

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS



**CARACTERIZACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA RADIACIÓN
ULTRAVIOLETA SOLAR APLICADO EN UPINA, PUNO- 2014.**

TESIS

PRESENTADO POR:

FAUSTINO HUARAYA GUTIERREZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS

PUNO - PERÚ

2018

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS
“CARACTERIZACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA RADIACIÓN
ULTRAVIOLETA SOLAR APLICADO EN UPINA, PUNO- 2014.”**

TESIS PRESENTADA POR:

FAUSTINO HUARAYA GUTIERREZ

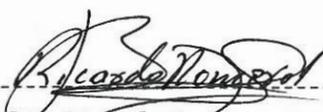
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

LICENCIADO EN CIENCIAS FÍSICO MATEMÁTICAS

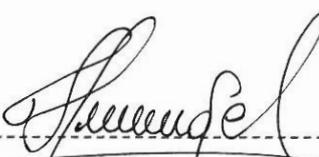
FECHA DE SUSTENTACIÓN: 21 DE DICIEMBRE DE 2017

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE : 

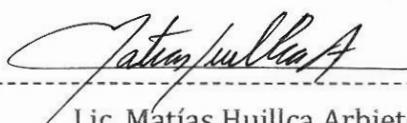
Lic. Ricardo Romero Loaiza

PRIMER MIEMBRO : 

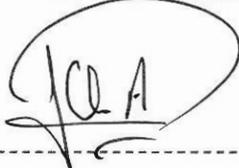
Lic. Jorge Heraclio Gómez Aquino

SEGUNDO MIEMBRO : 

Lic. Blanca Jacqueline Quispe Aucca

DIRECTOR DE TESIS : 

Lic. Matías Huillca Arbieto

ASESOR DE TESIS : 

Lic. Julio Pedro Quispe Aymachoque

Tema: Modelización de la Atmósfera y radiación solar
Área: Física Aplicada
Línea de Investigación: Física Aplicada

DEDICATORIA

A mis hijos Raphael Andre y Cristel Duanny que son la razón de mi sacrificio a seguir trabajando, a mi esposa Elmire por el aliento diario de culminar el presente trabajo, a mis padres Paulina y Victoriano por luchar por mi formación profesional, a mis hermanos Willy, Sadan y Lily por motivarme a seguir adelante.

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I 13

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.3. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1. Hipótesis general.....	15
1.3.2. Hipótesis específica.....	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.	16
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
1.5.1. Objetivo general.....	17
1.5.2. Objetivos específicos	17

CAPÍTULO II 18

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN 18

2.1. RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA	18
2.2. EL SOL	18
2.3. ESTRUCTURA DEL SOL	19
2.4. EL ESPECTRO DE RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA DE ORIGEN SOLAR... 20	20
2.5. RADIACIÓN VISIBLE	20
2.6. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....	21
2.7. EFECTOS DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE SOBRE LA RADIACIÓN SOLAR.....	23
2.8. IRRADIANCIA ULTRAVIOLETA ERITEMATICA.....	27
2.9. ÍNDICE ULTRAVIOLETA (IUV).....	30
2.10. EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR SOBRE LA SALUD	31
2.11. DETERMINACION MATEMÁTICA DE LA RADIACION ULTRAVIOLETA.....	32
2.11.1. Relaciones astronómicas Tierra – Sol.....	33
2.11.2. Distancia Tierra – Sol (r):	33
2.11.3. Declinación (δ):	34
2.11.4. Ecuación del tiempo (E_t)	35
2.11.5. Posición relativa del sol en una sobre una superficie horizontal.....	36
2.11.6. Irradiancia espectral solar extraterrestre ($I_{0n\lambda}$).....	39
2.11.7. Masa de aire óptica relativa (m_a)	40

