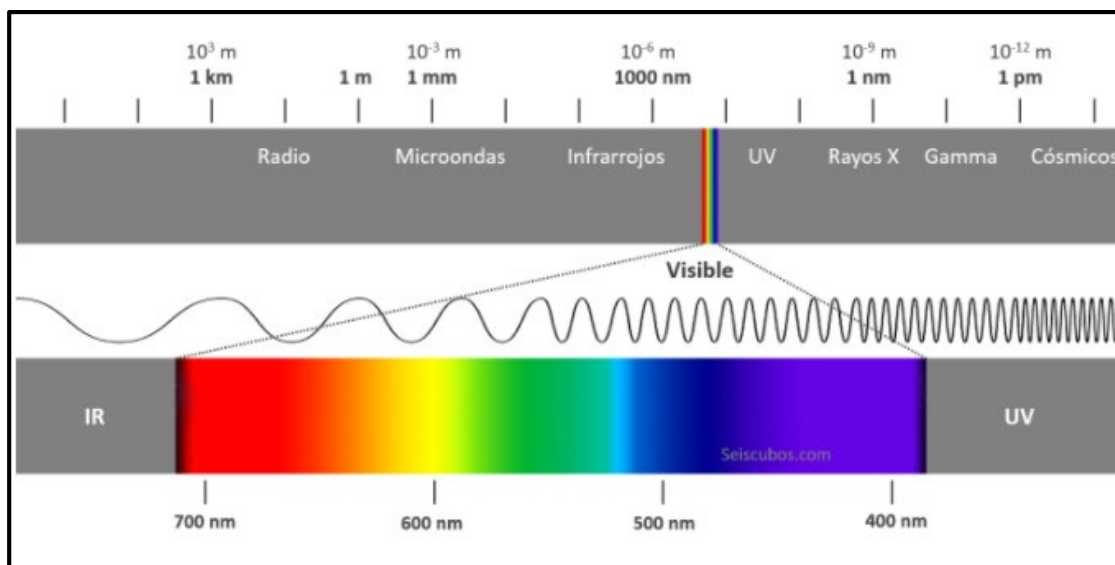
Así como el sol repercute positivamente en las distintas formas de vida en el planeta tierra, también tiene un lado negativo que se traduce en tormentas solares que afecta a la tierra (esta tormenta se observa comúnmente como las auroras boreales y australes) según su intensidad puede afectar a las redes eléctricas y dejarnos sin comunicación por días, semanas e incluso meses (Rodríguez, 2021).

#### 2.4. Radiación Solar

IBERDROLA (2021) y el Gobierno de España-Ministerio de Ciencia e Innovación (2017) describen a la radiación solar como la energía que emite el sol en diferentes direcciones del espacio mediante ondas electromagnéticas y parte de ella llega a la tierra. La radiación solar es fuente primordial para el funcionamiento de los procesos climatológicos y atmosféricos, siendo fundamental para la supervivencia de la vida. En la Figura 4 y Tabla 3 se observa lo que contiene las ondas electromagnéticas.

**Figura 4**

*Espectro completo de la energía electromagnética clasificada por longitud de onda*



Nota: Obtenido de Efecto de la Radiación Solar en la Tierra, por Ordoñez (2021).

Asimismo, la radiación que llega a la superficie terrestre sufre debilitamiento en su paso por la atmósfera. Uno de ellos es la reflexión que se da por la presencia de nubes, de igual modo, la absorción es responsable del descenso en 19-20% de la cantidad de radiación incidente, mientras tanto, la difusión genera que la energía se distribuya en distintas direcciones del planeta. Además, de los factores ya mencionados la disminución de la intensidad de la radiación dependerá de la ubicación geográfica, espesor de la capa de aire, estación del año, entre otros, esto supone la gran complejidad de los factores que influyen en la intensidad de radiación que llega a la superficie terrestre (Gonzales, 2021).

**Tabla 3**

*Subdivisión de las ondas electromagnéticas*

Nombre	Descripción
Rayos Gamma	Radiación electromagnética más fuerte, con longitud de onda inferior a 10 pm, sin embargo, la atmósfera impide su ingreso.



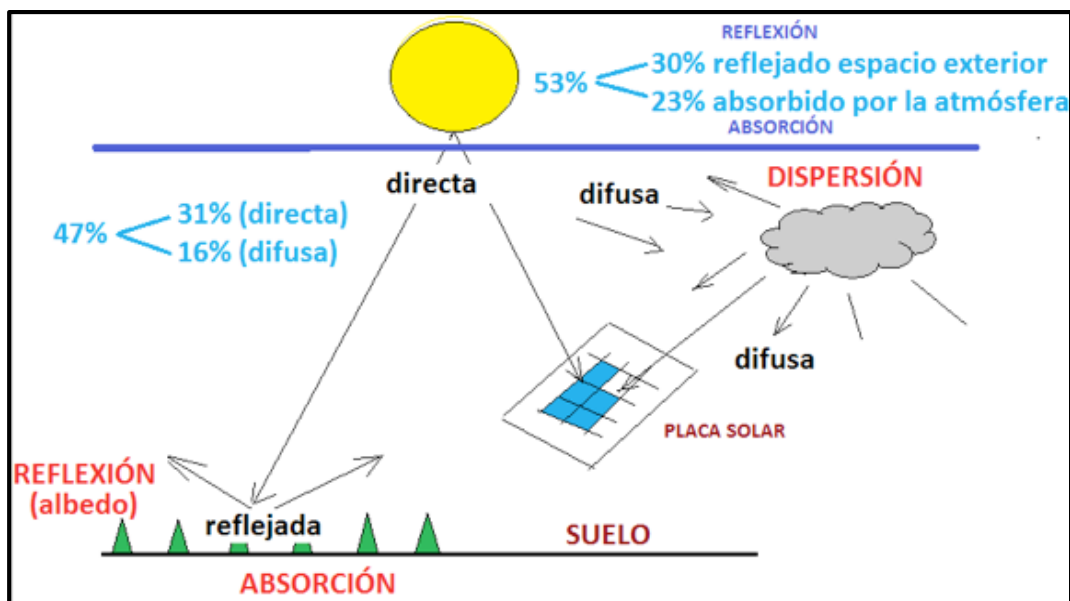
Rayos X	Con longitud de onda (10 pm a 10 nm), gran parte de estos rayos quedan atrapados en la atmósfera.
Radiación UV	Longitud de onda de 10 nm-400 nm, es la más dañina y es invisible al ojo humano.
Espectro visible	400 nm a 700 nm de longitud de onda, además es visible al ojo humano, los colores que posee este espectro son: violeta (400-470 nm), azul (470-505 nm), verde (505-590 nm), amarillo (590-610 nm), naranja (610-640 nm) y rojo (640-700) aproximadamente.
Rayos Infrarrojos	Con 780 nm a 1 mm, dividiéndose en 3 categorías (infrarrojo cercano (700 nm – 2.5 um), infrarrojo medio (2.5 um a 50 um) e infrarrojo lejano (50 um a 1 mm).
Radiación Microonda	Las clasificaciones más aceptadas lo sitúan en el rango de onda 1 mm a 30 cm, la radiación microondas tiene la capacidad de elevar la T° del agua.
Onda de Radiofrecuencia	Abracan longitudes de onda superior a 30 cm-100 000 km, la clasificación más detallada establece: ultra alta frecuencia (30 cm-1 m), muy alta frecuencia (1 m a 10 m), onda corta (10 m a 180 m), onda media (180 m-650 m), onda larga (650 m-10 km) y muy baja frecuencia (>10 km).

*Nota:* xxx. Obtenido de Efecto de la Radiación Solar en la Tierra, por Ordoñez (2021).

Para mejor estudio de la radiación solar que ingresa a la tierra se divide en tres, conocidos como los componentes de la radiación, como primer componente se encuentra la radiación directa (B) que de acuerdo a Martínez (2016) no tiene ninguna interrupción en su paso (viene en línea recta desde el sol a la tierra), como segundo componente se encuentra la radiación difusa (D) que se obtiene después de la dispersión que se da en la atmósfera y como tercer y último componente está la radiación reflejada (R) o radiación del albedo (AL), Perpiñan (2021) define al tercer componente como la radiación reflejada por la superficie terrestre, del mismo modo, la sumatoria de  $B + D + AL = RG$  (radiación global).

Figura 5

Componentes de la radiación solar



Nota: Obtenido de Componentes de radiación solar, por T-Solar, (2018).

## 2.5. Leyes que describen el comportamiento de la radiación solar

Tabla 4

Leyes que describen el comportamiento de un cuerpo negro

Ley	Descripción	Fórmula
Ley de Stephen-Boltzmann	“La energía emitida por un cuerpo negro por unidad de área y por unidad de tiempo ( $W/m^2$ ) es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta $T^{\circ} K$ ” (C.A., 2008). Es decir si conocemos la $T^{\circ}$ del cuerpo conocemos la intensidad.	$M = e_M T^4 [w/m^2]$ <p><b>M:</b> Emitancia [<math>w/m^2</math>]  <b><math>\epsilon_M</math>:</b> Emisividad, valor de <math>0 &lt; \epsilon &lt; 1</math>  <b><math>\sigma</math>:</b> Constante de Stephen, con valor de [<math>\sigma = 5.67 * 10^{-8}</math>] [<math>w/m^2 k^4</math>]  <b>T:</b> Temperatura en <math>^{\circ}K</math>.</p>
Ley de Wien (Ley de desplazamiento)	Describe que entre mayor sea la temperatura de un cuerpo negro menor será la longitud de onda con el que se desplaza (Lema y Zuleta, 2015). Es usado en la determinación de la $T^{\circ}$ de objetos radiantes como estrellas.	$\lambda_{MAX} T = 0.0028976 [m.K]$ <p><b>T:</b> Temperatura del cuerpo negro en <math>^{\circ}K</math>  <b><math>\lambda_{MAX}</math>:</b> Longitud de onda del pico de emisión</p>

---

Ley de Planck	Esta ley parte de que un cuerpo negro emite flujo de radiación estando en equilibrio térmico a temperatura absoluta (Escamilla, 2010).	$Q_{0\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)}$	<p><math>Q_{0\lambda}</math>: Poder emisor espectral en función a la longitud de onda (W/m<sup>2</sup>)</p> <p><math>\lambda</math> : Longitud de onda</p> <p><math>T</math>: Temperatura en °K</p> <p><math>C_1</math> y <math>C_2</math>: constantes</p>
Ley de Kirchhoff	Esta ley describe el poder de emitir radiación de un cuerpo y el coeficiente de absorción del mismo, que dependerán de la temperatura.	$\frac{W_1}{\alpha_1} = \frac{W_2}{\alpha_2}$	<p><math>W_1</math> y <math>W_2</math>: Total de la emitancia.</p> <p><math>\alpha_1</math> y <math>\alpha_2</math>: Coeficientes de absorción.</p>

---

## 2.6. Planeta Tierra

El planeta tierra se encuentra ubicado entre los planetas Venus y Marte, además, dentro del sistema solar y del sol se ubica en el tercer lugar, es el más denso y grande de los planetas terrestres (Mercurio, Venus y Marte). Asimismo, la distancia (150 000 000 de años) del sol la hacen ideal para la existencia de vida, debido a que si la tierra estuviera más cerca del sol (aumento de temperatura) o más lejos (disminución de luz solar y baja temperatura) la harían inhabitable (Beamin, 2019).

Echeverri (2020) describe a la tierra como el planeta de mayor campo magnético, gravedad superficial elevado y velocidad de rotación alta. Presenta achatamiento en los polos y ensanchamiento de la zona ecuatorial, estas dos características dan forma de un geoide a la tierra, es más gracias a esta particularidad los científicos desarrollaron diversos estudios como el desarrollo de los sistemas de longitud y latitud, entre otros.

Otra característica que describe Beamin (2019) es que la órbita terrestre es casi circular que da lugar a radiaciones exactas del sol para los diferentes procesos que dan lugar a la vida, igualmente, señala que el satélite Selene (Luna) es autor del cambio de mareas y contribuye a mantener el eje de rotación del planeta tierra, generando una inclinación de 23.5 °C que permite la existencia de las cuatro estaciones. En la Tabla 5 se describe las características generales de la tierra.

**Tabla 5**

*Características generales del Planeta Tierra*

Nº	Nombre	Descripción
01	Categoría	Planeta rocoso
02	Estrella	Sol
03	Diámetro	12 756 km
04	Velocidad orbital media	29.8 km/s
05	Gravedad	9.8 m/s <sup>2</sup>
06	Densidad	5,513 kg/m <sup>3</sup>
07	Masa	5.97*10 <sup>24</sup> kg
08	Tº superficial mínima	-89.2 °C
09	Tº superficial media	15 °C
10	Tº superficial máxima	56.7 °C
11	Radio ecuatorial	6371 km
12	Rotación	24 h
13	Traslación	365.256 días

Nota: Recopilado de Echeverri (2020), Astronomía (2021) y Planetario (2021)

La tierra es un planeta cubierto en su mayoría por agua en sus tres estados (líquidos, sólido y gaseoso), cubre alrededor del 71% de la superficie terrestre, asimismo, se sabe que el 97% del agua es salada (océanos y mares), el 2% corresponde a agua dulce en estado sólido y líquido (Casierra, 2017). Soto (2019) menciona que entre los elementos químicos más abundantes se

encuentra el hierro, magnesio (2%), silicio (27%) y oxígeno (48%) y el 23% lo conforman otros elementos en menores proporciones.

### ***2.6.1. Composición interna de la Tierra***

La tierra está compuesta por tres capas: atmósfera, hidrósfera (cubierta de agua) y geósfera, esta última corresponde a la estructura interna del planeta tierra. De acuerdo a Millones (2005) la última capa se subdivide en corteza, manto y núcleo, el núcleo es la capa en el que se encuentran materiales de alta densidad como el hierro y el níquel que a su vez soportan temperaturas altas, además, es preciso mencionar que la profundidad del núcleo está en el rango 2981 a 6378 km aproximadamente.

La siguiente capa interna es el manto, que de acuerdo a diversas investigaciones llegaron a la conclusión de que es la capa con mayor masa (68% aprox.), en este nivel es en donde ocurre gran parte de la actividad volcánica y sísmica, de igual modo, se sabe que está compuesto por silicatos de sodio, magnesio y otros. Dentro de esta capa también se encuentra la Astenósfera que comprende la parte superior del manto, otra característica es que las placas tectónicas se mueven por encima de esta capa. En general el Manto tiene profundidad de 37 a 2981 km (Beamin, 2019).

Finalmente tenemos a la corteza terrestre, es sin duda la capa más delgada y en el que se desarrollan gran parte de las actividades humanas y animales, la corteza es la parte externa del planeta que se subdivide entre corteza oceánica sobre los océanos y corteza continental por debajo de los continentes, compuesto por feldespatos, cuarzo y otros minerales en menor proporción, la profundidad de esta capa es de 0-37 km abarcando hasta los 60 km con la litósfera.

Cabe mencionar que aparte de la corteza terrestre, también, encontramos la litósfera que en sí representa a las placas con base de Isoterma de 1251 °C (Pabón, 2021) y (Folguera, Cichowols, Ramos, Aguirre, y Kornblihtt, 2021).

**Figura 6**

*División de la estructura interna del planeta Tierra*



Nota: Obtenido de Capas de la Tierra internas y externas, por GEOLOGIAWEB, 2021.

La región más interna de la tierra (núcleo) es de donde se da origen al campo magnético (este campo nos ayuda con el viento solar que produce el sol) de la tierra que protege a los seres vivos de las partículas que expulsa el sol.

### **2.6.2. *Movimiento del Planeta Tierra***

El movimiento del planeta es crucial en la cantidad de radiación solar que se recibe, además, condiciona los diferentes climas que existe en la superficie terrestre. Estos movimientos son conocidos como traslación, inclinación del eje (se encuentra en el rango de 21° a 24°) y la dirección en que apunta el eje, el científico Alejandro Robador afirma que estos tres componentes afectan directamente al clima terrestre, a esto se suma que el clima está en constante cambio, dado que, estos movimientos aportan a la existencia de las estaciones climáticas (Pozo, 2020).

Echeverri (2020) y Aeronáutico (2021) describen cuatro movimientos principales por el que se rige el globo terráqueo. Uno de los movimientos es la traslación que se da alrededor del sol en 365 días con 6 horas, de manera análoga, la traslación describe una órbita ligeramente elíptica que genera que en cierto momento la tierra se encuentre más alejado del sol (152 millones de km) conocido como afelio (ocurre a inicios de julio), a esto se suma el afelio en el que el planeta se encuentra más cerca del astro (alrededor de 147 millones de km) que ocurre en el mes de enero.

El segundo movimiento es la rotación que realiza alrededor de su eje que dura 23 h, 56 min y 4 segundos, teniendo como resultado la sucesión del día y la noche. De acuerdo a los fundamentos de Rosa Mediavilla investigadora del IGME (Instituto Geológico y Minero de España) el eje de rotación posee una inclinación que varía desde los 21° a 25°, esto significa que los ejes varían con el tiempo. En la actualidad el eje tiene una inclinación de 23, 5° en el que los veranos tienen altas temperaturas e inviernos muy fríos, en fin, las variaciones de los ejes se dan cada 40 000 años aproximadamente (Pozo, 2020), (Echeverri, 2020) y (Soto, 2019).

En conclusión, la NASA (2020) define que el periodo de rotación (rota de oeste a este) dura 23.93 horas o 0.99727 días terrestres, mientras, que la traslación (alrededor del sol) tiene una duración de 365.3 días y la inclinación que posee el globo terráqueo cada medio año aporta a que lleguen directo a la superficie terrestre, generando el cambio de las estaciones.

A esto se suma Pabón (2000) y Echeverri (2020) describiendo dos movimientos fundamentales que posee la tierra aparte de la rotación y traslación que ya se conoce, esto son: Precesión (movimiento circular del eje que dura 25779.9 años, este movimiento es importante porque se le atribuye la fuerza de gravitación que el astro solar ejerce en la tierra), Nutación (oscilación del eje de rotación en forma de trompo originado por el satélite Selene que tiene como consecuencia el desplazamiento del eje en 699,9 m en 18 años).

### **2.6.2.1. Solsticio y Equinoccio**

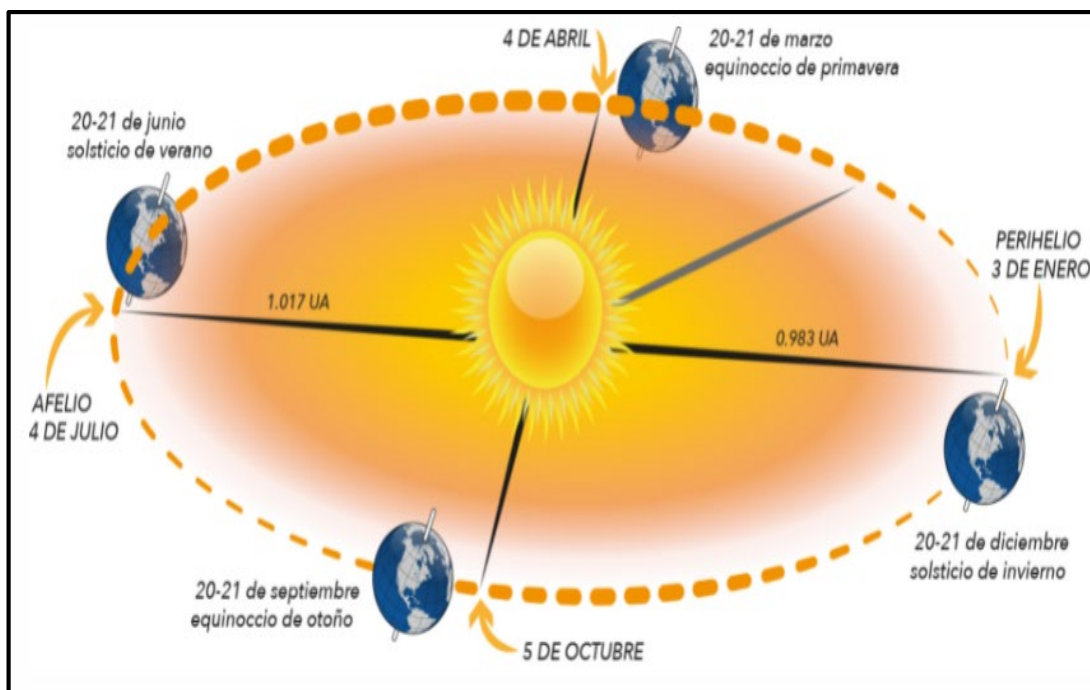
Durante el movimiento de traslación ocurre el cambio de las estaciones (primavera, otoño, verano e invierno) dando lugar a diferentes momentos conocidos como: solsticio de invierno, solsticio de verano, equinoccio de primavera y equinoccio de otoño. Cuando hablamos de solsticio de invierno nos referimos a días más cortos en un hemisferio sur y mayor duración de horas sin luz, de igual modo, se observa que los rayos del sol inciden mayormente en el trópico de capricornio, dado que, el polo sur se inclina más al astro solar. Mientras tanto, el solsticio de verano tenemos mayor duración del día y noches más cortas en el hemisferio norte, dando paso a mayor incidencia de rayos solares en el trópico de cáncer (Fundación Aquae, 2021) y (Martínez y Garbi, 2020).

El equinoccio es otro de los momentos generados por el movimiento de traslación en el que el día y la noche tienen igual duración, análogamente, la incidencia solar es de  $90^\circ$  en el ecuador y el hemisferio sur y norte reciben la misma cantidad de rayos solares. El equinoccio ocurre dos veces al año al igual que el solsticio, sin embargo, los equinoccios son de otoño y primavera. En conclusión, las estaciones del año se dan por la posición de la tierra respecto al astro solar (Hernández y Cobos, 2021)



**Figura 7**

*Descripción del inicio de Equinoccio y Solsticio del planeta con respecto al sol*



Nota: Obtenido de Distancia Sol-Tierra y fechas de la posición de la Tierra con respecto al sol, por Cervantes, 2011.

### 2.6.3. *Atmósfera*

La atmósfera es la capa gaseosa y externa que rodea al planeta tierra, compuesto principalmente de nitrógeno 78%, 21.02% oxígeno, 0.07% gases de efecto invernadero y otros gases de menor proporción que variarán con la altura, además, se encuentran partículas en suspensión atraídas por la gravedad terrestre (Astronoo, 2013).

La atmósfera es sumamente importante para la vida en la tierra, debido a que esta es la encargada de absorber la mayoría de las radiaciones solares para dar paso al fenómeno del efecto invernadero que hace posible el equilibrio de temperatura para la producción de vida, también, es responsable de impedir el paso de radiaciones solares dañinas, meteoritos, tormentas solares, regula el clima, entre otros (Cuevas, 2019)

Necco (2016) menciona que hasta la actualidad no se ha podido determinar con certeza la altura exacta de la atmósfera, debido a que varía con la latitud y el campo magnético, de igual modo, es importante mencionar que muchos de los investigadores proponen que a los 80 km se debe reconocer la famosa frontera de atmósfera-espacio, sin embargo, la Federación Aeronáutica Internacional reconoce que esta frontera se ubica en los 100 km (conocida como línea de Kármán) (Astronoo, 2013).

Al igual que la geósfera, la atmósfera está compuesta por diferentes capas divididas por la temperatura que poseen tal y como se describe en la Tabla 6 y Figura 8.

**Tabla 6**

*Descripción de las capas de la atmósfera*

<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>	<b>Altura</b>
<b>Tropósfera</b>	Primera y la más cercana de las capas de la atmósfera a la superficie terrestre, en el sobrevuelan los aviones, se generan los fenómenos meteorológicos, partículas y polvos producidos por contaminación (en los primeros 499,9 km, conocida como capa sucia), análogamente, se producen los flujos convectivos de aire horizontales y verticales como consecuencia de la diferencia de temperatura que da lugar a los fenómenos meteorológicos. Mientras tanto, la temperatura de esta capa se encuentra a 15 °C en la parte inferior y a partir del cual empieza el descenso por la altitud (6.5 °C por m), hasta llegar a la tropopausa en el que deja de descender (-55 °C a -70 °C) (Camilloni, Vera y Kornbliht , 2008) y (Necco, 2016).	19 km en el Ecuador 8-9 km en polos 12 km en general.
<b>Estratósfera</b>	Anglés, Rovalo y Tejado (2021) y Astronoo (2013) definen a la estratosfera como la segunda capa con altura de hasta los 49,9 km y lo más importante alberga a la capa de ozono (16 km-31 km) que es responsable de filtrar la radiación UV y además gracias a esto se incrementa la temperatura de la capa	Llega hasta 50 km de latitud.

---

	llegado hasta los 0 °C. El límite de esta capa se le denominada estratopausa.	
<b>Mesósfera</b>	De acuerdo a las investigaciones esta capa es la más fría de todas, debido a que se produce una disminución con respecto a la estratosfera llegando hasta -99 °C, de igual forma, se produce la desintegración de meteoritos que no fueron destruidos en la termosfera y también, observamos la estrellas fugaces (resultado de la destrucción de meteoritos en la termosfera) (Mundo Aeronáutico, 2021).	La altura se encuentra alrededor de 51- a 80 km.
<b>Termósfera</b>	La termosfera es responsable de la destrucción de los meteoritos. A esta capa también se le conoce como ionosfera a causa de la elevada temperatura (1000-1400 °C aproximadamente), originado por la ionización de las moléculas de aire por los rayos solares (rayos gamma y X) responsable de las señales de radio y televisión, del mismo modo, se pueden avistar las auroras boreales y australes en el hemisferio norte y sur respectivamente. Otro dato curioso es que en la termosfera se encuentra la estación espacial internacional que orbita a unos 400 km (Zea, et al., 2021) y (EcuRed, 2020).	Se extiende desde la mesopausa hasta los 600 km (la H. dependerá de la actividad solar).
<b>Exósfera</b>	De acuerdo al vídeo producido por Mundo Aeronáutica (2021) la exosfera es la capa más externa del planeta, en el que las partículas tienen comportamiento de proyectiles de balísticas, del mismo modo, encontramos polvo cósmico y en el que orbitan satélites de la tierra a unos 2000 km.	No posee una altura definida.

---

**Figura 8**

*Capas de la atmósfera y sucesos que ocurren en cada una*



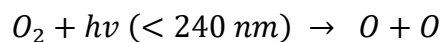
Nota: Obtenido de las capas de la atmósfera, por nte.mx, 2020.

## 2.7. Capa de Ozono

La capa de ozono es una franja delgada de gas que tiene la función de proteger a todo ser vivo del planeta tierra impidiendo el paso de los rayos ultravioleta dañinos (UV-B y UV-C), descubierto en 1913 por los franceses Charles Farby y Henri Buisson. Mientras tanto, al geofísico Gordon Miller Bourne Dobson (1921) se le atribuye la concentración de ozono en unidades Dobson (DU), debido a la creación del espectrofotómetro Dobson que mide en forma precisa la concentración de  $O_3$ , de acuerdo a esto 1000 DU equivalen a una columna de  $O_3$  de 1 cm de espesor, generalmente la capa de ozono posee de 5 a 3 mlm de espesor (500-300 DU) (Milicic, 2007) y (Yanes, 2021).

### 2.7.1. *Formación y destrucción de la capa de ozono*

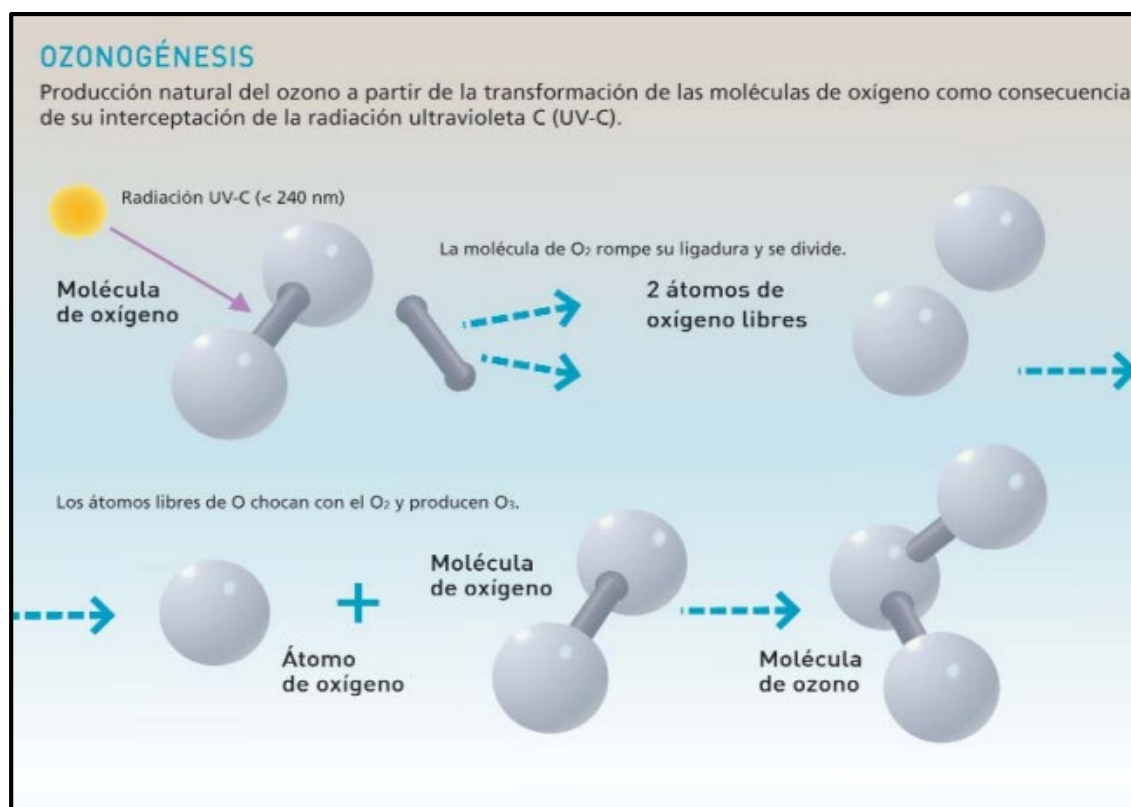
El  $O_3$  está compuesto por tres átomos de oxígeno que se forma y descompone con el impacto de la radiación UV al oxígeno atmosférico, posteriormente, el oxígeno atómico se une con una molécula de oxígeno para formar la molécula de ozono. (Biomundos, 2017).