2.11.8. Masa de vapor de agua óptica relativa (m_w)	41
2.11.9. Masa de ozono óptica relativa (m_o)	41
2.11.10. Transmitancia Solar	41
2.11.11. Formulación básica de la atenuación de la radiación solar directa	42
2.11.12. Irradiación espectral directa	43
2.11.13. Transmitancia de la dispersión de Rayleigh($\tau_{r,\lambda}$)	43
2.11.14. Transmitancia espectral del aerosol atmosférico.....	44
2.11.15. Transmitancia de ozono	45
2.11.13. Transmitancia de los gases uniformemente mixtos y el vapor de agua.	47
2.11.14. Radiación ultravioletadifusa espectral en el suelo	48
2.11.15. Radiación ultravioleta solar global en el suelo.....	50
2.12. MODELO ESPECTRAL DE INTEGRACIÓN.....	51
2.13. TEOREMA DEL VALOR PROMEDIO DE UNA FUNCIÓN	51
2.14. FACTOR DE CORRELACIÓN	52
CAPÍTULO III	54
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	54
3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	54
3.3. SISTEMA DE VARIABLES	56
3.3.1. Variables independientes	56
3.3.2. Variables dependientes.....	56
3.4. CARACTERISTICAS DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA.....	56
3.5. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS.	56
CAPÍTULO IV	58
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	58
4.1 CARATERIZACIÓN DE LA RADIACION ULTRAVIOLETA TIPO A (UVA) ...	58
4.2 CARATERIZACIÓN DE LA RADIACION ULTRAVIOLETA TIPO B (UVB)....	65
4.3 EI INDICE ULTRAVIOLETA EN UPINA.....	73
4.4 APLICACIÓN DEL MODELO MATEMATICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA B EN UPINA.	75
4.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ULTRAVIOLETA IUV, A PARTIR DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR TIPO B.	78
4.5.1 Comparación entre datos experimentales y datos obtenidos por el Modelo matemático espectral de radiación ultravioleta solar B.	79

4.6 DISEÑO DEL EJECUTABLE .EXE PARA EL CACULO DE RADIACION ULTRAVIOELTA B E INDICE ULTRAVIOLETA	87
DISCUSION	89
SUGERENCIAS	93
I. BIBLIOGRAFÍA	94
ANEXO 1.....	96
ANEXO 2.....	98
ANEXO 3.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de la dosis eritematosa mínima (MED) para los tipos de piel humana definidos por la COST 713	30
Tabla 2 : tabla de irradiación espectral solar extraterrestre adaptada por Frolich and Wehrli. ...	40
Tabla 3: Coeficiente de absorción espectral para ozono disponible en el apéndice de (Gueymard, 1995)	45
Tabla4: Se muestra los valores del espesor de ozono desde el 26 de mayo al 31 de agosto del 2014 en Unidad Dobson (UD)	46
Tabla 5: Se muestra los valores del espesor de ozono desde el 01 de setiembre al 31 de diciembre del 2014 en Unidad Dobson (UD).....	47
Tabla 6: Los valores de F_c para diferentes cenits, adaptado por G.D. Robinson.....	49
Tabla 7: Valores promedios de UVA desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014 en W/m^2	58
Tabla 8: Valores máximos de UVA, desde 26 de Mayo al 31 Diciembre del 2014 en W/m^2 .	61
Tabla 9: Radiación UVB promedio, registrado desde 26 de Mayo hasta 31 de Diciembre del 2014 en W/m^2	66
Tabla 10 : Radiación UVB máxima diaria registrada desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014 en W/m^2	69
Tabla 11: Máximos IUV, registrados del 26 de mayo al 31 de Diciembre del 2014	73
Tabla 12: Comparación de la radiación ultravioleta tipo B, para el 29 de mayo, 23 de junio y 22 de julio.....	76
Tabla 13: Comparación de la radiación ultravioleta tipo B, para el 9 de Agosto, 15 de setiembre y 24 de octubre.....	77
Tabla 14: : Comparación de la radiación ultravioleta tipo B, para el 27 de noviembre, 26 de diciembre y 18 de julio.....	77
Tabla 15: Registro del 26 de mayo y 30 de mayo del 2014	79
Tabla 16: Registro del IUV para el 22 de junio y 23 de julio del 2014	81
Tabla 17: Registro del IUV para el 02 de Agosto y el 07 de setiembre del 2014	82
Tabla 18: Registro del IUV para el 19 de octubre y 16 de noviembre	84
Tabla 19: Registro del IUV para el 05 de diciembre y el 20 de Agosto	85
Tabla 20: Registro de UVB para el mes de mayo del 2014	100
Tabla 21: Registro de UVB para el mes de junio del 2014.....	100
Tabla 22: Registro de UVB para el mes de julio del 2014.....	101
Tabla 23: Registro de UVB para el mes de agosto del 2014.....	102
Tabla 24: Registro de UVB para el mes de setiembre del 2014.....	103
Tabla 25: Registro de UVB para el mes de octubre del 2014.....	104
Tabla 26: Registro de UVB para el mes de noviembre del 2014.....	105
Tabla 27: Registro de UVB para el mes de noviembre del 2014.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Grabación de la intensidad del sol desde 1978 hasta el 2012 por la NASA.....	19
Figura 2. El espectro electromagnético con los tipos de radiación por regiones de longitud de onda.....	20
Figura 3. Espectro visible.....	21
Figura 4 : Espectro específico de la radiación ultravioleta solar.....	22
Figura 5: La figura muestra que la radiación ultravioleta tipo C y gran parte de la tipo B son absorbidas por el ozono estratosférico (CCORA, 2015).....	22
Figura 6: Diferentes tipos de dispersión según el parámetro de tamaño. En el eje de la izquierda se representa el radio de la partícula. (Kidder y VonderHacc, 1995)	25
Figura 7: Variación de la radiación ultravioleta según OMS.....	26
Figura 8 : Irradiancia UVER y curva del espectro de acción del eritema humano.	28
Figura 9: Algunas medidas de fotoprotección recomendadas por la OMS según el valor del índice ultravioleta.....	31
Figura 10: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. (Las estaciones son para el hemisferio norte, para el hemisferio sur es al contrario).....	33
Figura 11: Principales coordenadas polares de la esfera celeste.....	37
Figura14: Es un cuadro donde se puede ver la atenuación que sufre la radiación solar al atravesar la atmosfera.....	42
Figura16: Estación meteorológica modelo VAISALA, en el centro poblado de UPINA.	57
Figura36: Imagen del ejecutable.exe diseñado en MATLAB.....	89

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Declinación solar durante los 365 días del año.	35
Gráfica 2: Variación de la ecuación del tiempo a lo largo del año.	36
Gráfica 3: Comportamiento de F_c respecto al ángulo cenital	49
Gráfica 4: Frecuencias de radiación UVA promedios en Upina - 2014.....	60
Gráfica 5: Comportamiento de la radiación UVA, promedio mensual y los máximos registrados desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014.....	63
Gráfica 6: Comportamiento anual de la radiación UVA máxima, desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014.....	63
Gráfica 7: Histograma de frecuencias de radiación UVA registrados desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014	64
Gráfica 8: Se muestra la gráfica con mayor frecuencia de valores promedios registrados en la medición de UVB desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014.....	68
Gráfica 9: Variación anual de la radiación UVB máxima desde 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014 en W/m^2	71
Gráfica 10: Gráfica de la radiación UVB máxima, registrada desde Mayo- Diciembre del 2014, considerando días claros sin nubes.	71
Gráfica 11: Histograma de frecuencias de intensidad de radiación UVB registrados en Upina desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014.....	72
Gráfica 12: Grafica de la variación máxima anual del IUV desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014.....	74
Gráfica 13: Comportamiento del IUV para el 26 de mayo en UPINA	80
Gráfica 14: Comportamiento del IUV para el 30 de mayo en UPINA	80
Gráfica 15: Comportamiento del IUV para el 22 de junio en UPINA	81
Gráfica 16: Comportamiento del IUV para el 23 de julio en UPINA	82
Gráfica 17: Comportamiento del IUV para el 02 de Agosto en UPINA.....	83
Gráfica 18 : Comportamiento de IUV para el 07 de setiembre en UPINA.....	83
Gráfica 19: Comportamiento del IUV para el 19 de octubre en UPINA	84
Gráfica 20 : Comportamiento de IUV para el 16 de noviembre en UPINA	85
Gráfica 21: Comportamiento de IUV para el 05 diciembre en UPINA	86
Gráfica 22: Comportamiento del IUV para el 20 de Agosto en UPINA.....	86

INDICE DE ACRONIMOS

IUV: Índice Ultravioleta Solar.