Todo el proceso de formación y descomposición del ozono se da siguiendo el mecanismo de Chapman (1930) tal como se observa en la Figura 9, además, para que el enlace del oxígeno atmosférico se rompa se necesita la radiación UV-C (onda corta de 240 nm) que posee mayor contenido energético en comparación con los otros tipos, cabe mencionar, que este proceso se genera de manera constante a grandes escalas en la estratósfera terrestre (altitud de 15 a 30 km) y la zona con mayor producción de ozono es la estratósfera tropical, debido a la gran incidencia de radiación ultravioleta que se da en este lugar (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, 2021)

**Figura 9**

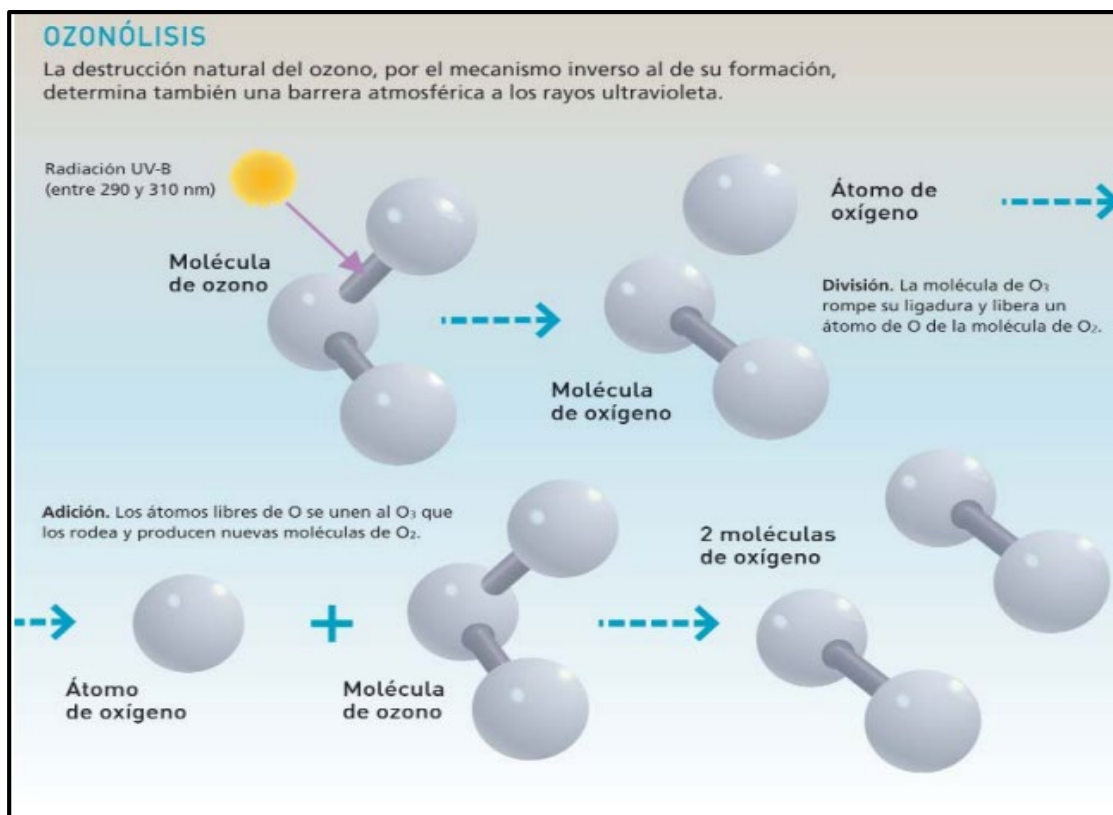
*Producción natural del ozono en la estratósfera*



*Nota:* La figura muestra el proceso natural de formación del ozono en la estratósfera. Tomado de *La Tierra: un lugar para la vida, Composición y estructura vertical de la atmósfera*, por Camilloni et al., 2008.

**Figura 10**

*Proceso de destrucción natural del ozono en la estratósfera*



*Nota:* La figura muestra el proceso natural de destrucción del ozono en la estratósfera. Tomado de *La Tierra: un lugar para la vida, Composición y estructura vertical de la atmósfera*, por Camilloni et al., 2008.

IDEAM (2021) describe que el proceso de absorción de los rayos ultravioleta desgasta la mayor parte de la vida del ozono, este proceso ocurre en el instante en que la radiación UV rompe la molécula de  $O_3$  en una de  $O_2$  y un átomo de oxígeno (O), este proceso continúa con la unión del O con  $O_2$  para formar nuevamente el  $O_3$  en el que la radiación ultravioleta se convierte en energía calorífica. La absorción producida es sumamente importante y eficiente, dado que las cantidades de radiación UV que llegan a la superficie terrestre son menores a cuando llega a la estratósfera.

### **2.7.2. Debilitamiento de la Capa de Ozono**

En el año 1974 Frank Sherwood Rowland y Mario Molina advirtieron sobre el terrible daño que estaban ocasionando algunos compuestos químicos como el cloro, flúors y carbonos denominados Clorofluorocarbonos (usados en la refrigeración, fabricación de espumas y aire acondicionado) a la capa de ozono, las reacciones a esta afirmación no se dejaron esperar en especial del químico DuPont que calificó a lo mencionado como un cuento de ciencia ficción (Yanes, 2021).

Años más tarde se comprobó que Rowland y Molina tenían razón al exponer los químicos (CFCs) que afectan a la capa de ozono, además, se descubrió que el HCFC (hidroclorofluorocarbonos), halones, bromuro de metilo y el tetracloruro de carbono (sustancias conocidas actualmente como SAO), eran los responsables del agotamiento de la capa de O<sub>3</sub>, siendo los CFC y halones principales autores del daño que generó el incremento en el nivel de radiación UV en la superficie de la Tierra y planteó una amenaza importante para el ser vivo. Es así que en el año de 1989 se adoptó el Protocolo de Montreal sobre sustancias que agotan la capa de ozono con la finalidad de eliminar estas sustancias y evitar desastres futuros (A.K. Singh y Bhargawa, 2018).

De igual manera, las investigaciones actuales apuntan a que la actividad antropogénica es responsable del 88% de la destrucción de la capa O<sub>3</sub> y el resto se debe al proceso natural “por cada 1% de reducción en el O<sub>3</sub> da lugar al aumento del 1.5% de la radiación UV-B” (Acuña, 2018) y (SINIA, 2020).

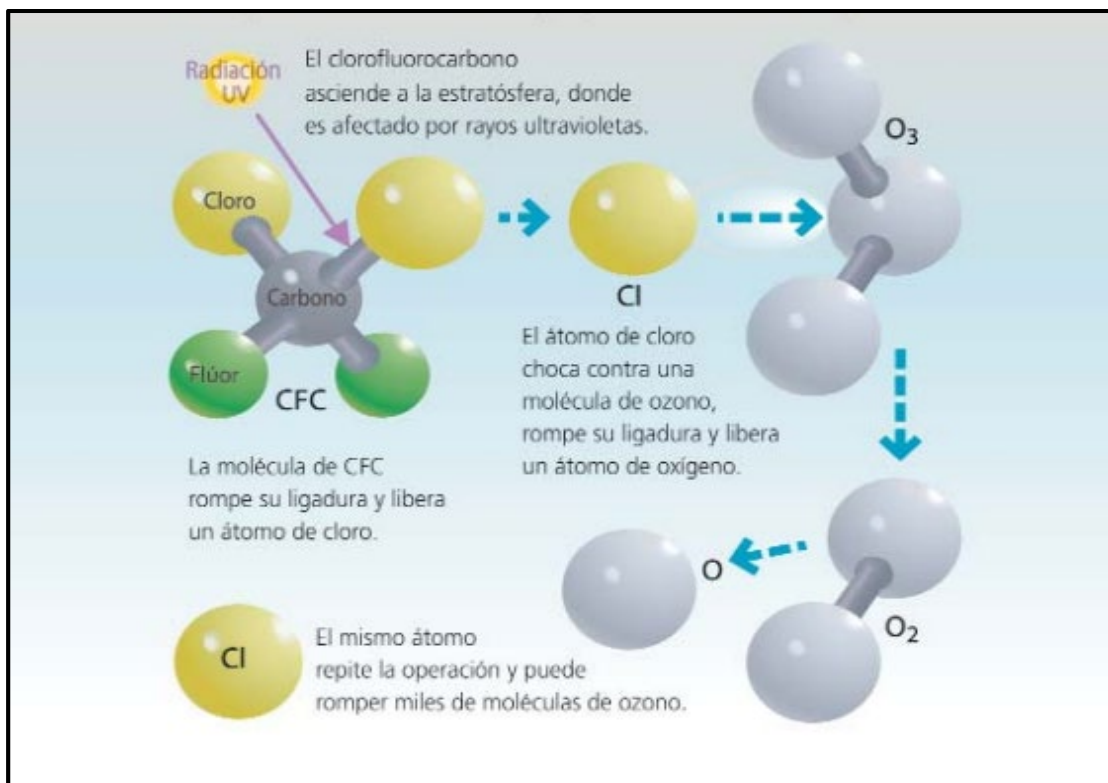
Estudios realizados muestran que los CFC perduran en la atmósfera por más de medio y un siglo y al entrar en contacto con el ozono y la radiación UV empieza el proceso de disociación y destrucción del ozono tal como se muestra en la Figura 10, sin embargo, la presencia de las SAO



como el Cl, ClO, ClO<sub>2</sub>, H, OH, HO<sub>2</sub> y otros, acelerando la destrucción y generando la pérdida del equilibrio entre formación y destrucción en el que prevalece la destrucción del O<sub>3</sub>, tal y como se aprecia en el Figura 11 (Camilloni, Vera y Kornblihtt , 2008) e (IDEAM, 2021).

**Figura 11**

*Proceso de destrucción del ozono con intervención del CFC y las SAO*



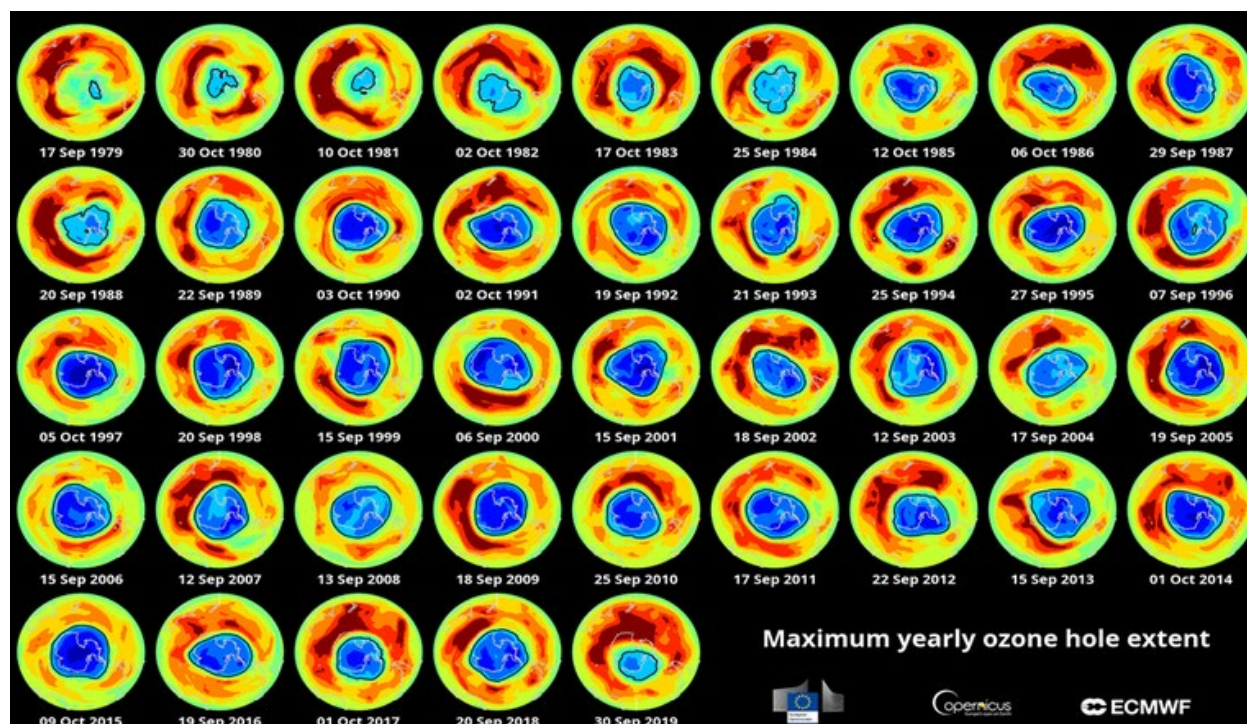
*Nota:* La figura muestra el proceso natural de destrucción del ozono en la estratosfera. Tomado de *La Tierra: un lugar para la vida, Composición y estructura vertical de la atmósfera*, por Camilloni et al., 2008.

En la actualidad diferentes organizaciones vienen monitoreando la capa de ozono en especial el agujero que se encuentra sobre la Antártida, entre las organizaciones que monitorean se encuentran la NASA y la NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los EE.UU.) que poseen tres satélites (satélite Aura, Suomi NPP y el JPSS NOAA-20) encargados de monitorear el agujero de ozono y calcular la cantidad de Cl (satélite Aura) (Kardoudi, 2021).

Las observaciones realizadas en el año 2019 mostraron que el agujero de ozono se estaba recuperando notablemente tal como se puede verificar en la Figura 12, sin embargo, el año 2020 trajo noticias negativas, debido a que se observó un agujero de alrededor de 25 millones de km<sup>2</sup> (el más grande y profundo desde el inicio del monitoreo) que contrastan con las observaciones anteriores, a lo que CAMS concluyó en que el responsable eran las nubes estratosféricas polares que poseen en su interior cristales que transforman los compuestos no reactivos en reactivos. Por ello las estimaciones de que el agujero se recuperaría alrededor de 2050 ya no son válidas y el nuevo consenso apunta a que la recuperación no será antes de 2070 (De Pablo, 2021) y (Kardoudi, 2021).

## Figura 12

*Cronología del monitoreo de la capa de ozono de 1979 a 2019.*



*Nota:* La figura muestra la evolución de la capa de ozono desde 1979 hasta septiembre del 2019. Tomado de *Maximum ozone hole extent over the southern hemisphere, form 1979 to 2019*, por CAMS, 2019.

Figura 13

*Etapas de la destrucción de la capa de ozono*



*Nota:* La figura muestra las etapas de la destrucción de la capa de ozono. Tomado de *Etapas de destrucción del ozono estratosférico*. Elaborado a partir de: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002. *Twenty questions and answers about the ozone layer*. OMM. 2002.) por CAMS, 2019.

### 2.7.3. *Protocolo de Montreal*

Tras la confirmación de la existencia del SAO, el 16 de septiembre de 1987 46 países firmaron el Protocolo de Montreal (tratado internacional sobre el SAO) con la finalidad de eliminar al 100% la producción de las sustancias que agotan la capa de ozono (96 productos químicos), es decir la restricción total en la producción de gases halocarburos (CFC) que entró en vigor en 1989, además, es considerado como el acuerdo medioambiental más exitoso y siendo el único en ser ratificado por todos los países sin excepción (Yanes, 2021).

Godin-Beekmann, Newman, y Petropavlovskikh (2018) afirman que los productos que se encuentran en el protocolo para su eliminación están los clorofluorocarbonos CFC-11 (CC13F), CFC-12 (CC12F2), tetracloruro de carbono (CC14), Halón 1211 (CF2BrCl), halón 1301 (CF3Br) y metilbromo (CH3Br), muchas de estas sustancias ya se dejaron de producir y tras están siendo reemplazadas gradualmente por los hidrofluorocarbonos (HFC), una segunda generación de sustitutos que no contienen cloro y por lo tanto, son relativamente inofensivos para la capa de ozono.

El Protocolo de Montreal exige informes cuatrienales sobre el agotamiento de la capa de ozono y las SAO basados en los conocimientos científicos, ambientales y técnicos actuales, los avances en la comprensión de estos temas se han evaluado desde 1989 en una serie de informes elaborados (Godin-Beekmann, et al., 2018). Por ello es que Jover (2021) concluye que sin la firma del convenio la SAO tendría un crecimiento del 2,9% anual, acumulación de 40 a 50% de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y el incremento de 2, 5° en la temperatura del planeta y la pérdida parcial o incluso completa de la capa de ozono dejando ingresar radiaciones UV dañinas para el ser vivo.

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2021) sostiene que desde la adopción del Protocolo de Montreal se ha mitigado alrededor del 97% de las SAO que se

encuentran establecidas en el Protocolo, reducción de emisiones de dióxido de carbono en 1345 000 000 toneladas y para el apoyo en la eliminación de las SAO en países en vías de desarrollo nace el PNUD como organismo responsable de ejecutar el Fondo Multilateral de aplicación del Protocolo de Montreal (FMPM) en cooperación con la secretaría de ozono, el PNUMA, la ONUDI, el BM y otras instituciones.

En el Perú el Ministerio de Producción, mediante la Dirección General de Asuntos Ambientales es el ente responsable de cumplir con las obligaciones asumidas, también, es parte del Fondo Multilateral que brinda las facilidades económicas a países en desarrollo para la mitigación del SAO, por ello es que el país viene cumpliendo responsablemente todas sus funciones en mitigación mediante los proyectos de: *“Plan Nacional de Eliminación de los Hidroclorofluorocarbonos (HCFCs) y el Proyecto de Fortalecimiento Institucional para el Perú”* (Ministerio de Producción, 2021).

De acuerdo al Proyecto del D.S. N° 033.2000-INTINCI de R.M. N° 00021-2021-PRODUCE, describe que desde su aprobación el Protocolo de Montreal tuvo cuatro modificaciones, ajustado hasta en nueve ocasiones y cuenta con enmiendas como el de Londres (1990), Nairobi (1991), Copenhague (1992), Bangkok (1993), Viena (1995), Montreal (1997), Beijing (1999) y Kigali (2016), y son de participación universal (Chicoma, 2021).

La R.M.N° 00021-2021- PRODUCE se publicó con la finalidad de ajustar los lineamientos acorde a la última enmienda aprobada en el 2016 con el fin de controlar la emisión de HFC a pesar de su inocuidad con respecto a la capa de ozono se espera que la implementación evite el incremento de 0.4 °C de temperatura para finales del S. XXI y (Godin-Beekmann, et al., 2018).

## 2.8. Radiación Ultravioleta

Descubierto por Johannes Wilhelm Ritter en el año 1801 durante la investigación de descomposición de cloruro de plata mediante la luz, al que denominó como “rayos desoxidantes” y posteriormente se lo adjudicó la denominación de “rayos químicos” para finalmente tomar el nombre de radiación ultravioleta (Pérez, 2020).

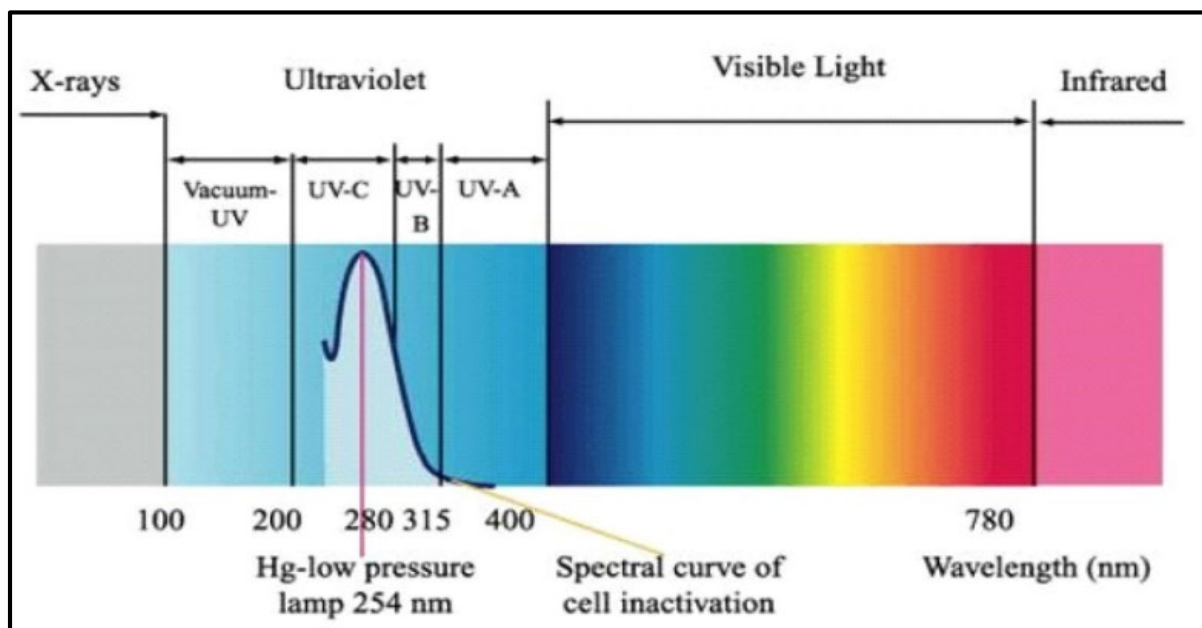
La radiación ultravioleta es producto de la energía que emite el sol, también, categorizado como radiación no ionizante del espectro electromagnético que llega al planeta Tierra. Del total de la energía emitida por el sol, sólo el 5% a 8% corresponde a la radiación UV (IDEAM, 2021).

La radiación UV se encuentra en el rango de 100 a 400 nanómetros que equivale a doce electrones voltio (eV) de energía aproximadamente, siendo una frecuencia mayor con longitud de onda menor que la luz visible, y se divide en tres bandas (ultravioleta C (UV-C), ultravioleta B (UV-B), ultravioleta A (UV-A)) acorde al tamaño de longitud de onda que poseen, cabe mencionar, que mientras más corta es la longitud de onda más dañina será para el ser vivo (World Health Organization, 2021).

De estas tres bandas mencionados en el párrafo anterior de la clase UV-C (100-280 nm) es absorbida en totalidad por su paso por la estratósfera (ozono, vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono), mientras que el 89.9% de la radiación UV-B (280-315 nm) también queda retenida y el resto pasa a la superficie terrestre y la totalidad de la radiación UV-A (315-400 nm) atraviesa hasta llegar a la tierra (World Health Organization, 2021) y (Alfaro, Llacza y Sánchez, 2016). En la Figura 14 se aprecia la medida de la longitud de onda de la radiación UV-A, UV-B y UV-C.

**Figura 14**

*Intervalo de longitud de onda de la radiación ultravioleta*



*Nota:* En la figura se aprecia el intervalo de las bandas de UV-A, UV-B y UV-C. Tomado de *Radiación Ultravioleta (UV) un aliado contra los Microorganismos*, por Pérez, 2020.

La cantidad de radiación UV del sol que llega a la superficie de la tierra está relacionada principalmente con la capa de  $O_3$ , por ello, la reducción de esta capa fomentará el incremento de la radiación UV que llega a la tierra, además, de la capa de ozono, la altura del sol en el cielo, la latitud, cobertura de nubes, altitud, reflexión del suelo y otros factores también influirán. Por otro lado, las reducciones en la capa de  $O_3$  debido a la contaminación creada por el ser humano aumentan la cantidad de UV-B que llega a la superficie terrestre (World Health Organization, 2021)

**Tabla 7**

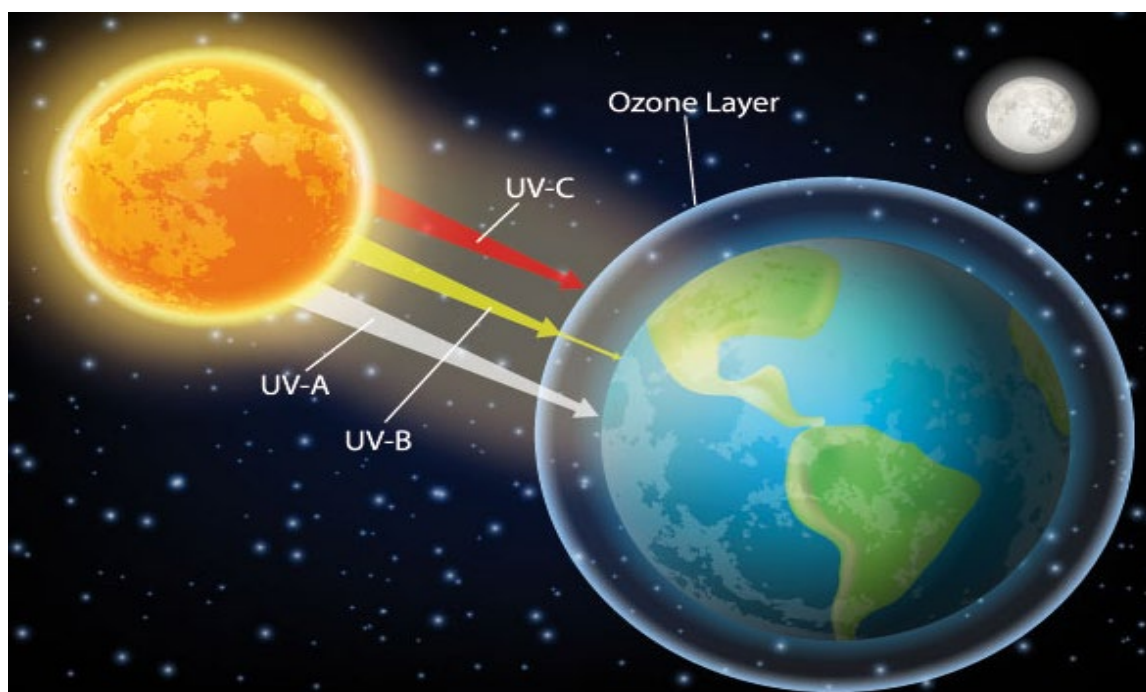
*Características de los tres tipos de radiación*

Tipo de onda	UV-A	UV-B	UV-C
<b>Longitud de onda</b>	315-400 nm	280-315 nm	100-280 nm
<b>Nivel de absorción</b>	No absorbida por la capa de O <sub>3</sub> .	Absorción del 80-90% por la capa de O <sub>3</sub> .	Absorción completa por la capa de ozono.
<b>Nivel de peligro</b>	No hay peligro.	Peligroso para todo tipo de vida.	Extremadamente peligrosa para la vida en la tierra.

*Nota:* En la tabla se muestra las principales características de los tres tipos de radiación UV. Tomado de *Radiación UV*, por Centro Nacional de Salud Ambiental, 2021.

**Figura 15**

*Descripción gráfica de la llegada de la radiación UV a la superficie terrestre*



*Nota:* En la figura se aprecia la llegada de la radiación UV proveniente del sol a la superficie del planeta tierra. Obtenido de *Tipos de luz UV y el poder esterilizador de la UVC*, por (BVLED, 2020)



### **2.8.1. Radiación ultravioleta en el Perú**

De acuerdo a estudios realizados por Richard Mackenzie el especialista en radiación solar del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú Orlando Ccora afirma que Perú es el país número uno a nivel global en recibir altos valores de radiación UV. Este hecho se debe principalmente por la cercanía a la zona Ecuatorial (la incidencia de los rayos del sol se da perpendicularmente), la ubicación en la franja tropical y la presencia de la cordillera de los andes (por la altitud se incrementan los valores de la radiación ultravioleta) (Fundación Acuorum, 2018).

Tola (2017) cita al ingeniero Nelson Quispe G. (Subdirector de Predicción Meteorológica del SENAMHI) afirmando que las zonas en el que se tiene mayor incidencia de los rayos solares y en específico de la radiación UV se encuentra en los andes y la poca presencia de nubes que se da en los meses de enero, febrero y marzo propician el paso de la radiación UV.

Así mismo, EFE (2016) y Fundación Acuorum (2018) mencionan que el estudio realizado en el 2006 por Richard Mackenzie sitúa a Perú en primer lugar, seguido de Bolivia, Argentina y Chile en recibir altas dosis de radiación solar, de manera semejante, la contaminación ocasionado por el ser humano genera anualmente se pierda aproximadamente el 1% de la capa de ozono que absorbe la radiación dañina.