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

UNAP: Universidad Nacional del Altiplano.

UVER: Irradianza ultravioleta eritemáticamente activa.

MED: Dosis de Eritema mínima.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

UVB: Radiación ultravioleta de tipo B.

UVA: Radiación ultravioleta de tipo A.

UVC: Radiación ultravioleta de tipo C.

MATLAB: MatrixLaboratory.

CIE: Comisión Internacional de la Iluminación.

ICNIRP: Comisión Internacional para la protección de la radiación no ionizante.

UNEP: Programa medio ambiental de las naciones unidas.

NASA: National aeronautics and space administration

TOMS: Total ozone mapping spectrometer

DU: Unidades Dobson.

OMM: Organización meteorológica mundial.

SED: Dosis eritemática estándar.

RESUMEN

Se realizó un estudio sobre la radiación ultravioleta incidente en la localidad de UPINA, centro poblado perteneciente a la provincia de Carabaya del departamento de Puno, desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014, donde se realizaron mediciones monitoreadas por el SENAMHI, para luego caracterizar la radiación ultravioleta y construir un modelo matemático de cálculo del índice ultravioleta en dicha localidad.

El análisis de la radiación ultravioleta tipo A (UVA), dio por resultado que el promedio acumulado de intensidad mensual es 22.04 W/m^2 registrada mensualmente presentando un nivel de dispersión 1.7 indicando que el promedio de radiación ultravioleta no varía con gran intensidad durante todo el año, pero en comparación de los valores máximos registrados cada mes se encontró un incremento del 64% en cuanto al primera valor máximo registrado el mes de Mayo, y al analizar la radiación ultravioleta tipo B, se observa un comportamiento similar a la radiación tipo A en cuanto al promedio acumulado de radiación, encontrándose un promedio de intensidad 2.15 W/m^2 con un nivel de dispersión de 0.12 y pero en cuanto al análisis de valores máximos es muy diferente donde se observa un incremento de del 35.7 % respecto al valor máximo registrado en Mayo.

Para la formulación del modelo matemático se partió de simples ecuaciones que permiten calcular la incidencia de radiación ultravioleta en una superficie horizontal, para luego integrarlo desde los 280 nm hasta 315 nm, obteniéndose la radiación ultravioleta tipo B, la radiación ultravioleta tipo A, requiere mayores factores atmosféricos lo cual dificulta su cálculo matemático, la radiación tipo B es una de las más importantes por representar aproximadamente el 70% de su aporte al Índice Ultravioleta, después de obtener la radiación ultravioleta de tipo B, mediante las ecuaciones propuestas por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación) se obtuvo el Índice Ultravioleta, evaluando los datos calculados por el modelo y los datos obtenidos por la estación meteorológica se obtuvo una correlación promedio de 0.96 considerando aceptable el modelo.

Palabras Clave: Radiación, Ultravioleta, Índice UV, Modelo Matemático.

ABSTRACT

A study on incident ultraviolet radiation was conducted in the town of UPINA, a town located in the province of Carabaya, Puno department, from May 26 to December 31, 2014, where measurements were monitored by the SENAMHI, then characterize the ultraviolet radiation and construct a mathematical model of calculation of the ultraviolet index in said locality.

The analysis of the ultraviolet radiation type A (UVA), gave as a result that the cumulative average of monthly intensity is 22.04 W / m^2 recorded monthly presenting a level of dispersion 1.7 indicating that the average of ultraviolet radiation does not vary with great intensity during all the year, but compared to the maximum values recorded each month, an increase of 64% was found in the first maximum value recorded in May, and when analyzing type B ultraviolet radiation, a behavior similar to type A radiation was observed as for the accumulated average of radiation, being an average of intensity 2.15 W / m^2 with a level of dispersion of 0.12 and but as for the analysis of maximum values is very different where an increase of 35.7% with respect to the maximum registered value is observed in May .

The formulation of the mathematical model was based on simple equations that allow us to calculate the incidence of ultraviolet radiation on a horizontal surface, and then integrate it from 280 nm to 315 nm, obtaining ultraviolet radiation type B, ultraviolet radiation type A, requires higher atmospheric factors which hinders its mathematical calculation, type B radiation is one of the most important because it represents approximately 70% of its contribution to the Ultraviolet Index, after obtaining type B ultraviolet radiation, by means of the equations proposed by the CIE (International Lighting Commission) the Ultraviolet Index was obtained, evaluating the data calculated by the model and the data obtained by the weather station, an average correlation of 0.96 was obtained considering the model acceptable.

Keywords: Radiation, Ultraviolet, UV Index, Mathematical Model.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La exposición a la radiación solar diaria puede traer consecuencias graves debido a la presencia de radiación ultravioleta solar que según el tipo de piel pueden causar quemaduras y provocar el cáncer de piel, en esto radica la importancia de investigar la radiación ultravioleta en el presente trabajo.

La radiación ultravioleta se subdivide en tres tipos de radiación según la longitud de onda y el poder energético que presentan, la radiación tipo A con mayor presencia en la superficie terrestre pero con menores consecuencias perjudiciales y la de tipo B en pequeñas cantidades pero con mayor consecuencia perjudicial, lo cual llevo a analizar estas radiaciones en la localidad de UPINA centro poblado de la provincia de Carabaya, y diseñar un modelo matemático de fácil manipulación para el cálculo de la radiación ultravioleta.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La radiación solar es un factor de mucha importancia para el desarrollo de la vida en el planeta Tierra ya que moldea el clima e influye de manera significativa en el medio ambiente. De modo que la existencia de la vida depende de algún modo fundamental de la radiación solar. En particular la incidencia de radiación solar, no solo es la incidencia de rayos solares o luz que se puede identificar fácilmente sino también trae consigo la presencia de otros rayos no visibles entre los cuales está la incidencia de rayos ultravioleta sobre la superficie terrestre, estos rayos se clasifican en 3 tipos según el intervalo de longitud de onda, a menor longitud de onda es mayor el grado de penetración y por tanto mayor peligro para el ser humano irradiado (tipo A: no muy peligroso [315-400] nm, tipo B: peligroso [280-315] nm, tipo C: altamente peligroso [100-280]nm), según la Organización Mundial de la Salud (OMS) para prevenir sobre la nocividad de la radiación ultravioleta se ha creado el Índice Ultravioleta solar (IUV) que permite dar a entender a la población el nivel de peligrosidad de la radiación en un determinado día. (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2003)

En el Perú existen muy pocas estaciones meteorológicas que miden la radiación ultravioleta solar, algunos departamentos cuentan con una o dos estaciones que son administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHD); en el departamento de Puno se ha tenido la primera estación de radiación ultravioleta solar ubicada en el centro poblado de Upina del distrito de Ituata de la provincia de Carabaya, ubicada a 3960 m.s.n.m. inaugurada en mayo del 2014, estos registros de radiación sirven como referencia sobre el comportamiento de radiación ultravioleta e índice ultravioleta solar para la región de Puno, pero muchas investigaciones refieren que esta radiación solar varía según la ubicación de cada localidad.

Dada la importancia de conocer la radiación ultravioleta y a su vez conocer el nivel de intensidad o de peligrosidad que podría causar cuando un individuo se expone a la radiación solar, y con la poca cantidad de estaciones meteorológicas encargadas de medir la radiación ultravioleta, hace necesario buscar algún modelo matemático que pueda asimilar tales registros en dicha localidad y que pueda ser aplicable a otras localidades que no cuentan con estaciones meteorológicas, por tanto se plantea.

¿Será posible determinar el Índice Ultravioleta a partir de un modelo espectral de la radiación ultravioleta solar en Upina?