Al año 2016 el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú mediante la Dirección General de Investigación y Asuntos ambientales ya monitoreaba el comportamiento de la radiación ultravioleta tipo B en Lima, Arequipa, Puno y Cajamarca con la finalidad de obtener y difundir a la población los índices UV, además, en la región Junín se encuentra VAG (Red de Vigilancia de la Atmósfera Global) que se encarga de brindar información de la cantidad de O<sub>3</sub> y la ubicación que el sol tiene en diferentes momentos del año (Manrique y Ordoñez, 2016)

### 2.8.2. Índice de Radiación Ultravioleta

El índice ultravioleta (UVI) es una medida adimensional e internacional que indica la intensidad con el que llega la radiación ultravioleta a la superficie de la tierra, de tal manera que el índice variará dependiendo del tiempo, lugar y hora. El UVI es expresado como valores superiores cero y cuanto mayor sea mayor daño provocará (Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2019).

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú toma la ecuación de UVI adoptado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIEE) de Mckinlay e Diffey del año 1987 (SENAMHI, Alfaro, Llacza y Sánchez, 2016):

$$UVI = K_{er} * \int_{280}^{400} I(\lambda) * \varepsilon(\lambda) d\lambda$$

En el que  $K_{er}$ : Constante equivalente a  $40 \text{ m}^2/w$ .

Los límites 280 nm y 400 nm de la integral son valores que atraviesan la capa de  $O_3$ .

La  $I(\lambda)$ : Irradiancia solar espectral ( $W/m^2$ ).

Por último  $\varepsilon(\lambda)$ : Espectro de acción eritemática.

La estimación del índice ultravioleta se da en los espectros 280 nm a 400 nm (UVA y UVB), debido a que la radiación UVC es absorbida en su totalidad por la capa de ozono, a esto se suma que por cada 1000 m de altitud la radiación incrementa en cinco por ciento (COFZ, 2022).


El nacimiento del índice UV como tal se dio por primera vez en Canadá en 1992, al cual se sumaron distintos países, sin embargo, en una acción conjunta de la OMS, OMM, PNUMA y la Comisión Internacional para la protección frente a Radiaciones No Ionizantes, estandarizaron los métodos de cálculo del índice y el código de colores (Agencia Estatal de Meteorología, 2022).

Los valores que propuso la OMS y otros (2003) van de 1 (bajo) a 11 (extremadamente alto), pero, investigaciones realizadas en países como Bolivia, Chile, Argentina y otros, afirman que

gran parte de las mediciones del índice UV son superiores a 11, es por ello que Zaratti, y otros (2014) proponen extender la escala hasta 25, países como Finlandia y Argentina.

**Tabla 8**

*Categorización de los niveles del índice de Radiación Ultravioleta*









Categoría de exposición	Colores que representa	Intervalo de valores del UVI
Baja		< 2
Moderada		3 a 5
Alta		6 a 7
Muy Alta		8 a 10
Extremadamente Alta		11 +













Nota: La Tabla 8 muestra las categorías de exposición del índice de la radiación UV, que fue obtenido de índice UV, de OMS (2003)

En la Nota Técnica N° 002-2016 SENAMHI se propone otra escala de colores y valores del UVI de uno a veinte, tal como se muestra en la Tabla 9.

**Tabla 9**

*Escala de colores del índice Ultravioleta usada por SENAMHI*

UVI	Color	R	G	B
1		43	146	0
2		160	206	0
3		247	228	0
4		248	182	0
5		248	135	0
6		248	89	0
7		232	44	14
8		216	0	29

9		255	0	153
10		181	76	255
11		153	140	255
12		133	120	235
13		113	100	215
14		93	80	195
15		73	60	175
16		53	40	155
17		33	20	135
18		50	204	255
19		100	245	255
20		150	255	255

Nota: Obtenido de Nota Técnica N° 002-2016 SENAMHI (2016)

### 2.8.3. Factores que Intervienen en la Intensidad de Radiación UV recibida

La intensidad con la que llega la radiación UV a la superficie de la tierra va depender de varios factores como: posición del sol (durante el afelio (la tierra está más lejos del sol) se recibe menor radiación y durante el perihelio (el sol se encuentra más cerca de la tierra) la radiación incrementa), hora del día, altitud, latitud, ubicación geográfica, presencia de nubes, cantidad de ozono, entre otros factores (IDEAM, 2022).

**Tabla 10**

*Factores que intervienen en la intensidad de la radiación ultravioleta*

Nombre	Descripción	Autor
<b>Presencia de O<sub>3</sub></b>	La capa de ozono sirve como filtro ante la radiación UV, debido a que se encarga de absorber gran parte de la radiación	(EPA, 2001) y (Organización Mundial de la Salud, 2003)

---

	ultravioleta, sin embargo, la absorción varía dependiendo la estación y las emisiones de GEI.	
<b>Posición del sol</b>	La posición en el que se encuentra el sol es determinante para la cantidad radiación solar que llegará a la tierra (+/-3% de variación), que generalmente está dado por el perihelio (147.2 millones km entre el sol y la tierra) y el afelio (152.1 millones km de distancia entre sol y tierra).	(Sociedad Astronómica de Laniakea, 2022)
<b>Altitud</b>	En zonas alto-andinas la cantidad de radiación es mayor, debido a que la capa atmosférica es más delgada y por ello la radiación UV es mayor en comparación con otras zonas, además de acuerdo a estudios realizados se sabe que por cada 1000 m la radiación UV incrementa en un 9% a 12%.	(IDEAM, 2022)
<b>Latitud</b>	Mientras más cerca se esté del Ecuador mayor radiación UV se recibirá, debido a que los rayos del sol tiene una incidencia perpendicular en la tierra, también, se da por el inicio del solsticio.	(EPA, 2001) y (Agencia Peruana de Noticias, 2017).
<b>Hora del día</b>	Los mayores valores de radiación son registrados son entre las 10 a 14 horas del día (en este horario se estima que cerca del 60%-70% de radiación es recibida), puesto que, la distancia que recorren los rayos del sol dentro de la atmósfera es menor. Fuera de este horario se reduce la intensidad debido a que, los rayos solares atraviesan oblicuamente.	(IDEAM, 2022), (EPA, 2001) y (Agencia Peruana de Noticias, 2017).
<b>Nubosidad</b>	Las nubes pueden reducir hasta en 50%-60% el UVI, esta retención generalmente se da cuando hay presencia de nubes densas y si	(IDEAM, 2022), (EPA, 2001), (OMS, 2003), (IDERMA, 2021)

---

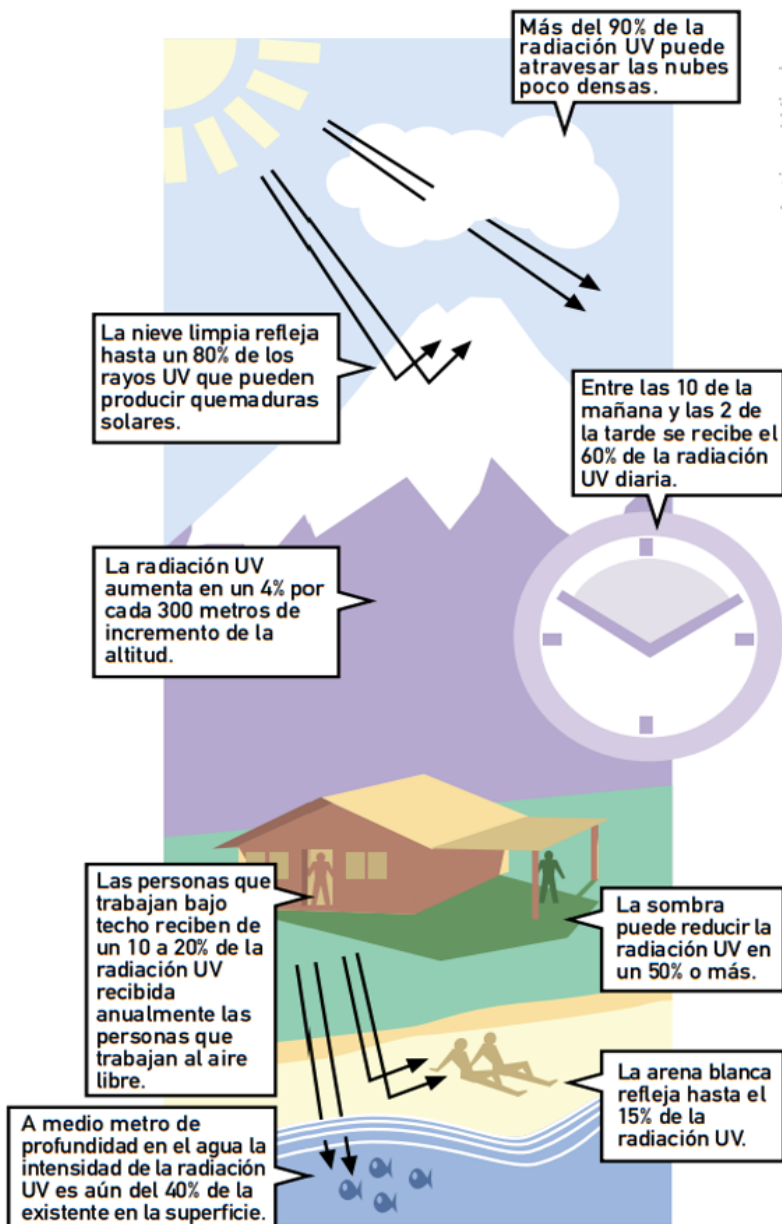
---

	sumamos la precipitación la reducción del UVI es mucho mayor, sin embargo, la presencia de nubes delgadas el UVI es mayor a pesar de que la sensación de calor sea menor.	y (SENAMHI, Alfaro, Llacza y Sánchez, 2016).
<b>Reflexión del suelo</b>	La radiación UV que llega a la superficie terrestre puede ser reflejada o dispersada dependiendo del tipo de superficie al cual llega la radiación, esto ocasiona que el UVI incremente, ejemplo: arena (20%-25%), nieve (80%), entre otros.	(Vallejo, 2003), (IDERMA, 2021) y (OMS,2003).
<b>Factores climáticos</b>	Entre los factores climáticos que modifican la intensidad de la radiación UV, tenemos: El viento, la humedad (va de la mano con la nubosidad), presión atmosférica (relación directa con la altitud), entre otros modifican el UVI.	(IDERMA, 2021), (EPA-United States Environmental Protection Agency, 2001).

---

Figura 16

*Factores que intervienen en la intensidad de la radiación UV*



Obtenido de la (OMS, 2003)

## CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Población y muestra

#### 3.1.1. Población

De acuerdo a Arias, Villasís y Miranda (2016) y D'Angelo (2021) definen a la población como el total o universo de objetos, seres vivos, casos y otros que presentan ciertas características susceptibles a ser investigados, así mismo, investigadores como Arias, Villasís y Miranda en el 2016 describen que la población no sólo está representado por los seres humanos, sino que también los animales, artículos, vídeos, objetos, familias, empresas, infraestructuras, mediciones, entre otros, son los que pueden llegar a representar la población de estudio, el cual será usado como referencia para elegir la muestra.

Para esta investigación la población estuvo conformado por la radiación ultravioleta Tipo B, índice Ultravioleta que son medidos por el Solmáforo y la temperatura, humedad del aire, dirección del viento, velocidad del viento y presión relativa que se obtiene de la estación meteorológica.

#### 3.1.2. Muestra

La muestra es obtenida a partir de la población, debido a que en una investigación difícilmente se puede trabajar con toda la población es por ello que la muestra es extraída del universo (subconjunto de la población), mediante el cual se logrará cumplir con los objetivos planteados (Espinoza, 2016) y (Hernández, Fernández y Baptista, 2014).

En lo que respecta a la muestra, está compuesto por los datos de la radiación UV-B, UVI, T°, presión relativa, humedad del aire, velocidad y dirección del viento registrados de 7:00 horas de la mañana hasta las 17:00 horas del día de los años 2019, 2020 y parte del año 2021.

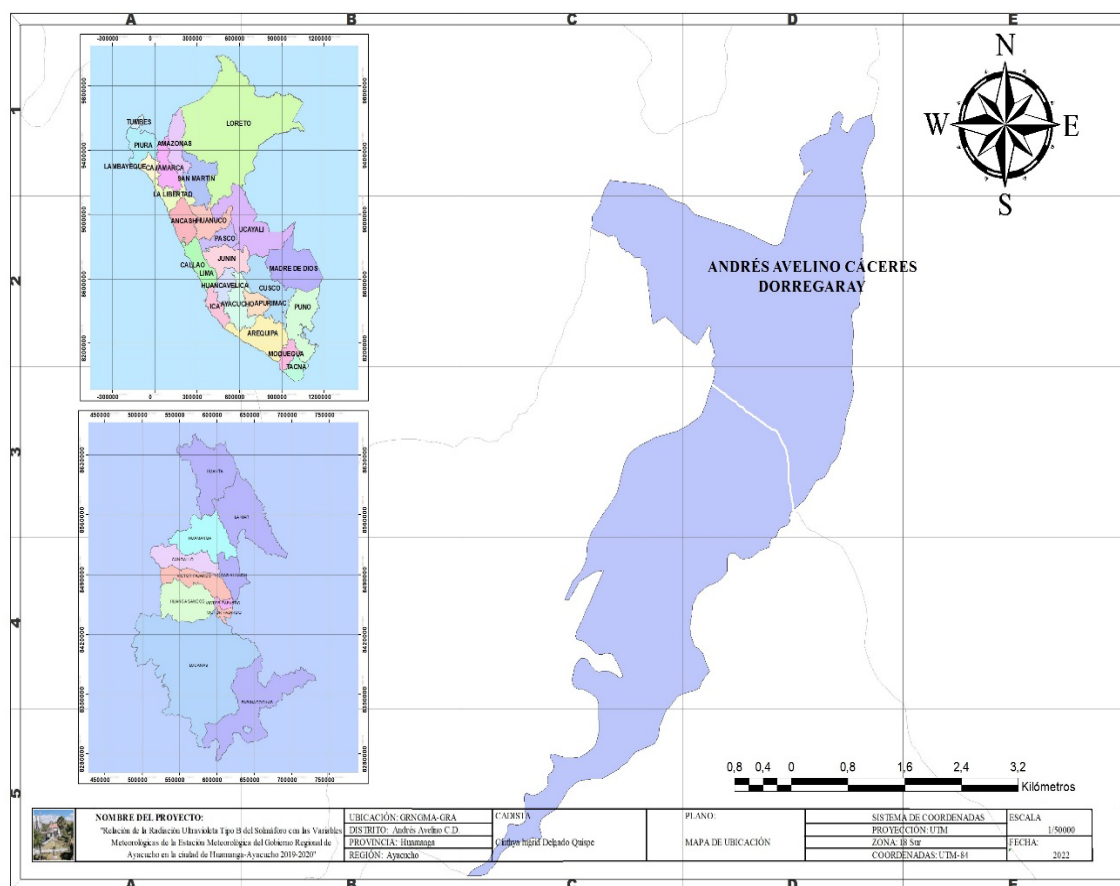


### 3.2. Lugar de ejecución

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno regional de Ayacucho, ubicado en el distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, en el que se encuentra instalada la estación meteorológica y el solmáforo, cuyas coordenadas son: latitud: 0586976, longitud: 8543314 y altura: 2745.58 msnm, la ciudad de Huamanga presenta un clima templado en el que la temperatura máxima y mínima anual es de 27 °C a 9 °C respectivamente.

**Figura 17**

*Mapa de ubicación del lugar de ejecución y ámbito de estudio*



### 3.3. Diseño de investigación

### 3.4. Metodología

Para la medición de la radiación ultravioleta tipo B (UV-B) e índice ultravioleta (UVI) se usó el solmáforo que registra toda la información de la radiación UV en el rango de 280-390 nm de longitud de onda y son medidos en unidades de  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , una vez que el sensor capta la radiación, el solmáforo emite un color (verde, amarillo, anaranjado, rojo y morado) acorde a la intensidad de la radiación. Los colores que emite el equipo son parte de la Guía del índice ultravioleta realizado por la Organización Mundial de la Salud y otras instituciones en el año 2003.

El valor que mide el solmáforo es transmitido y almacenado a la computadora gracias al sistema de transmisor de datos inalámbrico que usa el sistema de radio, por ello, se instaló un programa de captura de datos que tiene dos componentes: sitio de emisión que se encuentra en el interior del solmáforo (circuito emisor Xbee, 60 Mw, 24GHz), con rango de transmisión de hasta 500 metros, mientras que, el sitio de recepción se encuentra en la computadora y es el mismo circuito receptor Xbee. Las mediciones se realizaron desde las siete de la mañana a cinco de la tarde cada 10 minutos, teniendo en promedio de 60 a 61 datos diarios los doce meses del año 2019, 2020 y parte del 2021 (con un total de 57462 datos).

Mientras tanto, los datos de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), humedad del aire (%), dirección del viento ( $^{\circ}$ ), velocidad del viento (m/s) y presión relativa (hPa), son registrados por la estación meteorológica que posee sensores para la medición, siendo transmitidos y almacenados en el núcleo central del armario que se encuentra instalado a mitad de la estructura tubular en el que se encuentran los sensores que captan los datos de los factores meteorológicos.

El núcleo está compuesto por un registrador de datos, tal y como se observa en la Figura 23 de la sección de instrumentos, cabe mencionar, que el registrador de datos ya viene configurado

para que una vez instalados los sensores se inicie la medición, asimismo, las mediciones realizadas son precisas, confiables y cuentan con un monitoreo constante de los sensores y las operaciones propias de la estación meteorológica.

Los datos fueron registrados a diario (07:00 a 17:00 horas el día) cada 10 minutos los 12 meses del año 2019, 2020 y parte del 2021 (teniendo un total de 57462 datos), en el que la descarga, procesamiento y el análisis de datos se realizó mediante el puerto Ethernet y el software OTT Hydras 3 que ayudó en la validación y visualización de estos. Una vez obtenido los datos del solmáforo y la estación meteorológica, se procedió a homogenizar y depurar los datos nulos con el programa de Microsoft Excel, de esto se consolidó datos diarios de 07:00 a 17:00 horas (datos cada diez minutos teniendo como inicio las siete de la mañana y culminando las cinco de la tarde) tanto del solmáforo como de la estación meteorológica de los 12 meses del año 2019, 2020 y parte del 2021.

### 3.5. Variables de estudio

**Tabla 11**

*Identificación de las variables dependientes e independientes de la investigación*

<b>Variables dependientes</b>	<b>Variables independientes</b>
Radiación UV-B	Temperatura
Índice Ultravioleta	Humedad del aire
	Presión relativa
	Velocidad y Dirección del viento
	Altitud, latitud y longitud

### 3.6. Técnicas e instrumentos de Recolección de datos

#### 3.6.1. Técnicas de recolección de datos

La recolección de datos se dio, mediante la descarga de las mediciones de índice ultravioleta y radiación UV-B realizadas por el Solmáforo y datos de temperatura, humedad,

presión, dirección y velocidad del viento de la estación meteorológica, ambos instalados en la gerencia de recursos naturales y gestión del medio ambiente de los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021.

### **3.6.2. Instrumentos y materiales de medición**

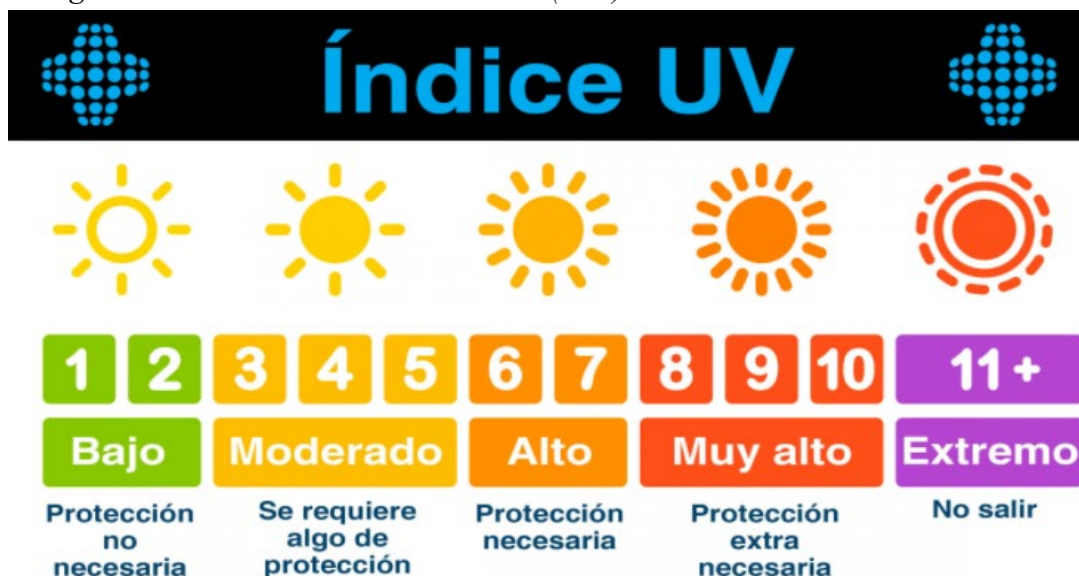
#### **3.6.2.1. Solmáforo**

El Solmáforo o semáforo solar es un dispositivo destinado a la medición del índice ultravioleta (UVI) de la radiación UV en el rango de 280 nm a 390 nm, además, fue diseñado para medir la radiación UV-B que es dañina para el ser vivo. Para la medición, el Solmáforo cuenta con filtros y sensores ópticos (sensor RUV) (IDEAM, 2022).

Una vez que el sensor capta la radiación ultravioleta se emite un color (verde, amarillo, anaranjado, rojo y morado) que representa un valor determinado que va de 0 a +11, el código en mención fue realizado por la OMS en conjunto con OMM, PNUMA, la comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante y la oficina Federal Alemana para la Protección contra la Radiación de publicación N° ISBN 92 4 359007 3 (NLM clasificación QT 162.U4) (OMS, 2003).

**Figura 18**

*Código de colores del Índice Ultravioleta (UVI)*



Nota: Obtenido de Infografía de Índice UV, por NOVEM del año 2022.

De acuerdo a las especificaciones técnicas, el solmáforo está diseñado teniendo como base un sensor ultravioleta de banda ancha que incluye un filtro para el espectro de acción eritemática que fue definido por Mckinley. El sensor está certificado por el fabricante OptoElectrónica Icalma, mientras que las mediciones y el código de colores que se usa es certificado por el Departamento de Física de la Universidad de Santiago de Chile (OptoElectrónica Icalma, 2019).

**Tabla 12**

*Color de luz indicativo acorde a la siguiente Tabla*

Color	Índice UV
Verde	0 – 2.5
Amarillo	2.5 – 5.5
Anaranjado	5.5 – 7.5
Rojo	7.5 – 10.5
Morado	10.5 a más

Nota: Solmáforo, medidor instantáneo de radiación UV obtenido de OptoElectrónica Icalma, 2019

**Tabla 13***Especificaciones técnicas del Solmáforo*

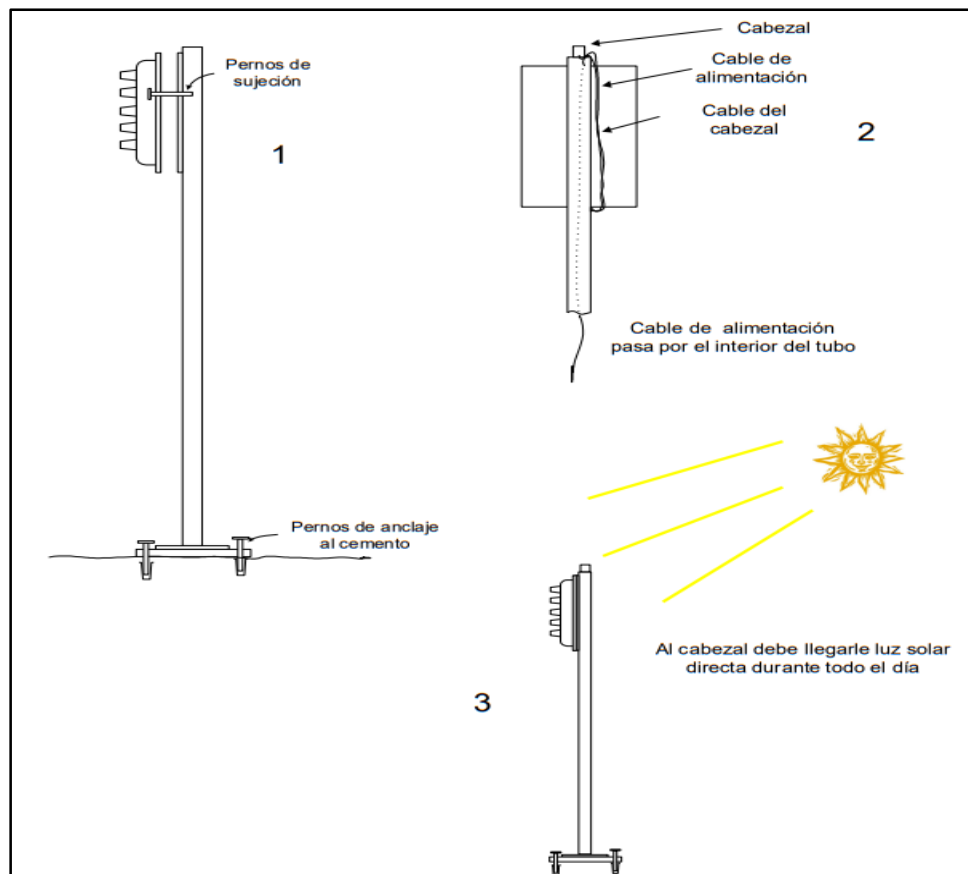

---

Semiconductor con banda de medición angosta: UV-B (280-390 nm)			
Rango de medición	Índice UV	0.5 (1,38 uW/cm <sup>2</sup> ) – 20 (55,6 uW/cm <sup>2</sup> )	
Domo de teflón que integra la radiación directa y difusa.			
Cabezal	Plástico		
Medidas	Largo: 56 cm	Ancho: 26 cm	Alto: 22 cm
Carga	220 V AC, 15 W, 50-69 Hz		

---

*Nota:* Solmáforo, medidor instantáneo de radiación UV obtenido de OptoElectrónica Icalma, 2019

El Solmáforo como tal consta de un módulo visor (, puede estar ubicado en el exterior o interior del solmáforo, para el funcionamiento debe estar instalado a una red de 220 V AC, así mismo, está programado para el apagado automático durante la noche) y cabezal (encargado de la medición de la radiación UV), en la Figura 19, se aprecia la instalación del solmáforo con cada componente (OptoElectrónica Icalma, 2019).

**Figura 19***Instalación del Solmáforo*

Nota: Obtenido de Solmáforo medidor instantáneo de la RUV, OptoElectrónica Icalma 2019.

**3.6.2.2. Transmisor de datos inalámbrico**

El Solmáforo posee un sistema de transmisor de datos inalámbrico hacia un computador, mediante el uso del sistema de radio, para ello, se deberá instalar un programa de captura de datos que tiene dos componentes: sitio de emisión y recepción. El sitio de emisión está en el interior del solmáforo, que viene a ser el circuito emisor Xbee, 60 Mw, 24GHz, con rango de transmisión de hasta 500 metros, mientras que, el sitio de recepción también el circuito receptor Xbee ubicado en el computador después de su instalación (OptoElectrónica Icalma, 2018).

**Figura 20**

*Módulo emisor y receptor por radio de 2,4 GHz utilizado en el Solmáforo*

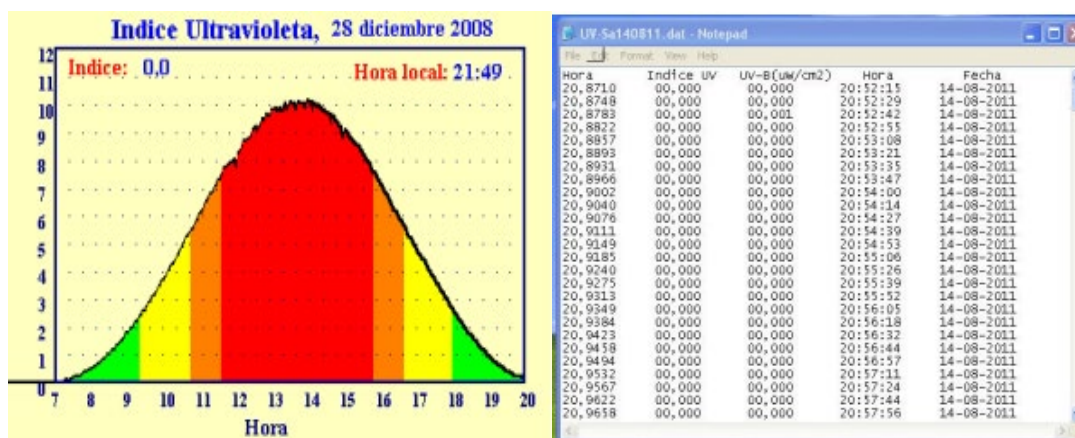


Nota: Obtenido de Solmáforo transmisión de datos sistema inalámbrico, por OptoElectrónica Icalma 2018.

Una vez instalado correctamente el programa de recepción de datos, aparecerá un gráfico e intensidad de la UVI en la pantalla de la computadora y tras un día de medición se observará un gráfico con el resumen de las mediciones del día, a la par, se apreciarán los datos con el horario de medición en formato decimal el UVI y la radiación UV-B en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  (OptoElectrónica Icalma, 2018).

**Figura 21**

*Ejemplo del gráfico y almacenamiento de datos del solmáforo en el computador.*



Nota: Obtenido de Solmáforo transmisión de datos sistema inalámbrico, por OptoElectrónica Icalma 2018



Actualmente la ciudad de Huamanga posee dos equipos de los cuales sólo 01 se encuentra en funcionamiento, el cual está instalado en la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ayacucho.

**Figura 22**

*Fotografía del solmáforo con el que cuenta el Gobierno Regional de Ayacucho.*



Nota. En la figura 22 observamos la fotografía del Solmáforo de la GRNGMA del gobierno regional de Ayacucho, y fue obtenido de la página de la Municipalidad Provincial de Huamanga del 2016.

### 3.6.2.3. Estación Meteorológica

La estación meteorológica es un dispositivo que facilita el monitoreo y almacenamiento de datos de los diferentes parámetros meteorológicos, para luego, analizar y predecir el comportamiento de los fenómenos meteorológicos que suscitan en el planeta, con la finalidad de prevenir. De igual manera, mediante el monitoreo de estos datos se puede predecir las variaciones en Temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación, entre otros (SensorGo, 2021) y (Gerardo, 2019).

En caso del Gobierno regional de Ayacucho, se cuenta con una estación meteorológica automática y compacta OTT, que fue instalado en el año 2017 en las instalaciones de la Gerencia

de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Ayacucho, el cual posee sensores para la medición de humedad relativa, presión atmosférica, dirección y velocidad del viento, temperatura, radiación solar y precipitación, las mediciones se hacen cada 10 minutos las 24 horas del día. En la siguiente figura se observa la estación meteorológica del GRA.

### Figura 23

*Estación meteorológica instalado en la GRNGMA del GRA*



Nota: Obtenido y modificado de Estación meteorológica automática OTT, por OTT HydroMet 2022

**Tabla 14***Características y flujo de datos de la estación Meteorológica de la GRNGMA-GRA*

<b>N°</b>	<b>Características</b>	<b>Beneficios</b>
01	Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet.	Facilidad de uso con aplicaciones a futuro.
02	Disponibilidad de interfaces para la comunicación: Ethernet 10 base-T. USB RS-232	Integración tecnológica mediante dispositivos externos, datalogger y modem. Directa conexión a redes IP. Facilidad de acceso a la base datos mediante puerto USB.
03	Formato de datos en XML	Uso del formato en diferentes campos.
04	Administración de datos mediante la Web	La estación posee su propio servidor, mediante el cual se puede administrar los datos vía web.
05	Posee interfaces para cada sensor: SDI-12 V1.3; RS484; serial; entradas y salidas analógicas, entre otros.	La conexión de los sensores se puede dar con cable hasta 1000 m, de la misma forma, se puede conectar sensores mediante el protocolo MODBUS.
06	Operación en temperaturas de -39,9°C a +69°C	Funcionamiento normal en entornos adversos.
07	Bajo consumo de energía.	Reducción en costos de electricidad (uso de panel y batería alternamente).
08	Amplio espacio para almacenamiento de datos.	Útil para medición de datos en tiempos extensos.
09	Comunicación eficaz mediante HTTP-S.	La transmisión de datos es segura y eficaz.

Nota: obtenido de Estación meteorológica automática OTT, por IGS, OTT Hydromet y Lufft, 2012.

La Tabla 14, muestra las principales características que posee la estación meteorológica del gobierno regional de Ayacucho, asimismo, las mediciones realizadas son de rápido procesamiento, con medición confiable y precisa, cuenta con monitoreo constante de los sensores y de sus propias operaciones, además, se tiene el software (OTT Hydras 3) para recepción, procesamiento, almacenamiento, validación, análisis y visualización de los datos (IGS, OTT Hydromet, & Lufft, 2012).

Para el funcionamiento puede ser alimentado con energía por el panel fotovoltaico y/o corriente alterna, tiene protección contra descargas eléctricas y protección de NEMA4X/3R para el gabinete principal que integra el montaje de torre de la estación (IGS, OTT Hydromet, & Lufft, 2012).

**Figura 24**

*Principales usos de los datos de la medición*



Nota: obtenido de Estación meteorológica automática OTT, por IGS, OTT Hydromet y Lufft, 2012.

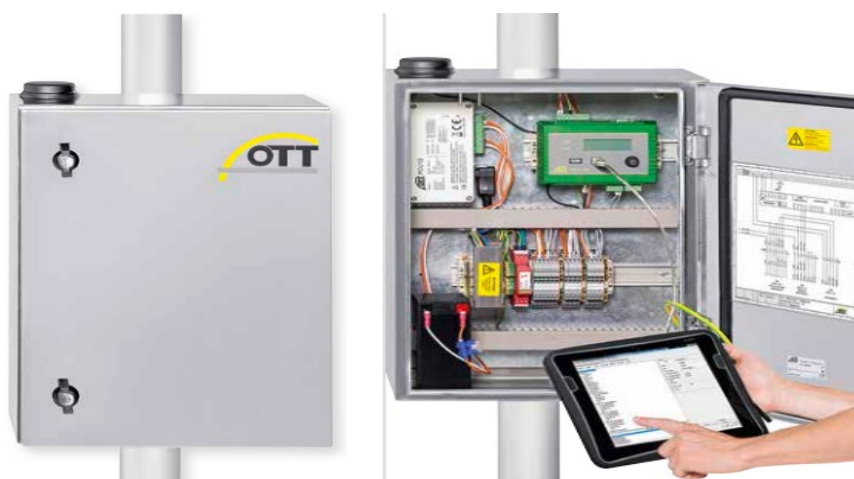
### **3.6.2.3.1. Armario de protección de Datalogger netDL 500**

El armario de protección o el OTT MetSystems es usado para la protección del almacenamiento y transmisión de los datos meteorológicos, tienen configuración para la conexión

a los sensores, con núcleo de datalogger netDL 500 o registrador de datos OTT netDL con función IP módem GSM/GPRS y puerto Ethernet. El armario es de acero inoxidable, cierre hermético, resistencia al polvo y agua, al mismo tiempo, dispone de protección ante sobrecargas del suministro de energía, con power control unit OTTPCU12 y puestos para conexión a los sensores SDI-12, RS-485 (OTT, 2015).

### Figura 25

*Componentes de la unidad compacta de la estación meteorológica*



Nota: Obtenido de OTT MetSystems: Armarios de sistemas con componentes integrados, por OTT, 2015.

El núcleo central del armario (registrador de datos) ya viene configurado para que una vez instalado los sensores se inicie la medición, también, posee la pre-configuración para usar el sensor de OTT Pluvio (sensor de precipitación) (OTT, 2015).

#### 3.6.2.3.2. Datalogger netDL 500

**Tabla 15**

*Especificaciones técnicas del Datalogger netDL 500*

Nombre	Descripción
T° de operación	-39,9°C a +60°C
Voltaje para alimentación	10-27 V DC

Memoria RAM/Dataflash/NAND Flash	4MB/4 MB/ 256 MB, almacenamiento de datos en búfer circular (FIFO)
Consumo de corriente	Modo de espera (<250 uA (+~100 uA con GSM/GPRS) Activo: 25 mA
Pantalla	122x32pixel, LED con luz de fondo.
Módulo GSM/GPRS interno	Quadband Motorola g30
Comunicación IP/TCP	Integrada IP/TCP, FTP, SMTP, SNTP, Ethernet, Webserver.
Entradas RS-232	Tres tarjetas con dos entradas RS-232, para conexión de sensores OTT protocolo RS232.
Interface de comunicación	RS-232, USB Host, USB cliente, RJ-45 10 Base-T




  
 Hydromet
   
**OTT netDL 500 / 1000**

Nota: obtenido de Estación meteorológica automática OTT, por IGS, OTT Hydromet y Lufft, 2012.

### 3.6.2.3.3. *Sensores para medición de factores meteorológicos*

**Tabla 16**

*Especificaciones técnicas de los sensores que posee la estación meteorológica del GRA*

<b>Sensor de T° y Humedad relativa</b>	<b>Sensor de Precipitación</b>
<b>Marca/Modelo: OTT-Lufft/Ws 501</b>	<b>Marca: Thies</b>

<p><b>Temperatura:</b>            Tipo: NTC            Intervalo: -50 a 60 °C            Precisión: <math>\pm 0.2</math> °C            Resolución: 0.1 °C            Protección: IP66</p>	<p>Tipo: Tipping Bucket            Material: Aluminio anodizado            Área de captación: 200 cm<sup>2</sup>            Principio de medición: Tipping bucket            Resolución: 0.1 mm            Interface: pulsos</p>
<p><b>Humedad del aire:</b>            Tipo: Capacitivo            Intervalo: 0 % - 100 %            Precisión: <math>\pm 2</math> %            Resolución: 1 %            Protección: IP66</p>	<p><b>Gabinete de Protección:</b>            Tipo: NEMA 4X/3R            Material: acero inoxidable            Acabado: pintura electrostática</p>
<p><b>Sensor de Presión atmosférica</b>            Marca/Modelo: OTT-Lufft/WS 501 integrado            Tipo: NEMS capacitivo            Intervalo: 300 a 1100 hPa            Precisión: <math>\pm 0.5</math> hPa            Resolución: 0.1 hPa            Protección: IP66</p>	<p><b>Accesorios de montaje</b>            Estructura: tubular            Material: aluminio            Acabado: pintura electrostática            Medidas: 2 m, 3 m y 6 m de altura</p>
<p><b>Sensor de Velocidad y Dirección del viento</b>            Tipo: ultrasónico            Material: polímero de resistencia elevada</p> <p><b>Velocidad del viento</b>            Intervalo: 0 – 75 m/s            Precisión: 0.2 m/s o <math>\pm 2\%</math>            Resolución: 0.1 m/s            Protección: IP66</p> <p><b>Dirección del Viento</b>            Rango de medición: 0 -360°            Precisión: <math>\pm 2^\circ</math>            Resolución: 0.1°            Interface: SDI12; RS485            Protección: IP66</p>	<p><b>Suministro de energía</b>            Marca: OTT/PCU-12</p> <p><b>Controlador de carga</b>            Tipo: LED integrado            Material: ABS protección IP 54            Voltaje: 90 a 250 V            Voltaje de salida: 11 a 13.9 V</p> <p><b>Panel solar</b>            Tipo: Silicio mono cristalino            Potencia: 50W</p>

---

**Sensor de Radiación solar**

Marca: OTT-Lufft/WS 501...

Tipo: Silicio

Rango de longitud de onda: 300 a 2800 nm

Sensibilidad: 7 a 14 uV/Wm<sup>2</sup>

Máx irradiación: 1400 W/m<sup>2</sup>

Interface: analógica nativa

---

Nota: obtenido de Estación meteorológica automática OTT, por IGS, OTT Hydromet y Lufft, 2012.

### 3.6.2.4. Materiales

**Tabla 17**

*Materiales usados en la presente investigación*

Nº	Nombre	Unidad	Cant.
1.1	Papel	Millar	2
1.2	Impresora	Unidad	1
1.3	GPS	Unidad	1
1.4	Lapicero	Unidad	3
1.5	Rotulador	Unidad	2
1.6	Cámara fotográfica	Unidad	1
1.7	Cinta métrica	Unidad	1
1.8	Cuaderno	Unidad	2
1.09	Tablero de 8 polos	Unidad	1
1.10	Llave térmica de 20 AMP	Unidad	1
1.11	Reloj Horario digital	Unidad	1
1.12	Contacto	Unidad	1
1.13	Computadora	Unidad	1
1.14	Instalación reloj digital	Unidad	1
1.15	Escáner	Unidad	1
1.16	USB	Unidad	2

---



## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Modelamiento de las variables Meteorológicas

El modelamiento de las variables independientes y dependientes se realizó en el programa RStudio, mediante el método de regresión lineal múltiple.

De acuerdo a Montero (2016) la regresión es un método estadístico que calcula la relación de las variables dependientes con las independientes en forma de función matemática. En el modelo de regresión lineal múltiple se considera que la variable dependiente (Y) fue generado por combinaciones lineales a partir de un conjunto de variables independientes o baribales explicativas ( $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, \dots$ ) de nuestro estudio y un término aleatorio, es por ello que en el modelo de regresión lineal múltiple se espera que los sucesos tengan una forma funcional de:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1} \beta_i x_i + \epsilon_i$$

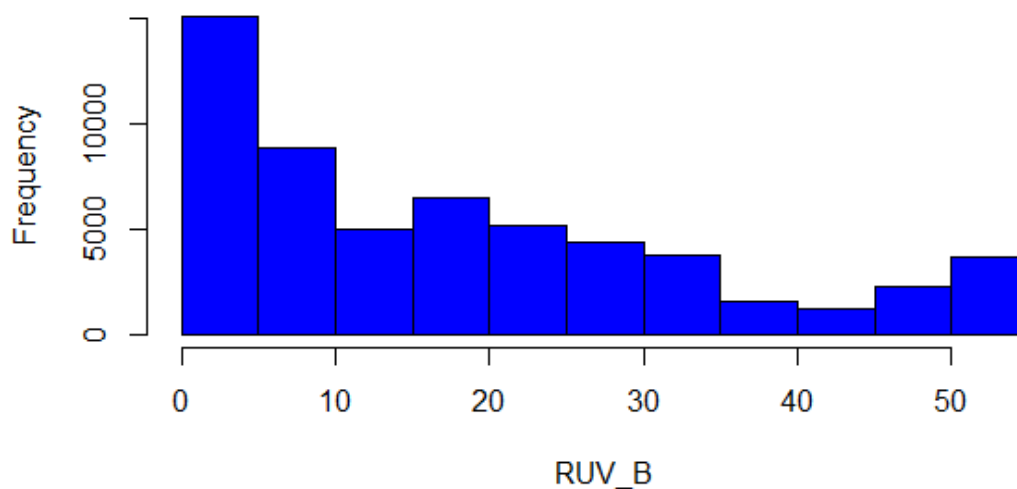
Los coeficientes son elegidos de forma que la suma de cuadrados entre los valores observados y los pronosticados sea mínimo, a esto se le conoce como el método de mínimos cuadrados, es decir, la minimización de la varianza residual.

### 4.1.1. Distribución de las variables

#### Resultados de la Radiación Ultravioleta tipo-B

**Figura 26**

*Distribución de los datos de la radiación UV-B*



**Tabla 18**

*Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov*

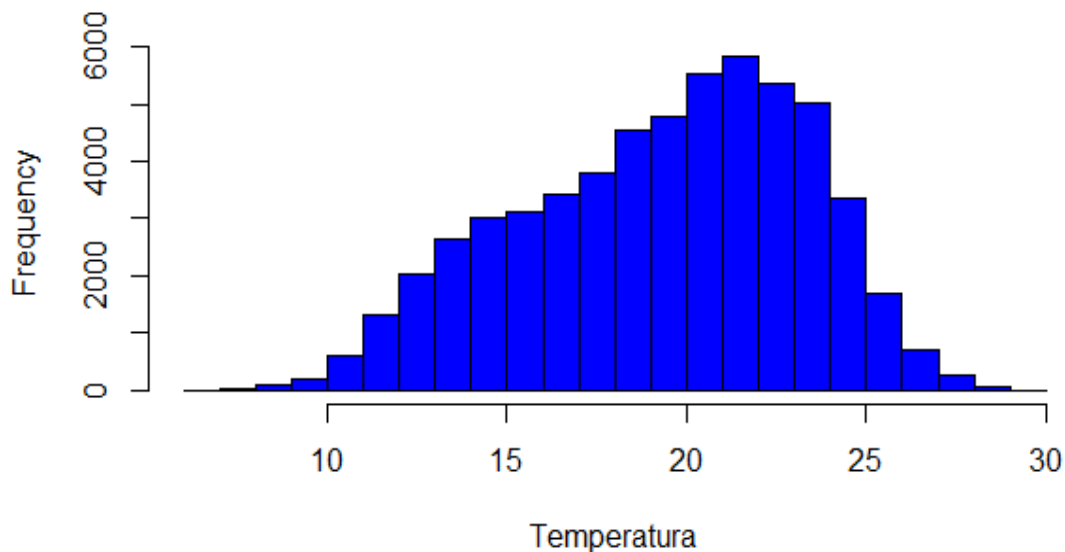
Prueba de Normalidad de Kolmogorov			
D =	0.84142	p-value	<2.2e-16 = 2.2.*10 <sup>-16</sup> = 0.00000000000000022

Gráficamente se afirma que la distribución de los datos no se ajusta a la normalidad y los resultados de la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (p-value 2.2e-16 menor a 0.05 (alfa)) confirman que los datos no se ajustan a la normalidad, es por ello, que se usará la correlación de Spearman en vez de Pearson.

## Resultados de la prueba de normalidad para Temperatura

**Figura 27**

*Distribución de los datos de la Temperatura*



**Tabla 19**

*Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov*

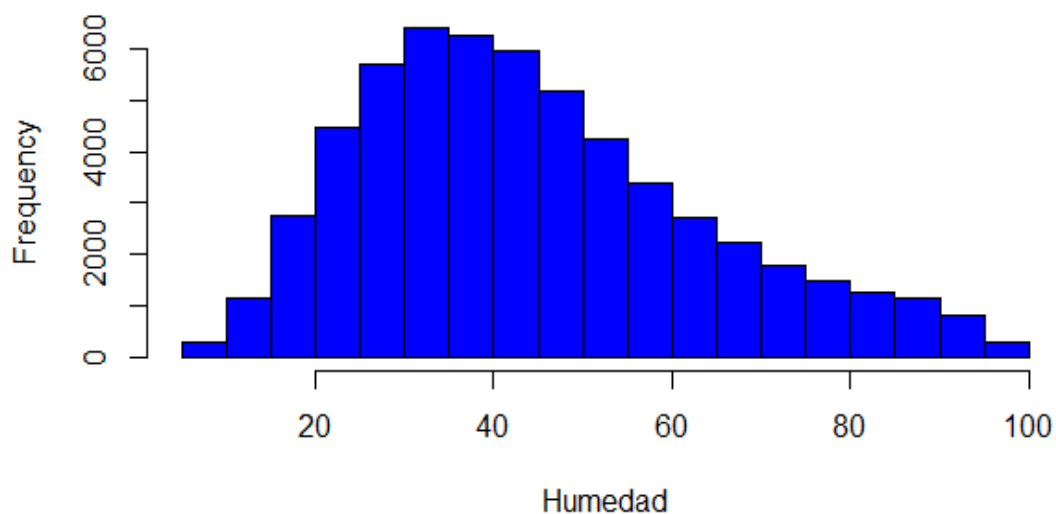
Prueba de Normalidad de Kolmogorov		
D =	1	p-value $< 2.2e-16 = 2.2 \cdot 10^{-16} = 0.00000000000000022$

A nivel gráfico y mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (p-value  $2.2e-16$  menor a 0.05 (alfa)) se corrobora que las distribuciones de los datos de la Temperatura no se ajustan a la normalidad, por ende, se usará la correlación de Spearman en lugar de Pearson.

## Resultados de la prueba de normalidad para los datos de Humedad Relativa

**Figura 28**

*Distribución de los datos de Humedad Relativa*



**Tabla 20**

*Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov*

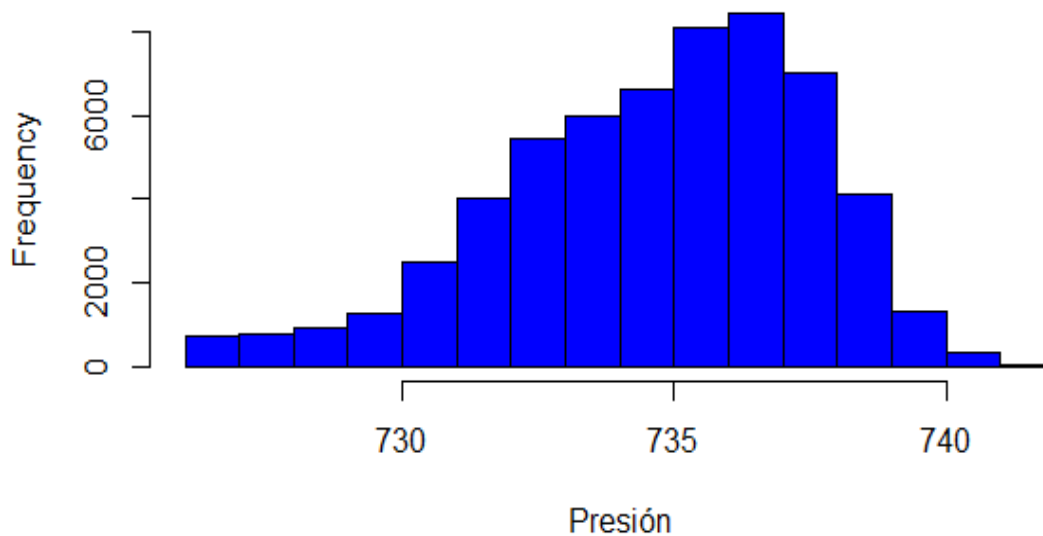
Prueba de Normalidad de Kolmogorov		
D =	1	p-value <math>2.2e-16 = 2.2 \cdot 10^{-16}</math>

En la Figura 28 (a nivel gráfico) y la Tabla 20 (prueba de Kolmogorov) se aprecia que la distribución de los datos de la Humedad Relativa no se ajusta a la normalidad, es por ello, que los datos serán modelados mediante el método correlacional de Spearman en lugar de Pearson

## Resultados de la prueba de normalidad para los datos de Presión Relativa

**Figura 29**

*Distribución de los datos de Presión Relativa*



**Tabla 21**

*Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov*

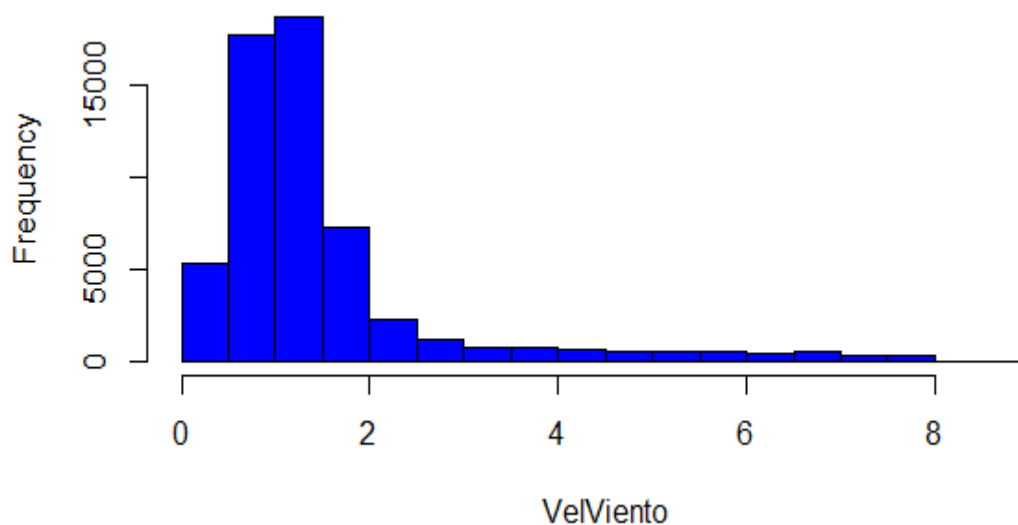
Prueba de Normalidad de Kolmogorov			
D =	1	p-value	<2.2e-16

Gráficamente se concluye que los datos no se ajustan a la normalidad, el cual coincide con la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov en el que el p-value (<2.2e-16) es menor a alfa (0.05), por lo que podemos decir que la distribución de los datos no se ajusta a la normalidad y por ende, se usará la correlación de Spearman en vez de Pearson.

## Resultados de la prueba de normalidad para los datos de Velocidad del Viento

**Figura 30**

*Distribución de los datos de Velocidad del Viento*



**Tabla 22**

*Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov*

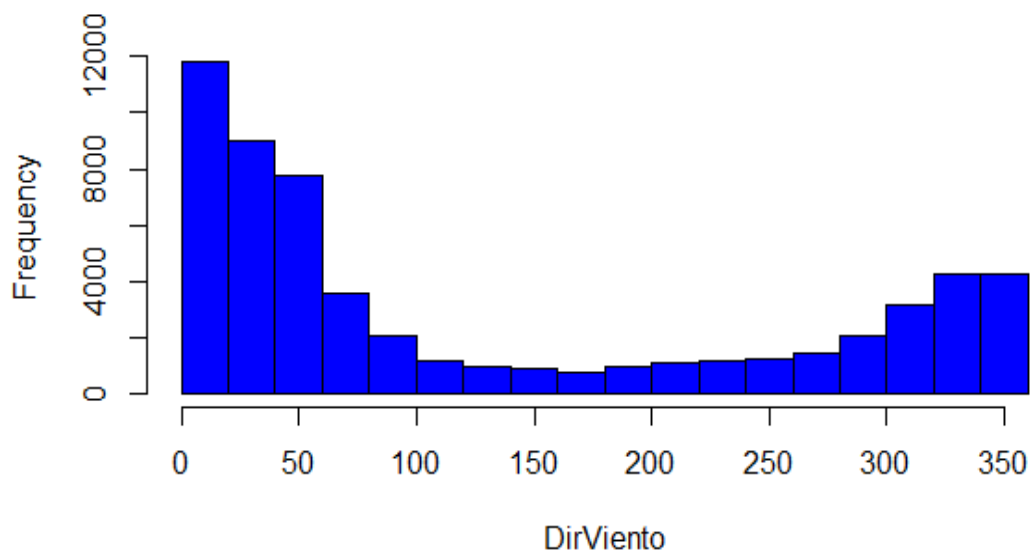
Prueba de Normalidad de Kolmogorov: data: Velocidad del Viento			
D =	0.63146	p-value	<2.2e-16

Tal como se aprecia en el gráfico y la prueba de Kolmogorov-Smirnov ( $2.2e-16$  es menor al alfa que es 0.05) la distribución de los datos de la velocidad del viento no se ajusta a la normalidad, por el cual se usará la correlación de Spearman en vez de Pearson.

## Resultados de la prueba de normalidad para los datos de Dirección del Viento

**Figura 31**

*Distribución de los datos de Dirección de viento*



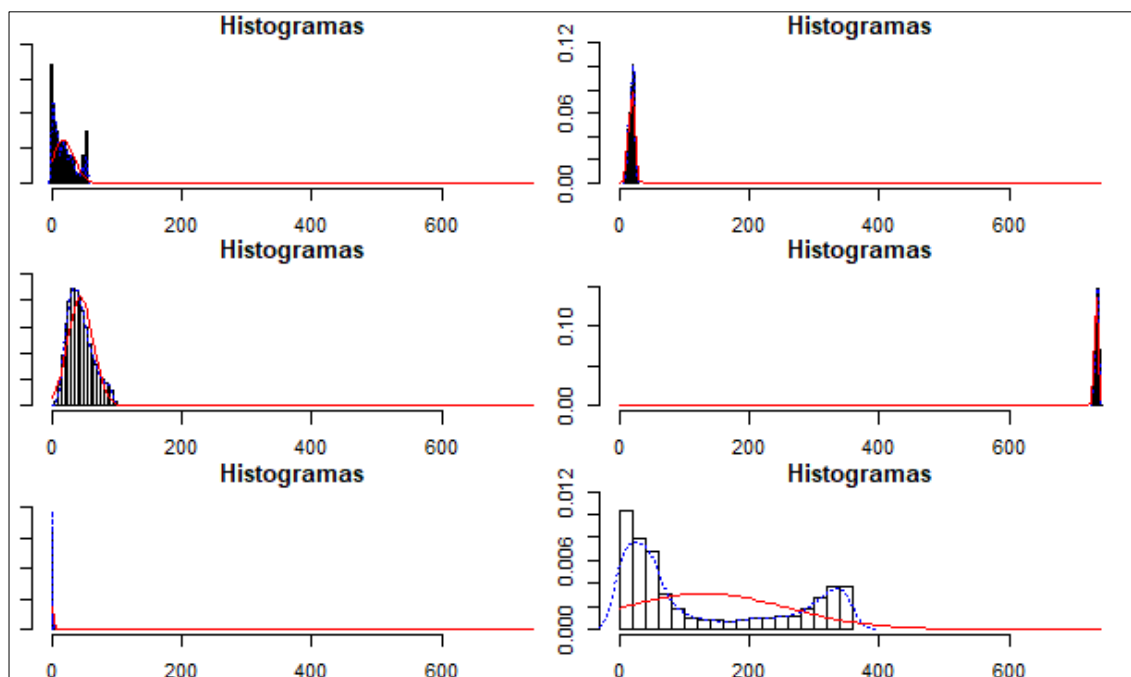
**Tabla 23**

*Resultados de la prueba de Normalidad de Kolmogorov*

Prueba de Normalidad de Kolmogorov			
D =	0.9107	p-value	<2.2e-16

**Figura 32**

*Resumen de la distribución de los datos.*



Gráficamente podemos decir que la distribución de los datos no se ajusta a la normalidad, por lo tanto, usaremos la correlación de Spearman en vez de Pearson. Asimismo, la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov arroja resultados de: p-value obtenido ( $2.2e-16$ ) es menor a al alfa que es 0.05, esto quiere decir que los datos no se ajustan a la normalidad. En conclusión, la distribución de todos los datos tanto de la estación meteorológica como del Solmáforo no se ajustan a la normalidad.