1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

ANTECEDENTES NACIONALES

- Mediante la ley de Beer- Lamber y considerando la atmósfera una sola capa se obtiene un modelo matemático de dispersión simple para estimar la radiación ultravioleta tipo B en la ciudad de Puno, programado en Fortran donde la irradiación ultravioleta solar de tipo B registrada para los meses de marzo-mayo del 2012 tuvo un máximo de 3.3046 W/m^2 y un mínimo de 1.1971 W/m^2 , y para los meses de noviembre a diciembre del 2011 un máximo de 4.6351 W/m^2 y un mínimo de 3.3046 W/m^2 en horas de mayor concentración solar y a su vez pudo predecir el índice ultravioleta solar mediante una ecuación empírica desde las 10:00 am a 1:30 pm cuyo valor mínimo fue 6 y el máximo de 16. (Mamani, 2013).

- Mediante un modelo paramétrico de radiación ultravioleta global para cielos claros se hicieron mediciones de radiación ultravioleta solar del tipo A en las localidades de Upina y Puno encontrando que el índice Ultravioleta es 1.6 veces la radiación ultravioleta de tipo B, mientras que el índice Ultravioleta es 3.207 veces la radiación ultravioleta tipo A. (Huillca & Taípe, 2015)

ANTECEDENTES INTERNACIONALES

- Entre mediciones experimentales de índice ultravioleta solar (IUV) y mediante el modelo TUV (modelo ultravioleta troposférico) se hicieron mediciones de irradianza solar ultravioleta B que se reciben a nivel del suelo desde el nivel del mar hasta los 3200 m de altura en la zona norte de Chile, registrando un aumento de radiación ultravioleta B de 9.7 % a 6.6 % por kilómetro a medida que se aleja del nivel del mar. (Rivas, Madronich, & Rojas, 2006)
- Desarrolla un modelo espectral de radiación ultravioleta para registrar radiación solar desde 285 nm hasta 385 nm, y comparado con registros experimentales reales en cielos claros sin nubes encontrando una correlación de 0.99 entre los datos experimentales y los datos obtenidos por el modelo en la ciudad de Herida, Puerto Rico siendo de gran confiabilidad el modelo y faltando comparar con otras ciudades. (Wright, 2008)

1.3.HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general

El modelo espectral de radiación ultravioleta generado a partir de la ecuación matemática (2.42) propuesta por (Iqbal, 1983) adecuada al centro poblado de Upina permite hallar la radiación ultravioleta solar teórica y en relación con la caracterización de la radiación ultravioleta solar con datos experimentales medidos en Upina se determina el índice Ultravioleta solar diario para el año 2014.

1.3.2. Hipótesis específica

- Se puede caracterizar la radiación ultravioleta solar medida en Upina.

- Se puede construir un modelo matemático que permita calcular la incidencia de radiación ultravioleta solar y luego el índice ultravioleta solar.
- Al realizar comparación de resultados entre la medición experimental y los resultados obtenidos por el modelo matemático existe una buena aproximación.
- Se puede diseñar un ejecutable.exe interactivo de fácil manejo para usuarios que requieran hacer cálculo de radiación ultravioleta e índice de radiación ultravioleta.

1.4.JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.

Las radiaciones solares ultravioletas son las más energéticas que llegan a la superficie terrestre, esta energía proviene de cada fotón incidente, en consecuencia, producen acciones biológicas de importancia sobre ecosistemas tanto terrestres como acuáticos. La energía de estos fotones (particularmente radiación ultravioleta de tipo B) es suficientemente alta para romper ligaduras de las moléculas que componen ciertas sustancias expuestas a la radiación. Entre ellas, la de mayor significación es su efecto en las moléculas de ADN, íntimamente relacionada con los seres vivos- que tiene su máxima acción biológica debida a la radiación solar en torno a 305 – 310 nm. (Raponi, Wolfram, Pallotta, R.D., & E., 2004).