#### 4.1.2. Análisis de la correlación de las variables de estudio

**Tabla 24**

*Análisis de la correlación de las variables de estudio*

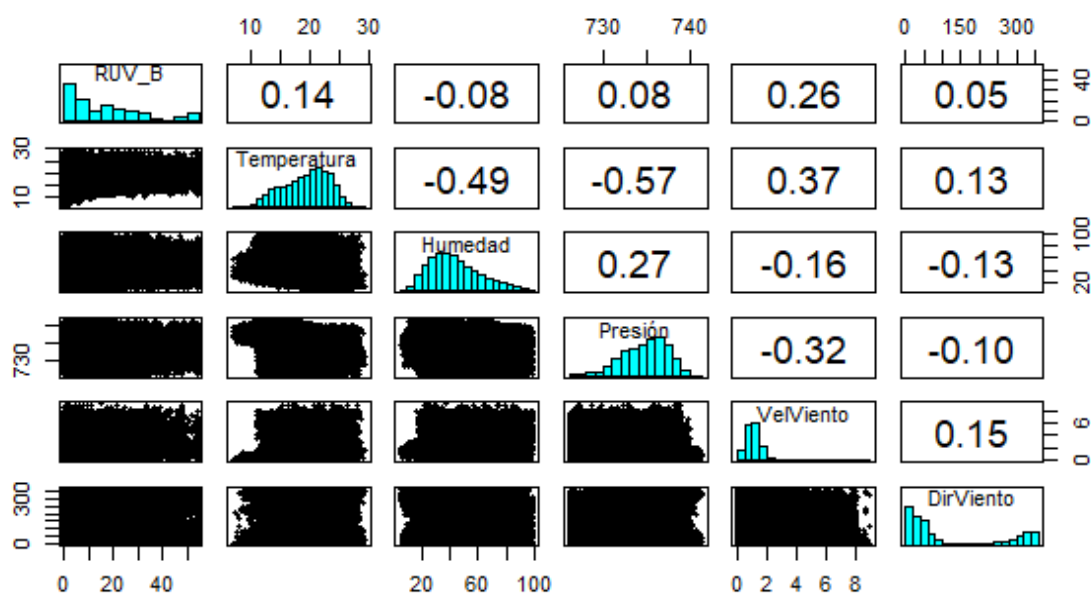
	RUV_B	Temperatura	Humedad	Presión	VelViento	DirViento
RUV_B	1	0.142	-0.078	0.085	0.259	0.054
Temperatura	0.142	1	-0.495	-0.568	0.368	0.131



<b>Humedad</b>	-0.078	-0.495	1	0.268	-0.161	-0.133
<b>Presión</b>	0.085	-0.568	0.268	1	-0.320	-0.101
<b>Vel. Viento</b>	0.259	0.368	-0.161	-0.320	1	0.150
<b>Dir. Viento</b>	0.054	0.131	-0.133	-0.101	0.150	1

**Figura 33**

*Resumen del análisis de la correlación de las variables de estudio*



La correlación de la variable RUV-B (radiación ultravioleta tipo B) tiene una relación directa con la temperatura, debido al valor positivo que nos da en la tabla (0.142), esto nos dice que a mayor temperatura mayor radiación UV-B se tiene, sin embargo, la correlación con la variable temperatura es baja por estar frente a un valor menor a 0.30 equivalente al 30%.

La correlación de la radiación UV-B con la humedad posee una relación indirecta por ser un valor negativo (-0.078), que implica que a mayor RUV-B menor humedad, así mismo, los resultados demuestran que la correlación de estas dos variables es baja por estar frente a un valor menor del 10%.

La correlación de la variable RUV-B con la presión tiene una relación directa por ser positivo (0.085), lo que quiere decir, que a mayor presión mayor radiación ultravioleta tipo B, en el análisis de los datos se aprecia que la correlación que poseen es baja por ser menor al 10%.

La correlación de la variable RUV-B con la velocidad del viento es baja, sin embargo, la relación es directa por ser positivo (0.259), esto supone que a mayor velocidad del viento mayor radiación ultravioleta tipo B.

Finalmente, la correlación de la variable RUV-B con la dirección del viento posee una relación directa con un valor positivo de 0.054, lo que implica que estas dos variables son directamente proporcionales (a mayor dirección del viento mayor radiación UV-B), a esto se añade.

#### 4.1.3. Modelamiento de la radiación UV-B con las variables de Temperatura, Humedad,

*Presión, Vel. del viento y Dir. del viento.*

**Tabla 25**

*Resultado del modelamiento de la radiación UV-B con todas las variables*

	Estimate	Std. Error	T value	Pr(>  t )
Intercepto	-1.026e+03	1.974e+01	-51.989	< 2e-16
Temperatura	1.106e+00	2.090e-02	52.925	< 2e-16
Humedad	-1.423e-02	3.836e-03	-3.710	0.000207
Presión	1.391e+00	2.660e-02	52.299	< 2e-16
Vel. viento	9.604e-01	5.141e-02	18.683	< 2e-16
Dir. viento	2.725e-03	5.097e-04	5.348	8.95e-08

De acuerdo a ecuación general  $Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \epsilon$ , la radiación UV-B viene a ser la Y, en el que  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  y  $\beta_5$ , representan al intercepto que figura en la tabla, mientras que el  $x_1, x_1, x_1, x_1$  y  $x_1$ , son los que multiplican y vienen a ser los valores de

temperatura, humedad, presión, velocidad del viento y dirección del viento. Es por ello, que después de procesar los datos, se encontró la siguiente fórmula:

$$RUVB = ((-1.026342e + 03) + (1.105953e + 00 * T) + (-1.423289e - 02 * H) + (1.390894e + 00 * P) + (9.604209e - 01 * VV) + (2.725408e - 03 * DV))$$

Así mismo, el valor del P-Value es de:  $< 2.2e-16$ , siendo menor al alfa (0.05), esto quiere decir, que cada variable tiene un aporte significativo al modelo, sin embargo, se necesita realizar diversos análisis para ver que variables aportan más que otras, tal como se analizó mediante las correlaciones.

Además, se tiene valores del residual standard error: 15.22 en un total de 57456 datos procesados, mientras que el múltiple R-squared es de 0.07696, lo que quiere decir que aproximadamente el 8% de la variación en las variables puede ser explicado por el modelo, con un adjusted R squared de 0.07688.

#### 4.1.4. Modelando con las variables que más aportan al modelo

**Tabla 26**

*Resultado del modelamiento de la radiación UV-B con las variables que tienen mayor aporte al modelo*

	Estimate	Std. Error	T value	Pr(>  t )
Intercepto	-1.029e+03	1.974e+01	-52.14	<2e-16
Temperatura	1.155e+00	1.867e-02	61.85	<2e-16
Presión	1.393e+00	2.660e-02	52.36	<2e-16
Vel. viento	9.433e-01	5.067e-02	18.61	<2e-16

**Tabla 27**

*Resultado del modelamiento de la radiación UV-B con las variables que tienen mayor aporte al modelo*

<b>Residual standard error</b>	15.22
<b>Degrees of freedom</b>	57458
<b>Multiple R-squared:</b>	0.07617
<b>Adjusted R-squared</b>	0.07612

Acorde a los resultados del modelamientos con las variables que tienen mayor aporte en el modelo, se tiene como resultado P-value:<2.2e-16 es menor al alfa (0.05), lo que significa que el aporte de los modelos es significativo con aporte de las variables que fortalecen el modelo, además, se realizó la comparación de  $r^2$  ajustado (0.07688) (resultado del modelamiento con todas las variables) con el  $r^2$  del último modelo (0.7612) (resultado del modelamiento con las variables que más aportan al modelo), en el que se obtuvo valores semejantes, teniendo prácticamente el mismo valor, por ende nos quedamos con el último modelo estudiado, con la siguiente fórmula.

$$RUVB = ((-1028.9587017) + (1.1549572 * T) + (1.3928245 * P) + (0.9432865 * VV))$$

De acuerdo a la fórmula se concluye que se encontró un modelo lineal.

Los resultados de la investigación realizada por Gómez (2017) sobre los niveles de radiación UV del 2006 al 2011, donde, los habitantes de la ciudad de Ayacucho estuvieron expuestos a categorías altas, muy altas y extremas de radiación ultravioleta, así mismo, se evidenció que las temperaturas altas coincidían con la elevada radiación UV, sumado a esta investigación Gonzáles (2021) afirma que uno de los factores para determinar la intensidad de la radiación UV es el espesor de la capa de aire y como bien sabemos tanto la velocidad como la dirección del viento son determinantes para el espesor de la capa de aire.

Además, de los factores ya mencionados la disminución de la intensidad de la radiación dependerá de la ubicación geográfica, espesor de la capa de aire, estación del año, entre otros, esto supone la gran complejidad de los factores que influyen en la intensidad de radiación que llega a la superficie terrestre (Gonzales, 2021).

#### 4.2. Modelamiento con series de tiempo

Para el modelamiento de series de tiempo se necesita tener datos que presenten patrones estacionales (estos pueden ser datos diarios, mensuales, trimestrales, anuales, entre otros), para ello, se tiene diferentes enfoques como es el caso del modelo ARIMA (AutoRegresive (AR), Integrated (I) y Moving Average (MA)), el cual será usado para el modelamiento de la radiación ultravioleta tipo B y las variables meteorológicas (De la Fuente Fernández, 2016).

Gallego (2019) menciona que el modelo ARIMA se enfoca en el estudio de patrones históricos con la finalidad de pronosticar el comportamiento a futuro (predicciones), los modelos de ARIMA tienen una dependencia de la autocorrelación y al combinar los términos AR y MA, nace la siguiente ecuación de ARIMA.

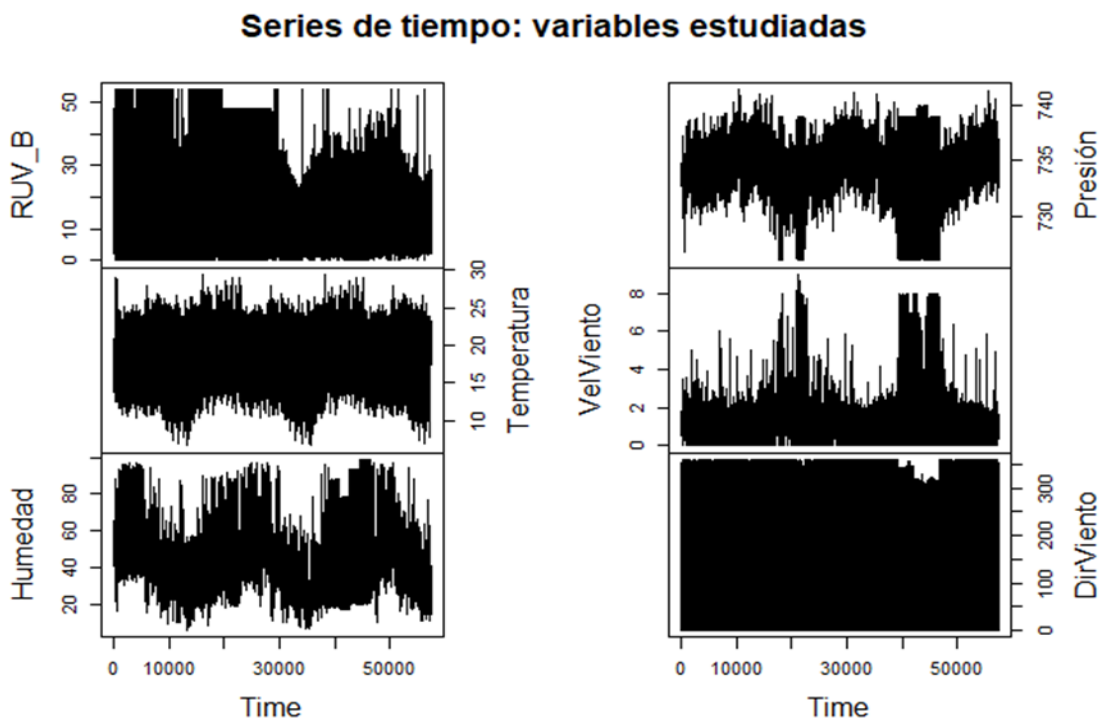
$$Y_t = \alpha + \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + \dots + \beta_p Y_{t-p} + \epsilon_t + \phi_1 \epsilon_{t-1} + \phi_2 \epsilon_{t-2} + \dots + \phi_q \epsilon_{t-q}$$

Caracterizado por contener tres términos: “p,d,q”, en el que “p” representa al término AR, “q” es el término MA y “d” la cantidad de diferenciaciones que se debe realizar para que el modelo de serie de tiempo sea estacionaria y ruido blanco (sin perturbación alguna) (Castellon, 2021).

#### 4.2.1. Modelamiento de datos mediante Series de Tiempo

Figura 34

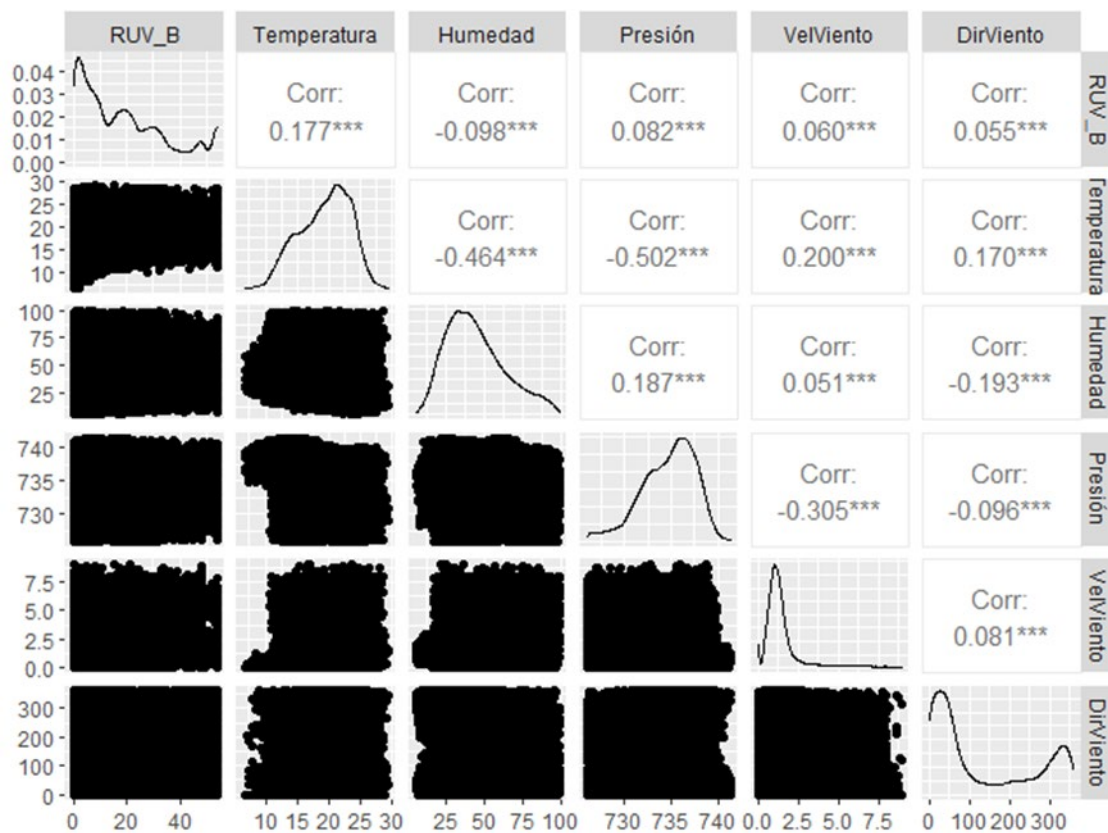
Representación de las variables estudiadas



En la Figura 34, se observa las variables en estudio (radiación ultravioleta tipo B, humedad, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento y presión) para el modelamiento en series de tiempo.

**Figura 35**

*Correlación de la radiación UV-B con las variables meteorológicas.*

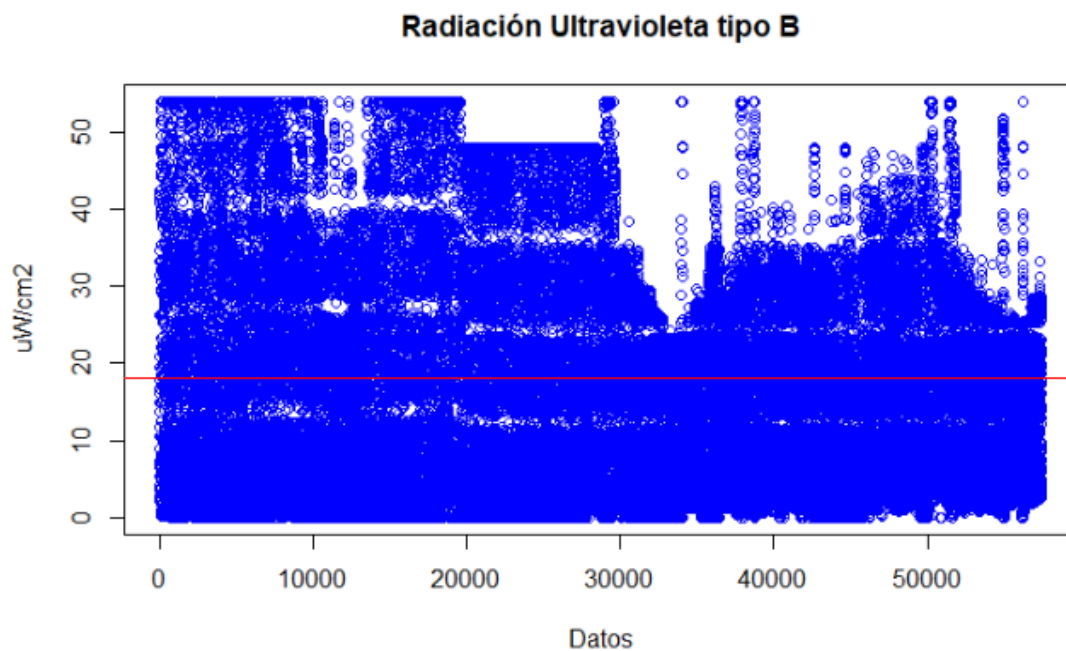


Mediante el programa RStudio se realizó la correlación de los datos en series de tiempo, tal y como se observa en la Figura 35, en el que la variable temperatura (17%) tiene mayor influencia en la radiación ultravioleta tipo B.

#### 4.2.1.1. Modelamiento de la Radiación UV-B

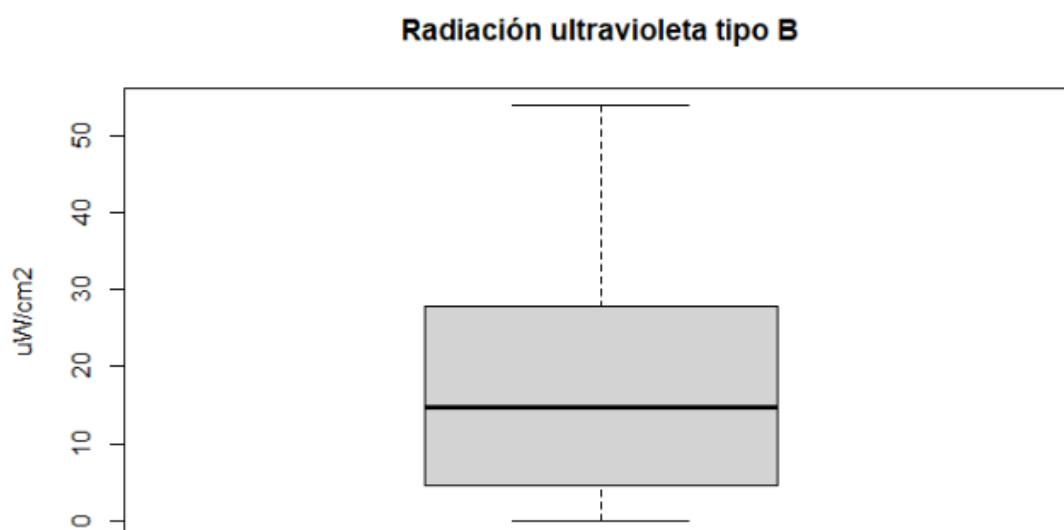
**Figura 36**

*Representación gráfica del total de datos de la radiación UV-B*



**Figura 37**

*Valores de la radiación UV-B distribuidos en cuartiles*

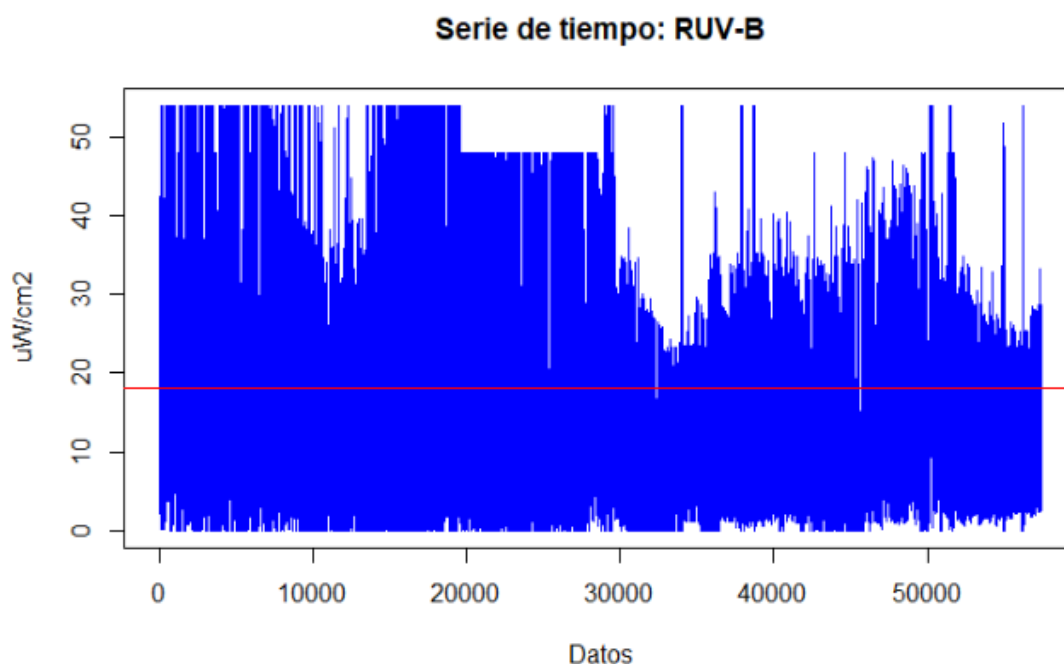




**Tabla 28***Distribución de datos en cuartiles*

Min	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máx.
0.0	4.61	14.78	18.15	27.93	53.91

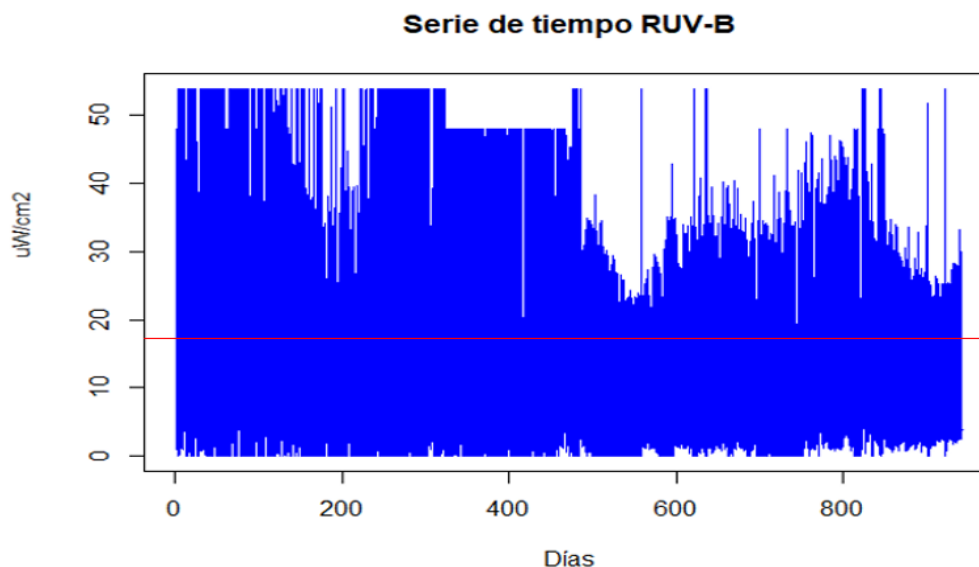
Tanto en la Figura 37 como en la Tabla 28, se encuentran la distribución de los datos, además, se aprecia los datos mínimos y máximos, los cuartiles y la media y la mediana (ubicado en el punto medio al momento de ordenar los valores de menor a mayor).

**Figura 38***Valores de la radiación UV-B convertidos en series de tiempo.*

La Figura 36, muestra los datos originales de la radiación ultravioleta tipo B convertidos en series de tiempo, con una media de 18.15. al convertir los datos originales a series de tiempo tomamos los datos por días o por ciclos de 61 datos, teniendo un total de 942 ciclos de 57462 datos, tal y como se observa en la Figura 38.

**Figura 39**

*Valores de la radiación UV-B convertidos ciclos.*



La serie de tiempo inicia en cero como dato mínimo, hasta llegar a 53.91 dato máximo, distribuidos en ciclos de 61 datos por día, teniendo como resultado de 942 ciclos en 57462 datos equivalentes a los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021.

### **Resultados de la Prueba de Dickey-Fuller**

La prueba de Dickey-Fuller ayuda a determinar si existen tendencias significativas en el modelo de series de tiempo, por medio de la contrastación de hipótesis (hipótesis alternativa ( $\delta < 0$ ) : modelo estacionario e hipótesis nula ( $\delta = 0$ ) : modelo no estacionario) (Rodó, 2019).

**Tabla 29**

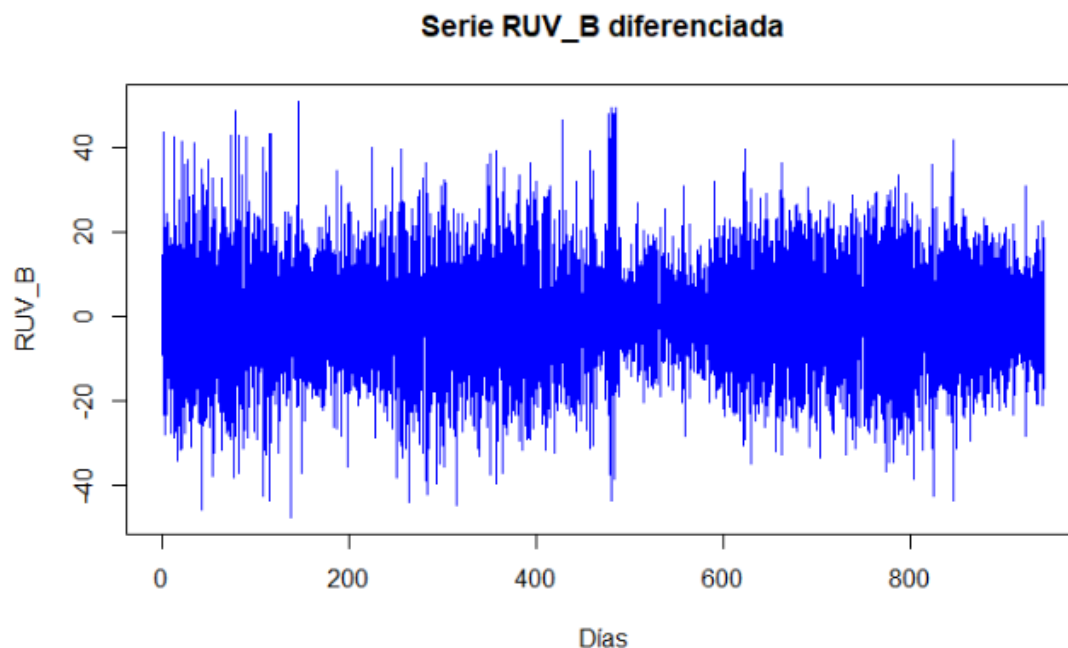
*Prueba de Dickey-Fuller en los datos de RUV-B*

Dickey-Fuller	-31.03
Lag order	38
p-value	0.01

Acorde al resultado del p-value (0.01) que es menor a 0.05 se acepta la hipótesis alternativa, lo cual se traduce en que el modelo de serie de tiempo de la radiación ultravioleta es estacionario. Sin embargo, se debe corroborar que el modelo posea autocorrelación, es por ello que se aplica la función de autocorrelación.

#### **Figura 40**

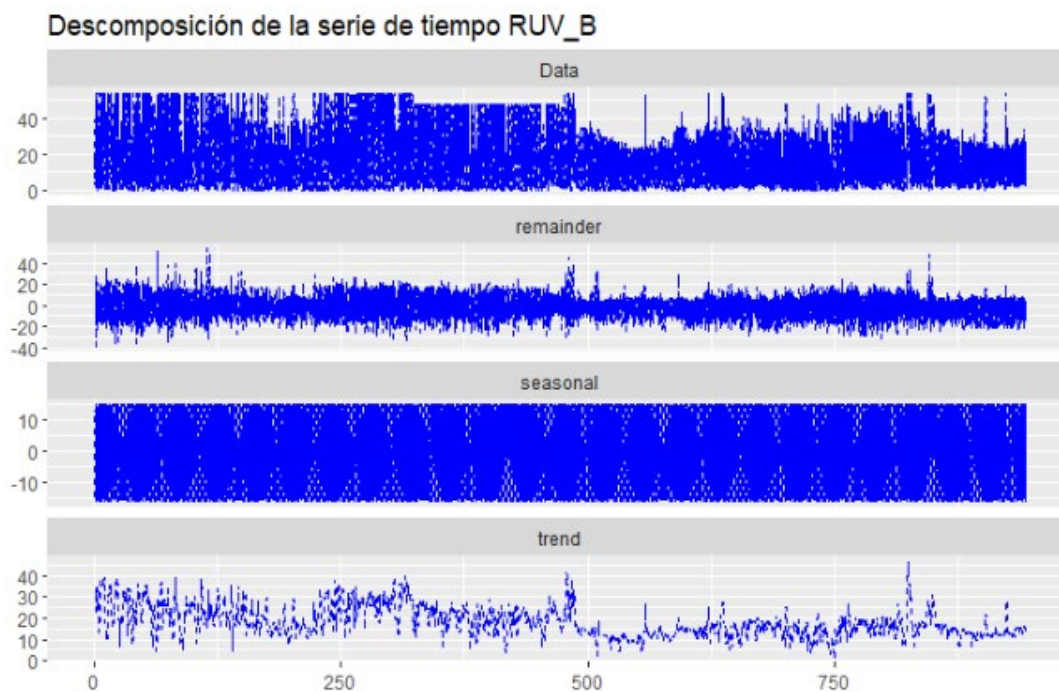
*Serie diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B*



La figura muestra que la serie diferenciada de la RUV-B tiene datos distribuidos con una media igual a cero con varianza constante alrededor de ella, esto significa que ya se puede aplicar el modelo ARIMA. Donde AR representa una regresión de la variable contra los valores pasados de ella misma, MA representa la media móvil ponderada de los errores pasados del pronóstico; y combinando los dos modelos e incrementado la diferenciación se obtiene el modelo ARIMA que a su vez posee tres componentes (p: parte autorregresiva, d: grado de diferenciación y q: parte media móvil).

**Figura 41**

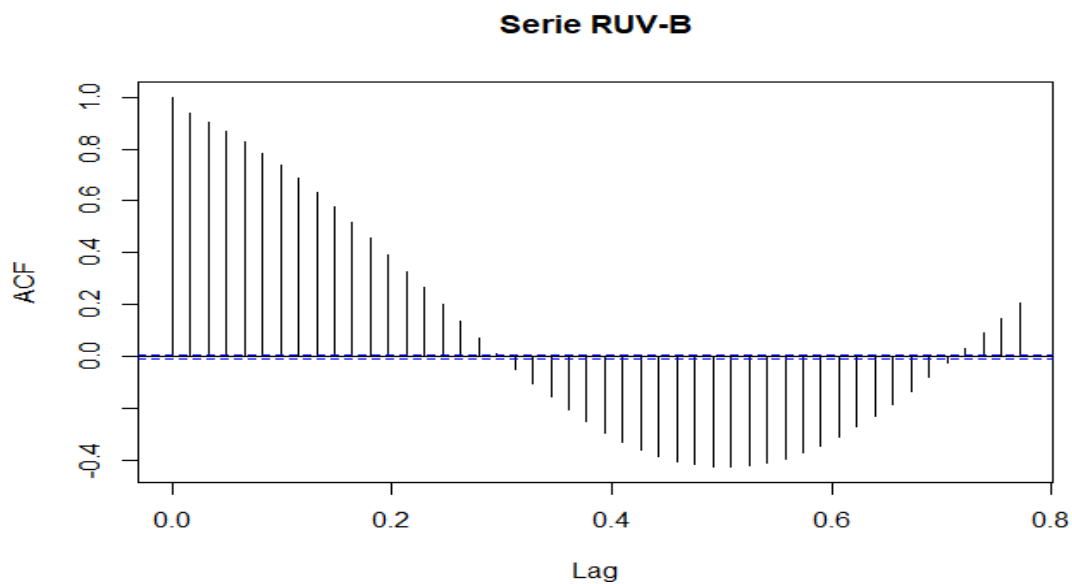
*Descomposición de serie diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B*



Observamos que la serie descompuesta posee sus componentes originales (data), la tendencia (trend) en el que se visualiza que no existe tendencia, así mismo, muestra la existencia de estacionariedad (seasonal) de los datos y finalmente el remainder indica que existe distribución de datos alrededor de cero con varianza constante.

**Figura 42**

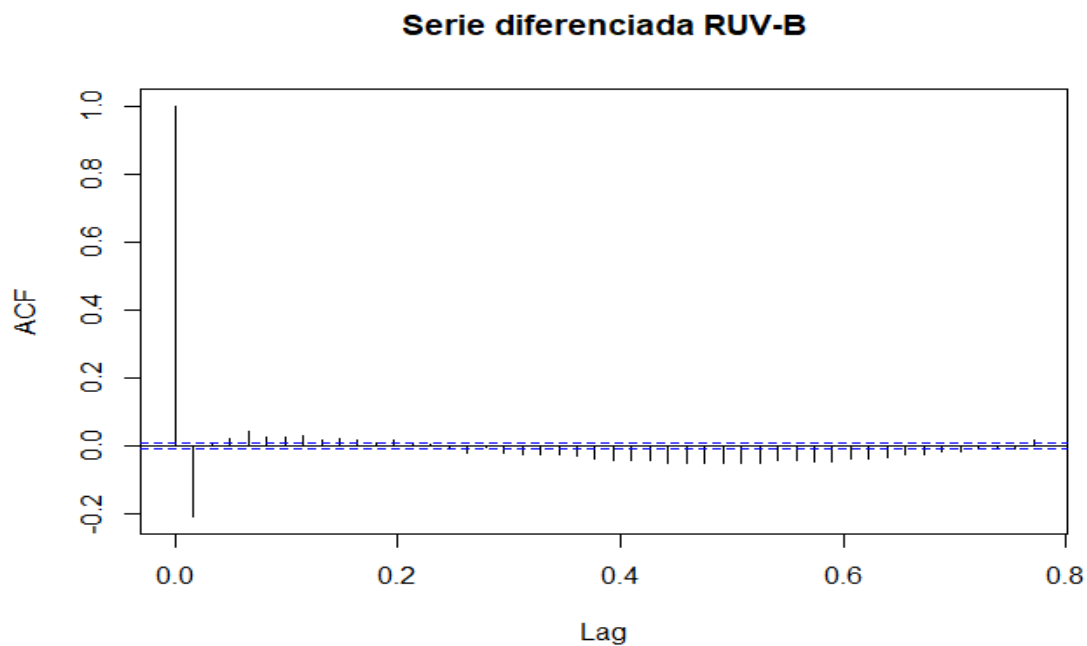
*Serie no diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B*



En la Figura 42 se aprecian los datos originales de la serie no diferenciada, el cual indica que existe dependencia, por lo cual se debe aplicar una diferenciación.

**Figura 43**

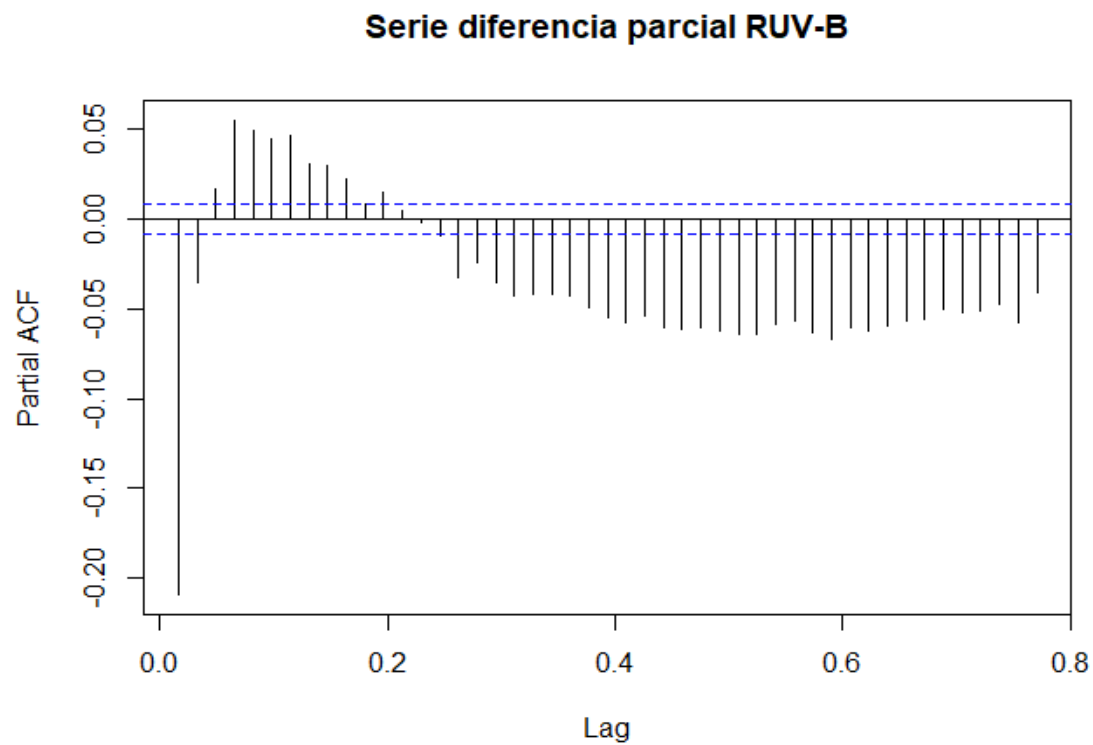
*Serie diferenciada de la radiación ultravioleta tipo B*



La Figura 43 muestra la única diferenciación de la serie y la Figura 44 de la serie diferenciada parcial de la radiación ultravioleta tipo B muestra que una diferenciación es suficiente para los pronósticos con un nivel de confianza del 95%.

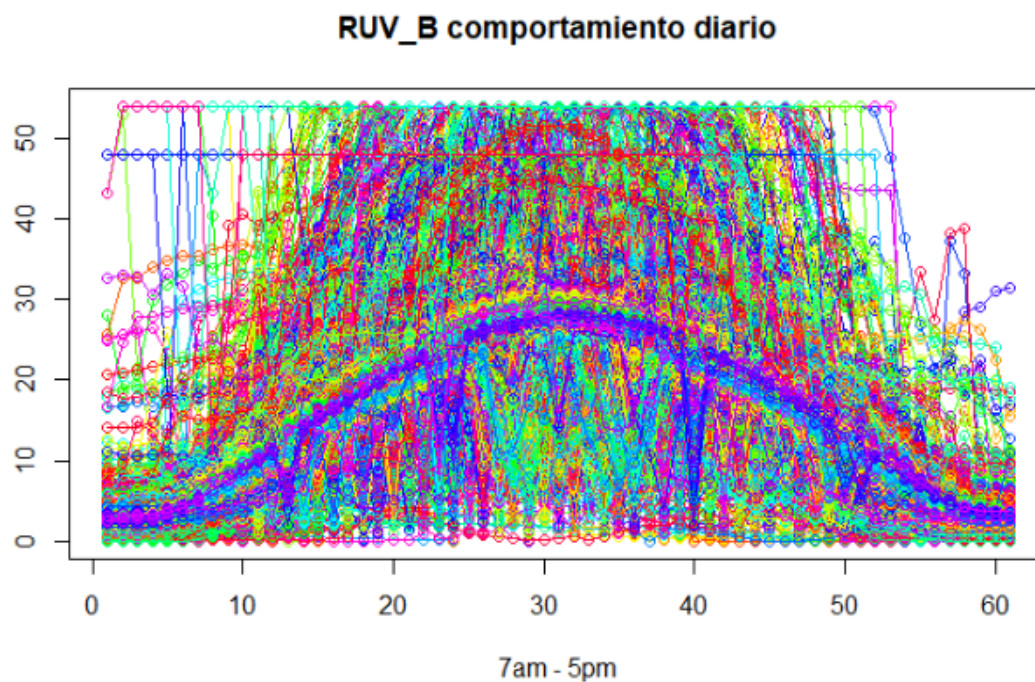
#### Figura 44

*Serie diferenciada parcial de la radiación ultravioleta tipo B*



**Figura 45**

*Comportamiento diario de la radiación ultravioleta tipo B*



El comportamiento diario de la radiación UV-B es cambiante tal como se aprecia en la Figura 45.

**Tabla 30**

*Modelo ARIMA y componentes para la radiación UV-B*

<b>ARIMA</b>	(2,0,2)( 1,1,0)[61]		369256.4			
Best model:	ARIMA(2,0,2)(1,1,0)[61]					
Series:	RUV-B					
ARIMA	(2,0,2)(1,1,0)[61]					
<b>Coefficients:</b>						
<b>ar1</b>	<b>ar2</b>	<b>ma1</b>	<b>ma2</b>	<b>sar1</b>		
1.4781	-0.5127	-0.8524	0.1344	-0.4828		
s.e. 0.1245	0.1135	0.1252	0.0393	0.0037		
sigma <sup>2</sup> = 36.4:		log likelihood = -184622.2				
AIC=369256.4		AICc=369256.4		BIC=369310.1		
<b>Training set error measures:</b>						
<b>ME</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MPE</b>	<b>MAPE</b>	<b>MASE</b>	<b>ACF1</b>
Training set - 0.001645546	6.029941	3.678573	NaN	Inf	0.508676	0.0004572819

La tabla muestra el modelo ARIMA con sus componentes para la radiación ultravioleta tipo B, todos los valores que figuran son los mejores valores y todos proceden del mejor modelo ARIMA que calculó el programa RStudio.

**Tabla 31**

*Tabla de normalidad del modelo*

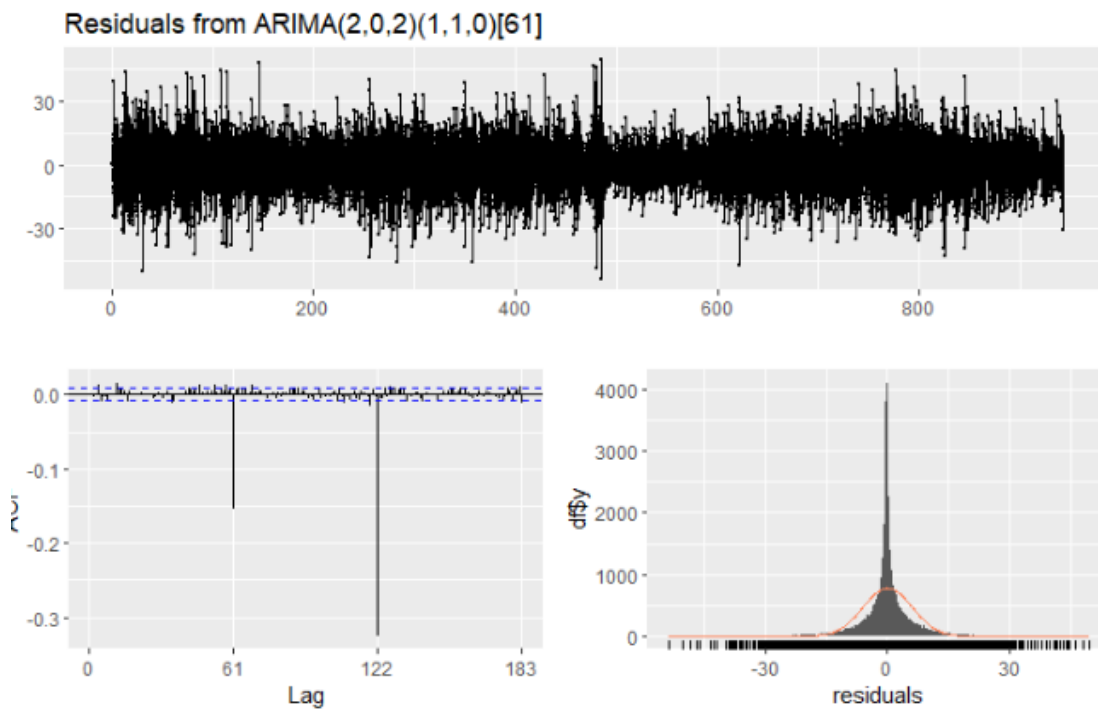
<b>Two-sample Kolmogorov-Smirnov test</b>	
D = 0.99965	p-value = 0.2704
alternative hypothesis: two-sided	

De acuerdo a la prueba de Kolmogorov Smirnov los datos del modelo se ajustan a la normalidad en el que el valor del p-value es de 0.27, siendo mayor al alfa 0.05, por lo tanto, afirmamos al 95% de confianza que los datos se ajustan a la normalidad, es decir son normales en su distribución.



**Figura 46**

*Gráficos residuales del modelo ARIMA de la radiación UV-B*



La Figura 46, muestra el modelo ya estandarizado, cumpliendo los requisitos en el que los residuos tengan la normalidad, estandarización y la varianza constante alrededor de la media cero.

**Tabla 32**

*Prueba de Ljung-box*

Box-Ljung test		
X-squared = 0.012016	df = 1	p-value = 0.9127

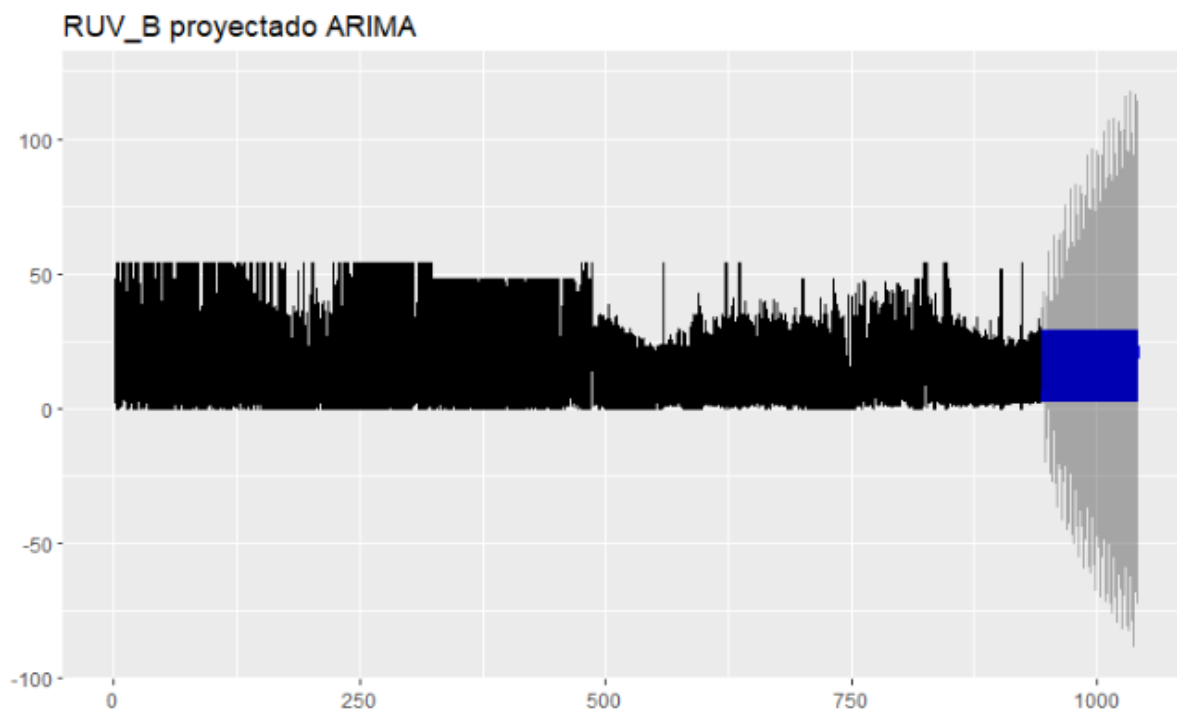
La prueba de Ljung-box dio como resultado al 95% del nivel confianza que el modelo cumple con la prueba exigida en el que el valor p-value (0.9127) es mayor a 0.05.

**Tabla 33***Pronóstico de valores de la RUV-B*

<b>Pronóstico de datos de la radiación ultravioleta tipo B</b>					
<b>Start</b>	<b>c(943, 1)</b>	<b>End</b>	<b>c(1041, 22)</b>	<b>Frequency</b>	<b>61</b>
<b>Nº</b>	<b>Point Forecast</b>	<b>Lo 80</b>	<b>Hi 80</b>	<b>Lo 95</b>	<b>Hi 95</b>
943.0000	3.395119	-4.33700299	11.12724	-8.43014099	15.22038
943.0164	3.541817	-5.57910075	12.66273	-10.40742283	17.49106
943.0328	3.647464	-6.40506270	13.69999	-11.72654863	19.02148
943.0492	3.646329	-7.08876701	14.38142	-12.77158347	20.06424
943.0656	4.079728	-7.18125746	15.34071	-13.14246306	21.30192
943.0820	4.907288	-6.77156824	16.58614	-12.95398116	22.76856
943.0984	6.170901	-5.84659994	18.18840	-12.20828071	24.55008
943.1148	7.860394	-4.43512964	20.15592	-10.94398653	26.66477
943.1311	8.270964	-4.25482499	20.79675	-10.88557724	27.42751
943.1475	7.897243	-4.82042957	20.61492	-11.55275878	27.34724
943.1639	8.630980	-4.24729472	21.50925	-11.06464142	28.32660
943.1803	5.827234	-7.18589461	18.84036	-14.07462902	25.72910
943.1967	11.240900	-1.88573992	24.36754	-8.83456359	31.31636
943.2131	12.416100	-0.80626583	25.63847	-7.80576367	32.63796
943.2295	15.167146	1.86393355	28.47036	-5.17836177	35.51265
943.2459	15.155131	1.78355767	28.52670	-5.29492548	35.60519
943.2623	13.504676	0.07524513	26.93411	-7.03386626	34.04322
943.2787	19.810069	6.33162988	33.28851	-0.80342456	40.42356
943.2951	21.341824	7.82184721	34.86180	0.66480406	42.01884
943.3115	21.155607	7.60040592	34.71081	0.42471569	41.88650

**Figura 47**

*Proyección de datos del modelo ARIMA de la radiación UV-B*



La Tabla 33 y la Figura 47 muestran el modelo proyectado de acuerdo al análisis previo del modelo, todo este proceso se dio a partir de los datos originales de la radiación ultravioleta tipo B. Así mismo, en la Figura 47, la parte oscura muestra los datos originales y el color azul y plomo son los valores que se proyectan a futuro.

Ccora y Aguirre (2021) analizaron la cantidad de radiación UV-B que se registraba en las distintas ciudades del Perú, indicando que hubo un ligero incremento de la radiación en el mes de agosto del 2021, con un ligero incremento de la radiación de onda larga ( $+5W/m^2-25W/m^2$  presencia de anomalías positivas) que produjo el aumento de la RUV-B, así mismo, la zona andina tuvo valores de radiación extremadamente altos.

De igual manera Neale y otros (2021) mediante un análisis realizado a las mediciones de la cantidad de Ozono troposférico confirman que lugares fuera de las regiones polares tuvieron

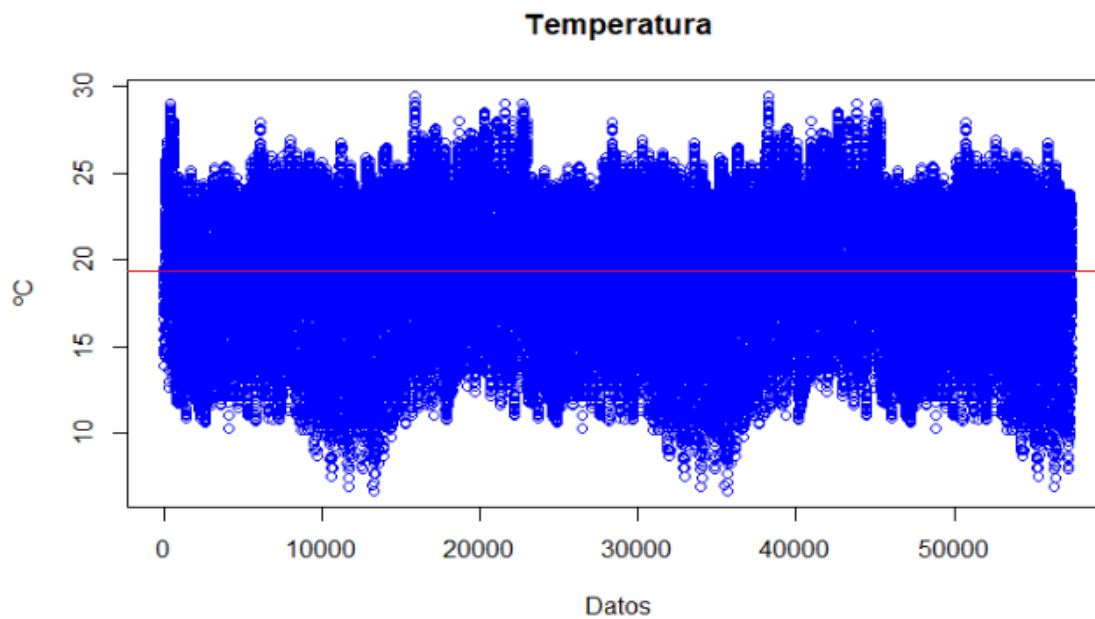
cambios a largo plazo en la RUV-B, regidos principalmente por la variación de nubes y otros factores, que fueron corroborados por los satélites, a esto se suma la investigación realizada por Jansen y otros (2019) en el que describen el comportamiento de la radiación UV-B con otras variables ambientales, muestra disminuciones con el aumento de latitud y en los ángulos bajos cenitales.

Herndon, Hoisington y Whiteside (2018) realizaron múltiples mediciones en la superficie de la tierra del espectro de irradiación solar (200 - 400 nm), debido a que, se cree ampliamente que el ozono ( $O_3$ ) y el oxígeno atmosférico ( $O_2$ ) impiden que más del 90% de la radiación UV-B (290-320 nm) y toda la radiación UV-C (100-290 nm) lleguen a la superficie de la tierra, sin embargo los resultados demostraron claramente que todas las longitudes de onda en ese rango espectral alcanzan la superficie de la Tierra, contrariamente a la percepción generalizada de que todos los UV-C y la mayoría de los UV-B nunca llegan a la superficie, con esto proporcionamos información introductoria sobre los efectos devastadores de los rayos UV-B y UV-C en seres humanos, fitoplancton, coral, insectos y plantas.