La radiación ultravioleta es el principal factor de riesgo ambiental modificable en el desarrollo del melanoma cutáneo (inducción a nuevos casos de cáncer de piel). Muchas de las poblaciones ubicadas a gran altitud sobre el nivel del mar reciben elevadas dosis de radiación ultravioleta de tipo B. (Aceituno, Buendia, Olmo, & Jiménez, 2010)

El SENAMHI predice el Índice Ultravioleta solar propuesta por la Organización Mundial de la Salud según información satelital y de algunas estaciones meteorológicas ya instaladas en diferentes localidades del Perú disponible en su página web:<http://www.senamhi.gob.pe> . El departamento de Puno según su ubicación geográfica está expuesta a radiaciones solares que se relacionan directamente con actividades como la agricultura, ganadería, comercio, minería y turismo nacional e internacional en distintas localidades del departamento, por lo cual hace necesario que cada persona esté informada sobre la radiación ultravioleta,

para indicar el nivel de intensidad sobre la piel se realiza mediante el Índice Ultravioleta.

Los instrumentos de medida de radiación ultravioleta de gran precisión son costosos e instalar una estación de radiación ultravioleta en cada localidad demandaría un gasto adicional al estado peruano. Diversas investigaciones han desarrollado modelos matemáticos de gran precisión y adecuados a cada ciudad para la predicción de radiación ultravioleta solar e índice Ultravioleta solar.

La utilidad del modelo matemático para cálculo del IUV podría reducir el costo de compra de una estación meteorológica de radiación solar para una localidad y así prevenir a la población de los efectos dañinos a la piel cuando los niveles de IUV son altos, ya que podrían ser capaces de producir una quemadura y dar inicio al cáncer de piel.

1.5.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

- Determinar el Índice Ultravioleta solar a partir del modelo espectral de radiación ultravioleta solar aplicado en el centro poblado de Upina para cielos claros

1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la radiación ultravioleta solar registrada en Upina desde el 24 de mayo al 31 de diciembre del 2014.
- Construcción del modelo matemático para la radiación ultravioleta solar y determinar el Índice Ultravioleta solar para cielos claros en Upina.
- Comparar los datos registrados experimentalmente de Índice Ultravioleta solar y datos estimados mediante el modelo matemático.
- Diseñar un programa ejecutable.exe para el cálculo de radiación ultravioleta solar y el Índice Ultravioleta solar.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTO TEÓRICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA

La radiación electromagnética es un tipo de campo electromagnético variable, es decir, una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro. Desde un punto de vista corpuscular, la radiación electromagnética puede ser considerada como un flujo de partículas llamadas fotones propagándose a velocidad de la luz.

La radiación electromagnética se manifiesta de diversas maneras como calor radiado, luz visible, rayos X o rayos gamma. A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la radiación electromagnética se puede propagar en el vacío. (Melía, 1991)

La magnitud de la potencia por unidad de superficie de cualquier tipo de radiación electromagnética se le conoce como irradiancia, cuya unidad de medida es W/m^2 . (<https://es.wikipedia.org>, 2016)

A la radiación electromagnética emitida por el Sol, se le denomina radiación solar.

2.2. EL SOL

El Sol es la estrella más cercana a la Tierra y la única fuente de energía que tiene ésta para desarrollar los procesos físicos, químicos y biológicos que se llevan a cabo en ella, siendo despreciables otras aportaciones. En su núcleo se da una reacción en cadena protón-protón, a una temperatura de ignición de $10^7 K$ aproximadamente, que da lugar al proceso de fusión.

El Sol es una estrella normal de tipo G que produce 4×10^{23} kW. Perteneció al grupo de estrellas denominadas ENANAS y se le estima una edad de 5000 millones de años, y cuya vida puede alargarse unos 8000 millones más. La energía radiante que emite equivale a un cuerpo negro a 5777 K. La energía media por unidad de área y tiempo que alcanza nuestra atmósfera se denomina Constante Solar. El sol está compuesto predominantemente por hidrógeno (70% de su masa) y helio (28%), y rastros de elementos pesados (metales). Genera su

energía por procesos de fusión nuclear convirtiendo hidrógeno en helio y perdiendo masa a razón de 4 millones de toneladas por segundo. (Marín, 2007)