#### 4.2.1.2. Modelamiento de la Temperatura

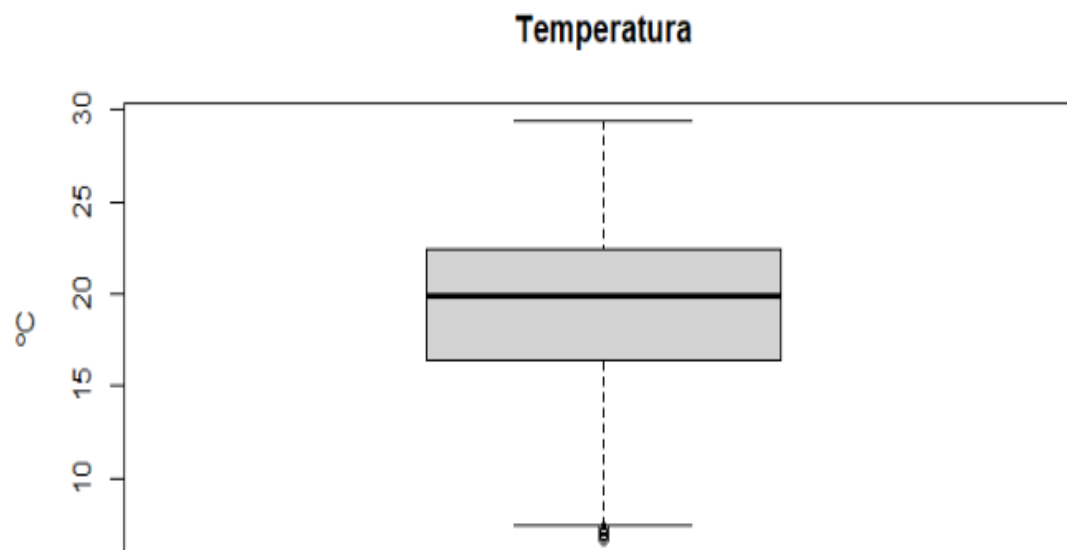
**Figura 48**

*Representación gráfica del total de datos de la Temperatura*



**Figura 49**

*Valores de Temperatura distribuidos en cuartiles*



**Tabla 34**

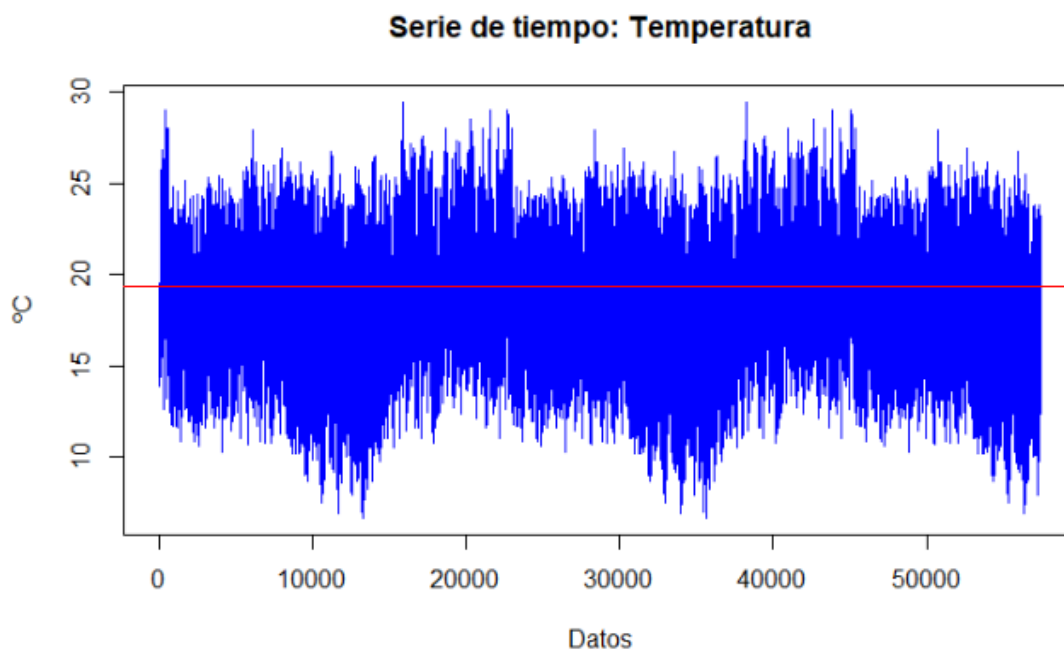
*Distribución de datos de Temperatura en cuartiles*

Min	1er Cuartil	Mediana	Media	3er Cuartil	Máx.
6.70	16.40	19.90	19.35	22.40	29.40

Tanto en la Figura 49 como en la Tabla 34, se encuentran la distribución de los datos, además, se aprecia los datos mínimos y máximos, los cuartiles, la media y la mediana.

**Figura 50**

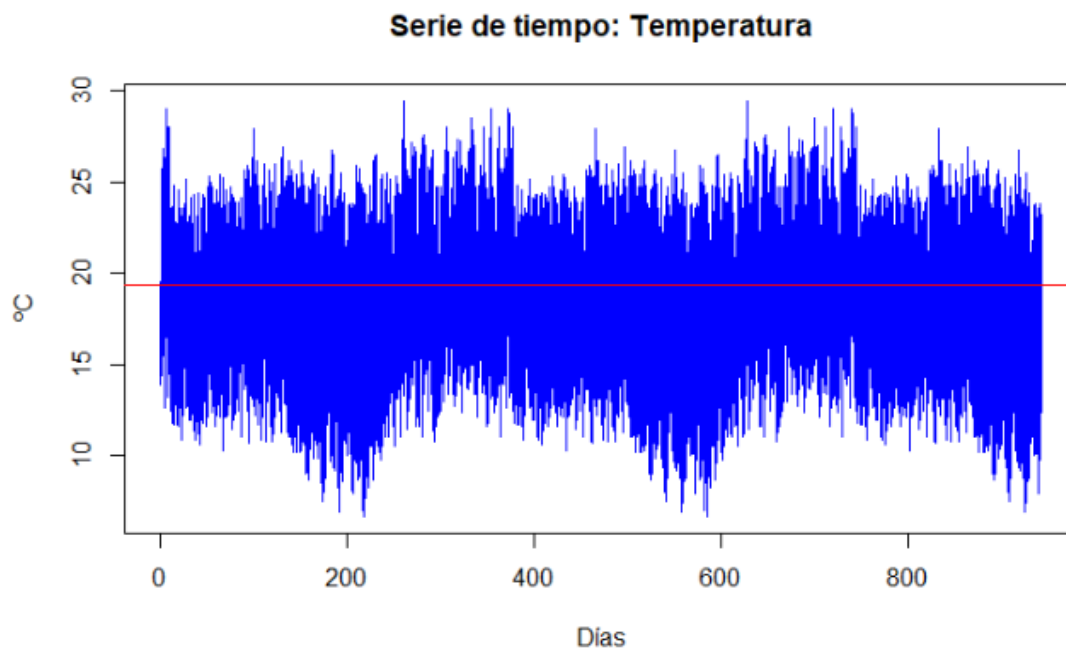
*Valores de Temperatura convertidos en series de tiempo.*



De acuerdo a los gráficos que se vienen mostrando de los valores de temperatura pareciese que existe estacionariedad alrededor de una media de 19.34737, sin embargo, para estar seguros debemos confirmar con el test de Dicker-Fuller a la serie de tiempo de la variable temperatura.

**Figura 51**

*Valores de la Temperatura convertidos en ciclos.*



Al convertir los datos originales en series de tiempo tomamos los datos por días o por ciclos de 61 datos, teniendo un total de 942 ciclos de 57462 datos, tal y como se observa en la Figura 51. La serie de tiempo inicia en 6.70 como dato mínimo, hasta llegar a 29.40 como máximo, en el que la media es equivalente a 19.34737 con lo cual gráficamente me indica que la serie de tiempo está alrededor de la media y por lo tanto es estacionaria.

### **Resultados de la Prueba de Dickey-Fuller**

**Tabla 35**

*Prueba de Dickey-Fuller en los datos de Temperatura*

Dickey-Fuller	-40.972
Lag order	38
p-value	0.01

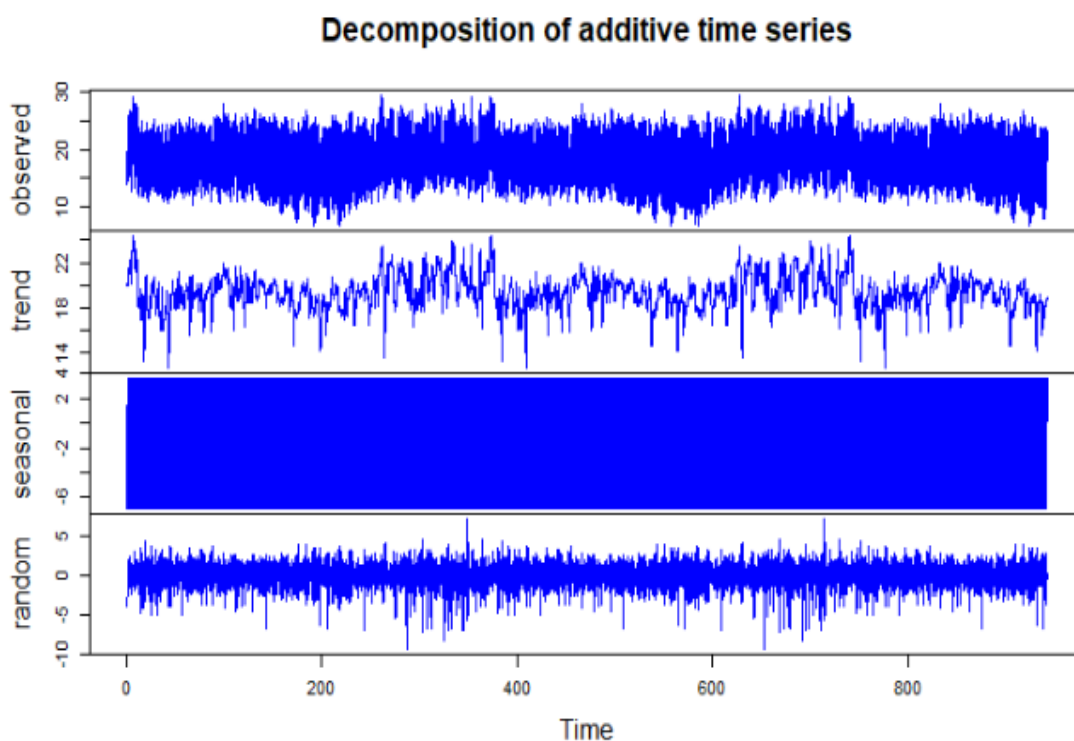
Ho: La serie es estacionaria

Ha: La serie no es estacionaria

El resultado del p-value (0.01) de la temperatura es menor a 0.05, con lo cual aceptamos la hipótesis nula (el modelo de serie de tiempo es tipo estacionaria) al 95% del nivel confianza los datos son estacionarios, de igual manera, al aplicar la diferenciación se tiene como resultado que se necesita aplicar cero diferenciaciones. Con esto se cumple el requisito para aplicar el modelo ARIMA para el pronóstico de la serie, pero, como primer paso debemos realizar la descomposición de los datos para analizar y luego corroborar que el modelo posea autocorrelación.

### Figura 52

*Descomposición de serie diferenciada de la Temperatura*



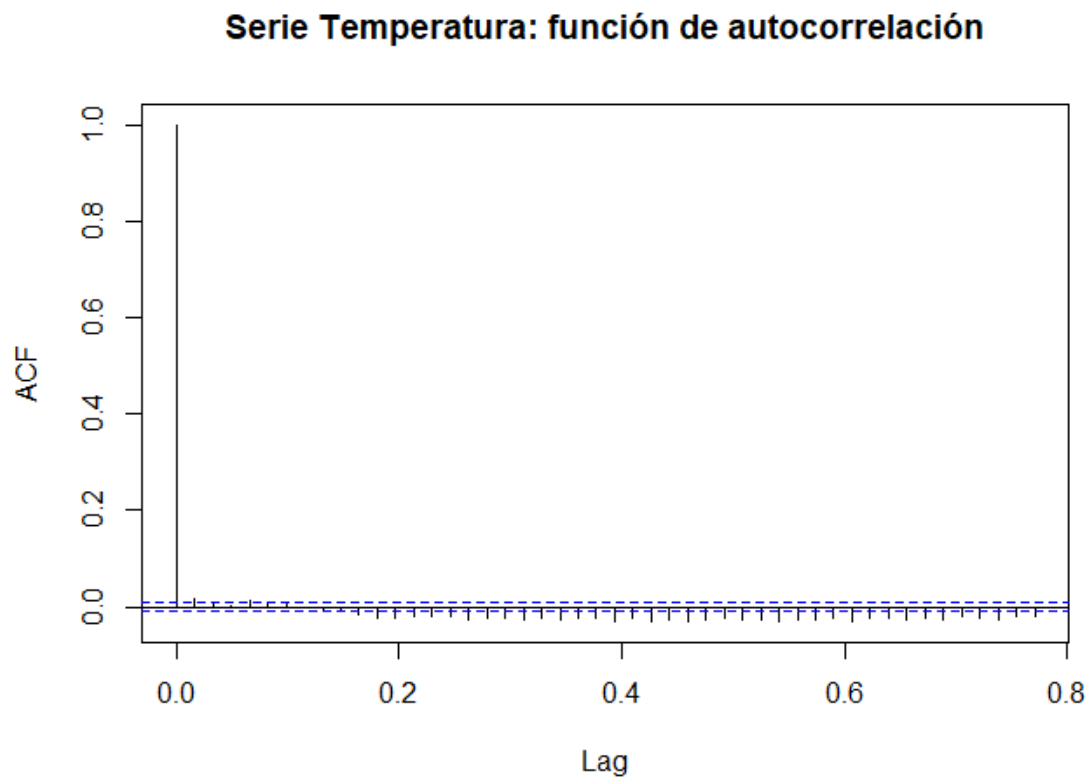
Al descomponer la serie de tiempo, respecto a la temperatura, podemos observar en el cuadro de tendencia (trend), que la serie no tiene tendencia debido a que no hay secuencia ascendente o descendente, finalmente se concluye que existe aleatoriedad. En tanto que para la



estacionariedad (seasonal) se muestra de manera homogénea el cual nos indica que la serie es estacionaria. Además, se observa que el en cuadro random se ubican los valores distribuidos con una media de cero, indicando una varianza constante alrededor de la media cero.

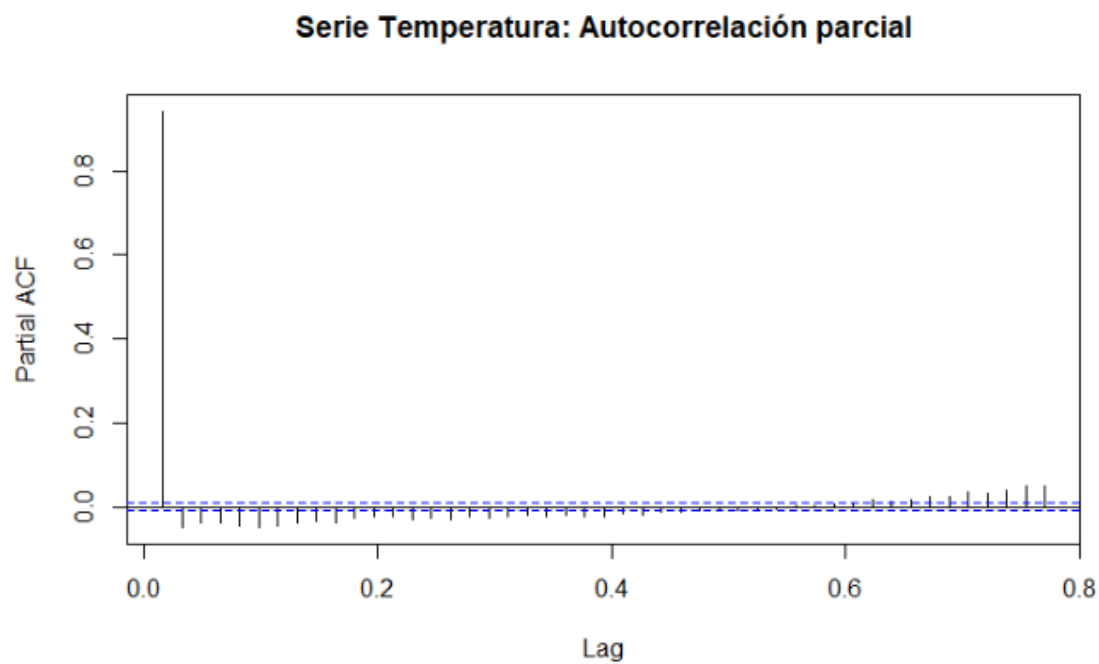
**Figura 53**

*Serie diferenciada con autocorrelación de la Temperatura*



**Figura 54**

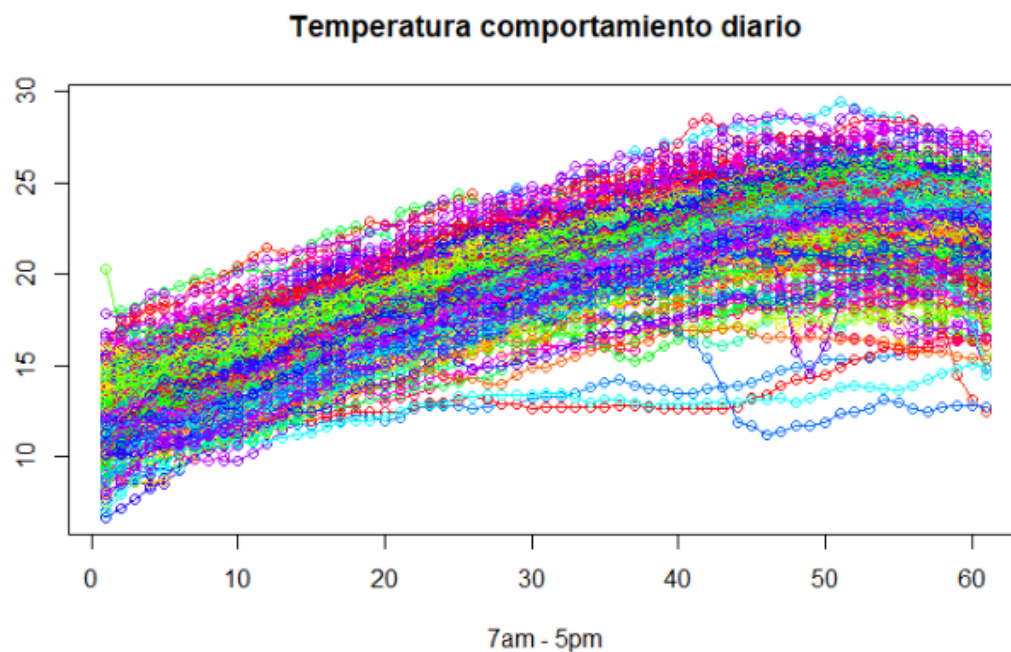
*Serie diferenciada parcial con autocorrelación de la Temperatura*

**Tabla 36**

*Prueba de Dickey-Fuller en los datos de Temperatura*

Dickey-Fuller	-65.701
Lag order	38
p-value	0.01

Debido a que, ningún coeficiente de correlación es significativo, se afirma que los datos son independientes.

**Figura 55***Comportamiento diario de la Temperatura*

En la Figura 55 se muestra el comportamiento estacionario de la temperatura diaria desde las 7:00 am hasta las 5:00 pm.

### Resultados del Modelo ARIMA

**Tabla 37***Modelo ARIMA y componentes para la Temperatura*

<b>ARIMA</b>	(2,0,1) (1,1,0)[ 61]		with drift	
Best model:	<b>ARIMA</b>			
<b>Series:</b>				
ARIMA	(2,0,1)(1,1,0)[61]		ARIMAwith drift	
<b>Coefficients:</b>				
<b>ar1</b>	<b>ar2</b>	<b>ma1</b>	<b>sar1</b>	<b>drift</b>
0.7599	0.1862	0.2836	-0.4540	0e+00
s.e. 0.0403	0.0388	0.0394	0.0037	7e-04
sigma <sup>2</sup> = 0.3499	log likelihood = -51312.28			
AIC=102636.6	AICc=102636.6		BIC=102690.3	

<b>Training set error measures:</b>						
<b>ME</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MPE</b>	<b>MAPE</b>	<b>MASE</b>	<b>ACF1</b>
Training set - 5.295461e-05	0.5911491	0.3703476	- 0.0764 4324	2.08154 4	0.2158203	Training set - 0.0004532859

La tabla muestra el modelo ARIMA con sus componentes para la Temperatura, todos los valores que figuran son los mejores valores y todos proceden del mejor modelo ARIMA que calculó el programa RStudio.

### **Tabla 38**

*Tabla de normalidad del modelo*

<b>Two-sample Kolmogorov-Smirnov test</b>	
D = 0.80317	p-value = 0.539
alternative hypothesis: two-sided	

De acuerdo a la prueba de Kolmogorov Smirnov los datos del modelo se ajustan a la normalidad en el que el valor del p-value es de 0.54, siendo mayor al alfa 0.05, por lo tanto, afirmamos al 95% de confianza que los datos se ajustan a la normalidad, es decir son normales en su distribución.

### **Tabla 39**

*Prueba de Ljung-box*

<b>Box-Ljung test</b>		
X-squared = 0.011807	df = 1	p-value = 0.9135

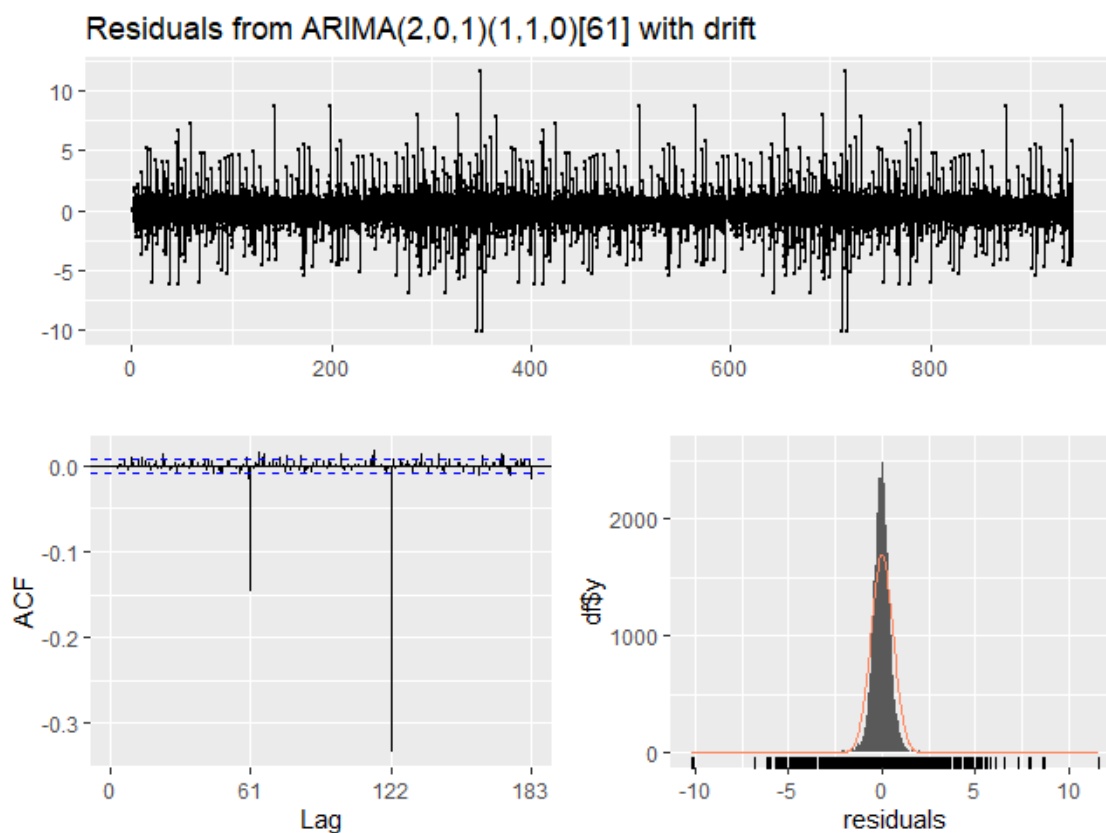
Ho = Es un Ruido Blanco.

Ha = No es un Ruido Blanco.

Como p-value es mayor a 0.05, se acepta la hipótesis nula, esto quiere decir que el modelo presenta un ruido blanco (sin perturbaciones) y se afirma al 95 % de confiabilidad que el modelo es óptimo para el pronóstico.

### Figura 56

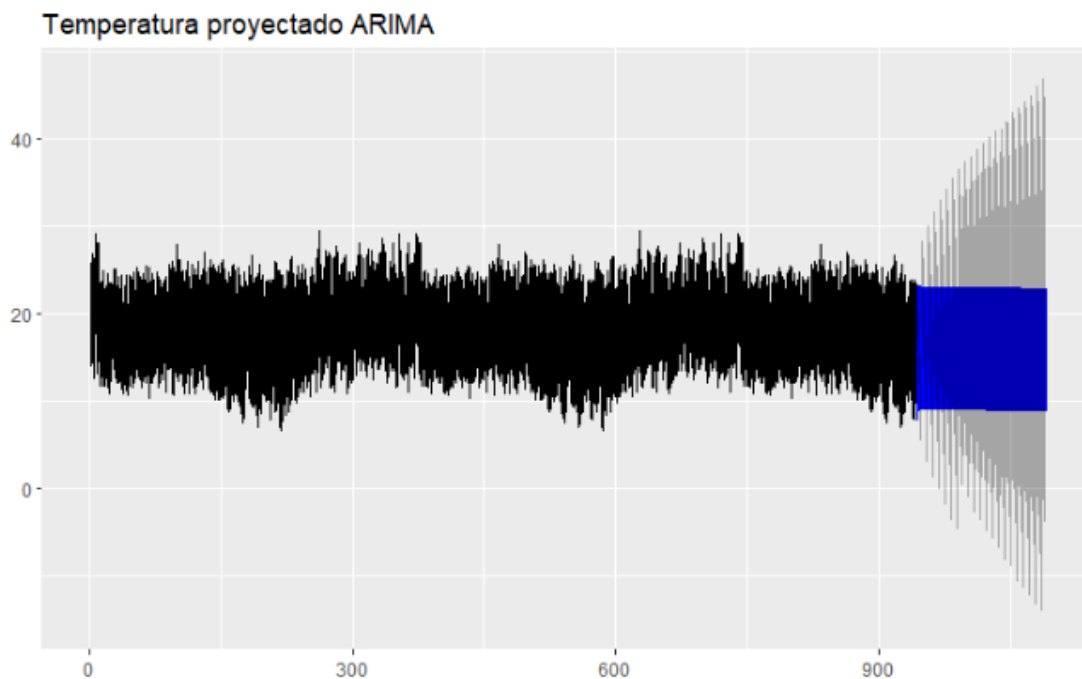
*Gráficos residuales del modelo ARIMA de la Temperatura*



La Figura 56, muestra el modelo ya estandarizado, cumpliendo los requisitos en el que los residuos tengan la normalidad, estandarización y la varianza constante alrededor de la media cero.

**Figura 57**

*Proyección de datos del modelo ARIMA de la Temperatura*



La Figura 57 muestra el modelo proyectado de acuerdo al análisis previo del modelo, todo este proceso se dio a partir de los datos originales de la Temperatura, en el que la figura de color negro es indicativa de datos originales y el color azul y plomo son los valores que se proyectan a futuro.

En conclusión, la Temperatura está relacionado estrechamente con la radiación solar, tal y como se demostró durante el modelamiento, uno de los resultados observados es que tienen una relación directamente proporcional con la radiación ultravioleta Tipo B, tal y como describen Broenman y otros (2019) en el que los patrones climáticos estacionales y las condiciones del cielo vienen generando periodos de altas temperaturas, que a menudo son acompañados por una alta radiación solar, incluida la radiación UV-B. Así mismo, Gómez (2017) evaluó los niveles de radiación ultravioleta, temperaturas máximas, mínimas, húmedas y otras variables de los años 2006-2011 (en el horario de 9:00 a 17:00 horas del día), de esto resultó que las variables medidas

mostraron incrementos en su intensidad, mientras que la radiación también tuvo un incremento con categorías altas, muy altas y extremas de año 2006 al 2011.

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Se logró evaluar la relación de la radiación ultravioleta tipo B con las variables meteorológicas de los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021, mediante el estudio de correlación en el que la relación con la temperatura es directamente proporcional, debido al valor positivo (0.142), a pesar de tener una correlación baja por estar frente a un valor menor al 20%. Mientras tanto la relación con la humedad es indirecta por tener como resultado un valor negativo (-0.078) y baja por ser inferior al 10%.

La relación de la variable RUV-B con la presión es directamente proporcional, debido a que el resultado es de 0.085 y categorizado como una correlación baja por ser inferior al 10%. De igual manera se evaluó la correlación con la velocidad de viento, dando como resultado 0.259, siendo un valor inferior al 10%, pero con una relación directa. Finalmente, el resultado de la correlación de la radiación UV-B con la dirección del viento es baja (0.054) con una relación directamente proporcional.

Los datos iniciales del modelamiento de los valores de la radiación ultravioleta tipo B poseen una distribución de datos que no se ajustaba a la normalidad, el cual fue corroborado mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (p-value 2.2e-16 menor a 0.05 (alfa)), confirmando que los datos no poseían una distribución normal, por ello se procedió a usar la correlación de Spearman en vez de Pearson. Así mismo, al realizar el modelamiento de la RUV-B con las variables de la estación meteorológica se encontró la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 RUVB = & ((-1.026342e + 03) + (1.105953e + 00 * T) + (-1.423289e - 02 * H) \\
 & + (1.390894e + 00 * P) + (9.604209e - 01 * VV) + (2.725408e - 03 * DV))
 \end{aligned}$$

Con un valor de P-Value: < 2.2e-16, siendo menor al alfa (0.05), lo que conlleva a que cada variable tiene un aporte significativo y aproximadamente el 8% de la variación en las variables



puede ser explicado por el modelo, con un adjusted R squared de 0.07688. Una vez obtenido estos valores se procede a aplicar el modelo ARIMA, para ello se convirtió los datos de la RUV-B en series de tiempo (se toma los datos por ciclos de 61 valores por día, con un total de 942 ciclos de 57462 datos, equivalentes a los años 2019, 2020 al 30 de julio del 2021), en el que se observa que posee una media de 18.15, iniciando en cero como dato mínimo y 53.91 como máximo, además se observa que el modelo de serie de tiempo es estacionario.

El aplicar la diferenciación a la RUV-B, presenta valores distribuidos con una media igual a cero con varianza constante alrededor de ella y muestra que una sola diferenciación es suficiente para los pronósticos, de esta manera se dio pase a la aplicación del modelo ARIMA: (2,0,2)(1,1,0)[61] (representa el mejor modelo calculado mediante el programa RStudio), y contrastando con la prueba de Kolmogorov Smirnov, en el que el modelo se ajusta a la normalidad y el gráfico residual del modelo ARIMA muestra una estandarización y varianza constante alrededor de la media cero, de la misma forma se procedió a realizar la prueba de Ljung-box (el modelo cumple con la prueba exigida al 95% de confianza) y finalmente se realizó el pronóstico de 6000 datos a futuro, tal y como se muestra en la Figura 47 y Tabla 33.

El modelamiento de las variables (Temperatura, humedad, presión, dirección del viento y velocidad del viento) de la estación meteorológica resultó que ninguno poseía una distribución normal, el cual fue corroborado mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov, mientras tanto, el modelamiento de la RUV-B con las variables (temperatura, presión y velocidad del viento) que tienen mayor aporte en el modelo, se obtuvo como el P-value: <2.2e-16 es menor al alfa (0.05), lo que significa que el aporte de los modelos es significativo con aporte de las variables que fortalecen el modelo, además, se realizó la comparación de  $r^2$  ajustado (0.7612), resultando en la siguiente fórmula.

$$RUVB = ((-1028.9587017) + (1.1549572 * T) + (1.3928245 * P) + (0.9432865 * VV))$$

Hallando un modelo lineal. Posteriormente se analizó la correlación de los datos en series de tiempo, teniendo a la temperatura con un 17% de influencia en la RUV-B, siendo mayor en comparación con las demás variables.

Al igual que la radiación UV-B, también la temperatura fue modelada en series de tiempo, teniendo como dato mínimo 6.70 y 29.40 máximo, con una media equivalente a 19.34737, indicando gráficamente que la serie de tiempo se ubica alrededor de la media. Con respecto a los resultados de la prueba de Dickey-Fuller se acepta al 95% del nivel de confianza que la hipótesis nula (el modelo es estacionario), con cero diferenciaciones, cumpliendo el requisito para aplicar el modelo ARIMA, es por ello que primero se aplicó la descomposición de la serie de tiempo, obteniendo que el modelo no posee tendencia, pero sí aleatoriedad, con valores estacionarios y distribuidos con una media de cero con varianza constante.

Obteniendo el mejor modelo ARIMA:  $(2,0,1)(1,1,0)$ [61] y al aplicar la prueba de Kolmogorov Smirnov, vemos que el modelo se ajusta a la normalidad, también, se realizó la prueba de Ljung-Box en el que se acepta la hipótesis nula, esto quiere decir que el modelo presenta un ruido blanco (sin perturbaciones) y se afirma al 95 % de confiabilidad que el modelo es óptimo para el pronóstico, para finalmente, realizar el pronóstico para 6000 datos a nivel gráfico tal y como se muestra en la Figura 57.

## 5.2. Recomendaciones

- Se recomienda tener cuidado con las mediciones y unidades en los que se miden las variables meteorológicas y sobre todo contar con la capacitación necesaria para realizar la descarga de los datos y no sufrir ninguna pérdida de estos.
- Se recomienda realizar el mantenimiento a los equipos (Solmáforo y estación meteorológica) responsables de medir la radiación UV-B, índice ultravioleta, temperatura, velocidad del viento, dirección del viento, humedad y presión.
- Para futuras investigaciones se recomienda tener en cuenta la variable O<sub>3</sub> atmosférico, cubierta de nubes, latitud, altitud y longitud para un estudio más completo.

## REFERENCIAS

- A.K. Singh, & Asheesh Bhargawa. (2018). Atmospheric burden of ozone depleting substances (ODSs) and forecasting ozone layer recovery. *Atmospheric Pollution Research*.
- Acuña Casafranca, S. (2018). *Radiación Ultravioleta en Arequipa 2016 - 2017*. Arequipa-Perú.: Universidad Nacional de San Agustín.
- Aeronáutico, M. (Productor). (2021). *Los Movimientos de la Tierra y las Estaciones del año* [Película]. Recuperado el 24 de octubre de 2021, de <https://www.youtube.com/watch?v=Kbrq-ZGipJQ>
- Agencia Estatal de Meteorología. (07 de enero de 2022). *AEMET*. Obtenido de <http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/radiacionuv/ayuda>
- Agencia Peruana de Noticias. (25 de enero de 2017). *ANDINA*. Obtenido de <https://andina.pe/agencia/noticia-radiacion-ultravioleta-conoce-es-cuales-son-sus-tipos-y-sus-efectos-740414.aspx>
- Alfaro Lozano, L., Llacza Rodriguez, A., & Sánchez Ccoyllo, O. (2016). *Nota Técnica 002-2016-SENAMHI*. Lima: SENAMHI.
- Andina. (09 de Febrero de 2019). *Andina, Agencia Peruana de Noticias*. Obtenido de Andina, Agencia Peruana de Noticias: <https://andina.pe/agencia/noticia-radiacion-uv-alcanza-niveles-extremos-10-ciudades-de-sierra-y-selva-698766.aspx>
- Anglés Hernández , M., Rovalo Otero, M., & Tejado Gallegos Mariana. (2021). *Manual del derecho Mexicano*. México: Instituto de Investigaciones Jurídicas.
- Araya Gutierrez, F. (2018). *Carcterización y Modelización de la Radiación Ultravioleta Solar Aplicado en Upina, Puno-2014 (Tesis Pregrado)*. Puno.

- Arias Gómez, J., Villasís Keever, M., & Miranda Novales, M. (2016). El Protocolo de la Investigación III: La población de estudio. *Revista Alergia Mexico*, 201-206.
- Astronoo. (1 de junio de 2013). *Astronoo*. Recuperado el 26 de octubre de 2021, de <http://www.astronoo.com/es/tierra.html>
- Bais, A., Mckenzie, R., Bernhard, G., Aucamp, P., Ilyas, M., Madronich, S., & Tourpali, K. (2015). Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation. *Royal Society of Chemistry*, 19-52.
- Barreto Vásquez, O. (2017). *Determinación de la irradiación solar, como potencia incidente por unidad de superficie, y los rayos ultravioletas UV-A y UV-B en Pucallpa Perú 2016*. Pucallpa: Universidad Nacional de Ucayali.
- Beamin, J. (2019). *Astronomía Ilustrada: Sol, Tierra, Luna y eclipses*. Santiago, Chile: Isidora Sesnic.
- Beatriz D'Angelo, S. (2021). *Población y Muestra*. U.N.N.E.; U.C.P.
- Biomundos (Dirección). (2017). *La capa de ozono* [Película]. Recuperado el 17 de noviembre de 2021, de <http://youtu.be/o3svX2Hjnhk>
- Blas Blavin, L. S. (2017). *Impacto de una Capacitación sobre Fotoprotección y Uso de Bloqueador Solar en Alumnos del Colegio "Jesús Sacramento" en Cieneguilla, en el 2017 (Tesis de Pregrado)*. . Lima.
- Broenman, J., Barnes, P., Robson, T., Robinson, S., Jansen, M., Ballaré, C., & Flint, S. (2019). Linkages between stratospheric ozone, UV radiation and climate change and their implications for terrestrial ecosystems. *Royal Society of Chemistry*.

BVLED. (17 de abril de 2020). *BVLED Blog*. Obtenido de BVLED Blog:

<https://www.byverdleds.com/blog/2020/04/17/tipos-de-luz-uv-y-el-poder-esterilizador-de-la-uvc/>

C.A., F. (25 de Abril de 2008). *Ocwus*. Obtenido de Ocwus: [http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operacionesbasicas/contenidos1/tema9/pagina\\_02.htm](http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operacionesbasicas/contenidos1/tema9/pagina_02.htm).

Camilloni, I., Vera, C., & Kornbliht , A. (2008). *Ciencias Naturales: La atmósfera*. Argentina: Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera. Recuperado el 26 de octubre de 2021

Cánepa, C., Cruz, G., Silva, J., Cruz, J., Fernández, F., & Castañeda, W. (13 de Marzo de 2014).

Nivel de la Radiación Solar UV e incidencia de enfermedades relacionadas con su exposición en el departamento de Tumbes. Tumbes, Tumbes, Perú.

Casierra Posada, F. (2017). *Planeta agua en lugar de planeta tierra*. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Castellon, N. (19 de julio de 2021). Introducción a Modelo Arima con Python. Panamá.

Castro Rafaile, E. (2013). “*Variaciones Estacionales de Índice y Dosis Ultravioleta (UV) en la Microestación Meteorológica UNT Durante los años 2011-2012*” (Tesis pregrado) . Trujillo.

Ccora Tuya, O., & Aguirre Almeyda, R. (2021). *Boletín Mensual: Vigilancia de la Radiación UV-B en ciudades del país*. Lima: SENAMHI. Obtenido de <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1324>

Centro Nacional de Salud Ambiental. (28 de junio de 2021). *CDC*. Obtenido de CDC: <https://www.cdc.gov/spanish/nceh/especiales/radiacionuv/index.html>

- Chambi Laura, V. (2018). *Estudio y Análisis de la actividad Solar, Radiación Solar Global y Radiación UV en la Ciudad de Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Chicama Lúcar, J. (21 de enero de 2021). *Diario Oficial del Bicentenario El Peruano*. Obtenido de Diario Oficial del Bicentenario El Peruano:  
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/disponen-la-publicacion-del-proyecto-de-decreto-supremo-que-resolucion-ministerial-no-00021-2021-produce-1922322-1/>
- Chile, M. d. (2011). *Guía Técnica Radiación Ultravioleta de Origen Solar*. Santiago de Chile: Subsecretaría de Salud Pública.
- COFZ. (07 de enero de 2022). *Colegio Oficial Farmacéuticos Zaragoza*. Obtenido de <https://cofzaragoza.org/el-indice-de-radiacion-ultravioleta-iuv-un-buen-indicador-para-tomar-las-medidas-de-fotoproteccion-mas-adecuadas/>
- Cuevas Hernández, A. (2019). *La Atmósfera sus capas y propiedades*. Estado de Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Custodio Villanueva, M., & Cóndor Salvatierra, E. (2019). *Crisis Ecológica ¿Un Viaje sin retorno?* Lima.: Ecología y Medio Ambiente.
- De la Fuente Fernández, S. (2016). *Series Temporales, Modelo Arima, Metodología de BOX - Jenkins*. Universidad Autónoma de Madrid.
- De Pablo, C. (16 de septiembre de 2021). *el Ágora*. Recuperado el 19 de noviembre de 2021, de el Ágora: <https://www.elagoradiario.com/desarrollo-sostenible/dia-internacional-capazono-protocolo-montreal/>
- Dirección del trabajo. (28 de Enero de 2021). *Dirección del Trabajo*. Obtenido de Dirección del Trabajo: <https://www.dt.gob.cl/portal/1628/w3-article-99189.html>

Dirección Meteorológica de Chile. (12 de Octubre de 2021). *Dirección Meteorológica de Chile - Servicios Climáticos*. Obtenido de Dirección Meteorológica de Chile - Servicios

Climáticos:

<https://climatologia.meteochile.gob.cl/application/index/menuTematicoRadiacion>

Dirven , B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez , R. K., & Ticona, A. (2018). *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables*. Lima: Colección Racso.

Doddoli, C. (21 de Junio de 2021). *Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM*.

Obtenido de Universidad Nacional Autónoma de México-UNAM:

<http://ciencia.unam.mx/leer/1129/el-sol-la-estrella-mas-cercana-a-la-tierra>

Echeverri Ospina, M. (28 de Julio de 2020). *Univerdidad tecnológica de Pereira*. (M. Parra Patiño, Editor) Recuperado el 19 de Octubre de 2021, de Univerdidad tecnológica de

Pereira: <https://www2.utp.edu.co/planetario/inicio/el-planeta-azul-la-tierra.html>

EcuRed. (04 de Marzo de 2020). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed:

<https://www.ecured.cu/Atm%C3%B3sfera>

EFE. (08 de enero de 2016). *Agencia EFE*. Obtenido de Agencia EFE:

<https://www.efe.com/efe/america/cronicas/peru-el-pais-con-mayor-radiacion-solar-del-mundo-alcanza-niveles-historicos/50000490-2806126>

EFEVERDE. (26 de Octubre de 2015). *EFEVERDE*. Obtenido de EFEVERDE:

<https://www.efeverde.com/noticias/emisiones-naturales-de-la-actividad-oceanica-contribuyen-a-destruir-la-capa-ozono/#!/participants>

El Comercio. (01 de Agosto de 2019). *El Comercio*. Obtenido de El Comercio:

<https://elcomercio.pe/peru/senamhi-alerta-niveles-radiacion-ultravioleta-incrementan-peru-noticia-nndc-595360-noticia/?ref=ecr>



EPA-United States Environmental Protection Agency. (2001). *La Radiación Ultravioleta*. EPA.

Recuperado el 14 de enero de 2022, de

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/00000LZ3.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=2000+Thru+2005&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>

Escamilla Canales, R. (2010). *Modelo Atmosférico y de Radiación Solar para Reconocimiento de Firmas Espectrales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.

Escamilla Canales, R. (2010). *UPC*. Obtenido de UPC: <http://upcommons.upc.edu/> y

[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9992/1/PFC\\_Raul\\_Escamilla.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9992/1/PFC_Raul_Escamilla.pdf)

Espinoza, E. (2016). *Universo, Muestra y Muestreo*. Honduras: UIC.

Falconí Benítez, F. (2018). *Acuerdo N° MINEDUC-2018-00098-A*. Quito: Ministerio de Educación del Ecuador.

Folguera, A., Cichowols, M., Ramos, V., Aguirre Urreta, B., & Kornblihtt, A. (s.f.). *Ciencias Naturales: La Tierra*. Argentina: Ministerio de Educación Ciencia y Tecnología.

Recuperado el 23 de octubre de 2021

Fundación Acuorum. (12 de enero de 2018). *FUNDACIÓN ACUORUM*. Obtenido de

FUNDACIÓN ACUORUM: <https://www.acuorum.com/la-radiacion-solar-alcanzara-niveles-record-en-peru/>

Fundación Aquae (Dirección). (2021). *Llega el Solsticio de Verano* [Película]. Recuperado el 25 de octubre de 2021, de [https://www.youtube.com/watch?v=\\_jExGkz7toE](https://www.youtube.com/watch?v=_jExGkz7toE)

Gallego Juárez, I. (2019). *Series de Tiempo*. SlidePlayer.

- Gerardo. (26 de febrero de 2019). *Estación de meteorología*. Recuperado el 31 de enero de 2022, de <https://estaciondemeteorologia.com/que-es-una-estacion-meteorologica/>
- Gobierno de España-Ministerio de Ciencia e Innovación. (2017). *Museo Virtual de la Ciencia*. Recuperado el 18 de Octubre de 2021, de Museo Virtual de la Ciencia: <http://museovirtual.csic.es/salas/vida/vida9.htm>
- Godin-Beekmann, S., A. Newman, P., & Petropavlovskikh, I. (2018). 30th anniversary of the Montreal Protocol: From the safeguard of the ozone layer to the protection of the Earth's climate. *Comptes Rendus Geoscience*, 350, 331-333.
- Gómez M., A. (2019). *Tell Magazine*. Obtenido de Tell Magazine: <https://tell.cl/2019/05/29/una-estrella-llamada-sol/>
- Gómez Vega, S. (2017). *Niveles de Radiación Ultravioleta (UV) en la Ciudad de Ayacucho Periodo 2006-2011 e Incidencia de Cáncer de Piel en la Población*. Humanga: Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- Gonzales Zamora, V. (2021). *Importancia de la Radiación Solar como Fuente de Energía*. Lima: Silicon Technology.
- Grossi Gallegos, H. (2002). *Notas sobre radiación solar*. Buenos Aires: ISBN: 987-9285-19-0 .
- Habets, G., & Heintze, J. (6 de Junio de 1981). *Empirical bolometric corrections for the main-sequence*. Obtenido de astrophysics data system : <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1981A%26AS...46..193H/abstract>
- Hernández Gutiérrez, H., & Cobos Prior, F. (2021). *Unidad Veracruzana*. Obtenido de Unidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/cienciauv/blog/estacionesdelanoytemporadasclimaticas/>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

Herndon, J., Hoisington, R., & Whiteside, M. (2018). Deadly Ultraviolet UV-C and UV-B Penetration to Earth's Surface: Human and Environmental Health Implications. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 1-11.

IBERDROLA. (15 de Septiembre de 2021). *IBERDROLA*. Obtenido de IBERDROLA:  
<https://www.iberdrola.com/compromiso-social/radiacion-solar>

IDEAM. (12 de Octubre de 2021). *Atlas IDEAM*. Obtenido de Atlas IDEAM:  
<http://atlas.ideam.gov.co/presentacion/>

IDEAM. (10 de Octubre de 2021). *IDEAM*. Obtenido de IDEAM:  
<http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-del-sol>

IDEAM. (19 de noviembre de 2021). *IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de IDEAM-Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta>

IDEAM. (17 de noviembre de 2021). *Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/formacion-y-destruccion-del-ozono-estratosferico>

IDEAM. (14 de enero de 2022). *IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-de-la-radiacion-ultravioleta>

IDERMA. (17 de diciembre de 2021). *IDERMA-Instituto de Dermatología Avanzada*. Obtenido de <https://www.iderma.es/es/blog.cfm/ID/13106/ESP/factores-determinan-indices-ultravioleta.htm>

IGS, OTT Hydromet, & Lufft. (2012). *Estación Meteorológica automática compacta OTT-Lufft*. México: IGS. Recuperado el 01 de febrero de 2022

INAMHI. (12 de Octubre de 2021). *INAMHI*. Obtenido de INAMHI: <https://www.inamhi.gob.ec/>

Jansen, M., Bilger, W., Hideg, É., Strid, A., Aphalo, P., Brelford, C., . . . Urban, O. (2019). Editorial: interactive effects of UV-B radiation in a complex environment. *Plant Physiology and Biochemistry*, 139. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.10.021>.  
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0981942818304595>)

Jover, A. (04 de septiembre de 2021). *El País*. Obtenido de El País: <http://elpais.com/ciencia/2021-09-04/salvar-la-capa-de-ozono-ha-reducido-tambien-el-calentamiento-global.html>

Kardoudi , O. (08 de agosto de 2021). *El Confidencial*. Obtenido de El Confidencial: [https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2021-11-08/el-agujero-de-ozono-crece-al-tamano-de-norteamerica-y-no-remitira-hasta-2070\\_3320588/](https://www.elconfidencial.com/tecnologia/novaceno/2021-11-08/el-agujero-de-ozono-crece-al-tamano-de-norteamerica-y-no-remitira-hasta-2070_3320588/)

Laboratorio de Física de la Atmósfera. (1995). *Anomalía Sudamericana de la Capa de Ozono*. La Paz, Bolivia: Universidad Mayor de San Andrés.

Lantos, P. (11 de Octubre de 2021). *UNESCO*. Obtenido de UNESCO: <https://es.unesco.org/courier/enero-1995/estrella-llamada-sol>

- Lema Puruncaja, C., & Zuleta Mediavilla, D. (2015). *SOLMÁFORO (Semáforo Solar): Modelo Ambiental de Alerta por Exposición a la Radiación Solar en Quito*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana-Sede Quito.
- Manrique Hinojosa, J., & Ordoñez Pérez, M. (2016). *Documento Técnico: Manual de Prevención del Cáncer de Piel inducido por la Exposición Prolongada a la Radiación Ultravioleta (RUV)*. Lima: Instituto Nacional de Enfermedades Neoplásicas.
- Martínez, M. (2016). *Radiación Solar-Conceptos y Aplicaciones*. Ururi: INIA. Recuperado el 11 de Octubre de 2021, de [https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/\\_5cc085baa668a.pdf](https://puntoganadero.cl/imagenes/upload/_5cc085baa668a.pdf)
- Martínez, S., & Garbi, M. (2020). *Actualización del apunte de climatología y Fenología Agrícolas del CEA 1979 basado en las clases teóricas del Ing. Edmundo Damrio*. Argentina: Universidad Nacional de la Plata.
- Milicic, B. (2007). Investigando el "agujero de ozono" en la Patagonia Austral. *Revista de Enseñanza de la Física*, 111-124.
- Millones Jaúregui, J. (2005). *Localización de un Sismo utilizando una estación de tres componentes*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ministerio de Producción. (18 de noviembre de 2021). *Perú Ministerio de la Producción*. Obtenido de Perú Ministerio de la Producción:  
<http://www.produce.gob.pe/index.php/gdaami/proyectos-de-cooperacion/protocolo-de-montreal-produce-punto-focal-nacional>
- Miranda Espinoza, G. (2018). *Cuantificación y Caracterización de la Radiación Ultravioleta-B en la Ciudad de Tacna, Periodo 2012-2014*. Tacna, Perú.

- Mironov, V., Kondratev, A., & Mironova, A. (2020). Sphagnum growth as an indicator of wavelength-specific UV-B penetration. *Ecological Indicators*, Volumen 116. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X20303678>
- Montero Granados, R. (2016). *Modelos de Regresión Lineal Múltiple*. España: Universidad de Granada.
- Moreno M., G. (12 de Octubre de 2021). *Radiación UV 2014*. Santiago de Chile: ACHS. Obtenido de Radiación UV 2014: <https://sites.google.com/site/radiacionuv2014/marco-legal-leyes-normas-y-reglamentos>
- MPH. (2015 de Septiembre de 2016). *Noticias, Municipalidad Provincial de Huamanga*. Obtenido de Noticias, Municipalidad Provincial de Huamanga: <https://munihuamanga.wixsite.com/noticias/single-post/2016/09/15/INSTALAN-SOLM%C3%81FORO-PARA-MEDIR-RADIACI%C3%93N-UV>
- Mundo Aeronáutico. (25 de abril de 2021). *Mundo Aeronáutico*. Obtenido de Mundo Aeronáutico: <https://www.youtube.com/watch?v=ngOyLWZr8hM>
- NASA. (04 de Marzo de 2020). *National Aeronautics and Space Administration*. Obtenido de National Aeronautics and Space Administration: [https://imagine.gsfc.nasa.gov/ask\\_astro/index.html](https://imagine.gsfc.nasa.gov/ask_astro/index.html)
- National Geographic. (2019). *El sol El Coloso de Fuego*. Madrid.
- NATIONAL GEOGRAPHIC. (15 de Septiembre de 2021). *NATIONAL GEOGRAPHIC*. Obtenido de NATIONAL GEOGRAPHIC: <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>

- National Geographic España. (Octubre de 14 de 2021). *National Geographic España*; Obtenido de National Geographic España;: [https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/cuanto-sabes-sobre-sol\\_15843/2](https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/cuanto-sabes-sobre-sol_15843/2)
- Neale, R., Barnes, P., Robson, T., Williamson, C., Zeep, R., Wilson, S., . . . Zhu, M. (2021). Environmental effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and interactions with climate change: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2020. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 20,1-67 <https://doi.org/10.1007/s43630-020-00001-x>.
- Necco Calomagno, G. (2016). *Taller de Introducción a las Ciencias de la Atmósfera*. IMFIA – FING/ IF - FCIEN.
- OMS. (2003). *Índice UV , Solar Mundial-Guía Práctica*. Ginebra: Paus sloss.
- OptoElectrónica Icalma. (2018). *Solmáforo-Transmisión de datos sistema inalámbrico*. Chile: Icala.
- OptoElectrónica Icalma. (13 de noviembre de 2019). *OptoElectrónica Icalma*. Obtenido de <http://www.solmaforo.com/#top>
- Organización Meteorológica Mundial. (2019). *El Sol, La Tierra y el Tiempo*. Ginebra: OMM.
- Organización Mundial de la Salud, (. (2003). *Índice UV Solar Mundial*. Ginebra, Suiza: Bookorders.
- OTT. (2015). *OTT MetSystems: Armarios de sistemas con componentes integrados*. Alemania: OTT Hydromet.
- Pabón, J. (2000). *El Universo, el sistema solar y el planeta Tierra*. Colombia. Recuperado el 23 de octubre de 2021

- Pérez Herrera, G. (junio de 2020). *NC Noticio*. Obtenido de NC Noticio:  
<https://www.cio.mx/noticio/articulo.php?se=802584&s=11147&gh=601938>
- Perpiñan Lamigueiro, O. (s.f.). *Radiación Solar: Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Universidad Politecnica de Madrid. Recuperado el 19 de Octubre de 2021, de  
<https://oscarperpinan.github.io/esf/RadiacionSolar.pdf>
- Planas, O. (21 de Julio de 2021). *Energía solar*. Obtenido de Energía solar: <https://solar-energia.net/sistema-solar/sol/estructura>
- PNUD. (18 de noviembre de 2021). *PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. Obtenido de PNUD Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo:  
<https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development/environment-and-natural-capital/montreal-protocol.html>
- Polo Bravo, C., & Miranda Espinoza, G. (2020). Cuantificación y caracterización de la Radiación Ultravioleta-B en la Ciudad de Tacna, periodo: 2012-2014. *TECNIA*, 30,1-10.
- Pozo , D. (7 de diciembre de 2020). *Hipertextual*. Obtenido de  
<https://hipertextual.com/2020/12/cambio-estaciones-influye-inclinacion-eje-tierra-clima>
- Rodó, P. (30 de julio de 2019). *Economipedia*. Obtenido de Economipedia: Contraste de Dickey-Fuller. Economipedia.com
- Rodríguez Gómez, J. (2021). La influencia del Sol en la Tierra y otros planetas: Clima espacial. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 43, e20200495.
- Schwarz, M., Baumgartner, D., Pietsch, H., Blumthaler, M., Weihs, P., & Rieder, H. (2018). Influence of low ozone episodes on erythemal UV-B radiation in Austria. *Theor Appl Climatol* , 133, 319-329. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-017-2170-1>



SENAMHI, Alfaro Lozano, L., Llacza Rodriguez, A., & Sánchez Ccoyllo, O. (2016). *Pronóstico con Cobertura Nacional del Índice de Radiación Solar Ultravioleta-Nota Técnica N° 002-2016 SENAMHI*. Ica: SENAMHI.

SensorGo. (17 de noviembre de 2021). Recuperado el 31 de enero de 2022, de <https://sensorgo.mx/estaciones-meteorologicas/>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (07 de Enero de 2019). *Publica*. Obtenido de Publica: <http://www.radiopublica.pe/20190107/provincias-de-13-regiones-soportaran-radiacion-uv-extrema.html>

SIAR Ayacucho. (31 de Agosto de 2016). *SIAR*. Obtenido de SIAR: <http://siar.regionayacucho.gob.pe/novedades/reporte-niveles-radiacion-ultravioleta-provincia-parinacochas-agosto>

SINIA. (05 de Marzo de 2020). *SINIA*. Obtenido de SINIA: <https://sinia.mma.gob.cl/temas-ambientales/capa-de-ozono/>

Sociedad Astronómica de Laniakea. (04 de enero de 2022). *Sociedad Astronómica de Laniakea*. Obtenido de <https://www.facebook.com/socastronomicahillo/>

Soto, F. (2019). *Interacciones Físicas: La Tierra y su Entorno*. Santiago de Chile: Ministerio de Educación de Chile.

Tola, R. (02 de febrero de 2017). *El País*. Obtenido de El País: [https://elpais.com/internacional/2017/02/02/america/1486073617\\_424949.html](https://elpais.com/internacional/2017/02/02/america/1486073617_424949.html)

Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.

T-Solar, G. (24 de Septiembre de 2018). *T-Solar*. Obtenido de T-Solar: <https://www.tsolar.com/es/noticias/aprovechamiento-de-la-energia-solar.html>

Universidad EAFIT. (04 de Marzo de 2020). *Universidad EAFIT*. Obtenido de Universidad

EAFIT: <http://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/Paginas/como-se-creo-la-atmosfera.aspx>

Uribe Santos, G. (28 de Mayo de 2011). *La radiación Ultravioleta y su Incidencia en la Ciudad*

*de Chimbote*. Obtenido de LEX: <http://dx.doi.org/10.21503/lex.v9i8.415>

Uribe, J. (13 de Octubre de 2021). *Universidad EAFIT*. Obtenido de Universidad EAFIT:

<https://www.eafit.edu.co/ninos/reddelaspreguntas/Paginas/por-que-el-sol-brilla.aspx>

Vallejo Delgado, L. (2003). *Índice Ultravioleta*. Antofagasta: Universidad de Antofagasta.

World Health Organization. (19 de noviembre de 2021). *World Health Organization*. Obtenido

de World Health Organization: [https://www.who.int/health-topics/ultraviolet-radiation#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/ultraviolet-radiation#tab=tab_1)

Yanes, J. (06 de abril de 2021). *OpenMind BBVA*. Obtenido de OpenMind BBVA:

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/que-fue-de-el-agujero-de-la-capade-ozono/>

Zaratti, F., Piacentini, R., Guillén, H., Cabrera, S., Ben Liley, J., & McKenzie, R. (2014).

*Proposal for a modification of the UVI risk scale*. Photochem. doi:DOI: 10.1039/C4PP00006D,

Zea, J., Pabón, J., León, G., Hurtado, G., Gonzáles, O., & Montealegre, J. (recuperado el 2021).

*La Atmósfera el tiempo y el clima*. Colombia. Recuperado el 26 de octubre de 2021

**ANEXOS**