No toda la radiación que llega al planeta Tierra alcanza la superficie de la corteza terrestre. La radiación al llegar a la atmósfera sufre una serie de dispersiones al entrar en contacto con la atmósfera. En primer lugar, parte de la radiación es reflejada debido al fenómeno de reflexión atmosférica y vuelve al espacio. La radiación que consigue entrar en la atmósfera terrestre, a su vez, sigue sufriendo cambios tales como la absorción por diferentes moléculas del aire y la difusión y dispersión por el choque de los fotones con las partículas y moléculas de la misma. (Serrano, 2007)

2.3. ESTRUCTURA DEL SOL

Según la página de divulgación científica de la NASA la intensidad del sol varía a lo largo de 11 años de manchas solares, como se muestra en la Figura 2. Cuando las manchas solares son numerosas la constante solar es mayor (alrededor 1367 W/m²) mientras que cuando las manchas solares escasean, el valor es bajo (alrededor 1365 W/m²). De todas formas, la constante solar puede fluctuar alrededor de un 0.1% a lo largo de días y semanas, según las manchas solares crecen y se disipan. La constante solar también cambia desde 0.2% hasta 0.6% a lo largo de muchos siglos, de acuerdo con los científicos que estudian los tres anillos. (<http://glory.gsfc.nasa.gov/overview-tsi.html>, 2016).

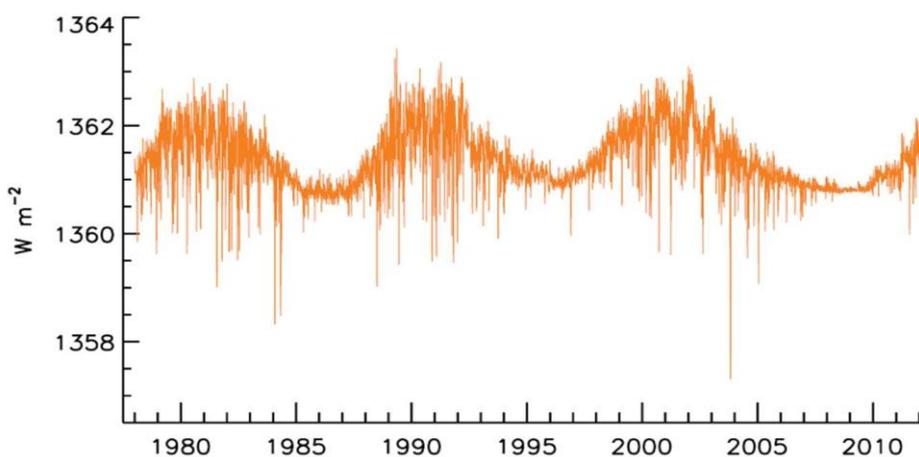


Figura 1: Grabación de la intensidad del sol desde 1978 hasta el 2012 por la NASA.

La mayor parte de la radiación solar es emitida en la parte visible y del infrarrojo cercano del espectro, por lo que la mayor contribución a la constante solar procede de estas longitudes de onda. De hecho, aproximadamente un 99% de la radiación solar se emite en el intervalo de longitudes de onda de 300 nm a 6000 nm, mientras que la radiación ultravioleta entre 120 nm y 300 nm contribuye con 1%. Las longitudes de onda correspondientes a los rayos X, que sufren fluctuaciones inmensas, contribuyen de forma insignificante al total. Hay una variación anual de $\pm 3.5\%$ respecto a la media, debido a la forma elíptica de la órbita de la Tierra. (Serrano, 2007)

2.4. EL ESPECTRO DE RADIACIÓN ELECTROMAGNETICA DE ORIGEN SOLAR.

El espectro de radiación que emite el sol, similar al de un cuerpo negro a aproximadamente 6000 K, es un espectro continuo de todos los tipos de radiación electromagnética (REM). En el espectro, la REM es ordenada generalmente de acuerdo a su longitud de onda (λ) o frecuencia (ν). La Figura 3. muestra el espectro electromagnético dividido en regiones clasificado según <http://www.meteolot.com/satel-lits-meteorologics.html>.

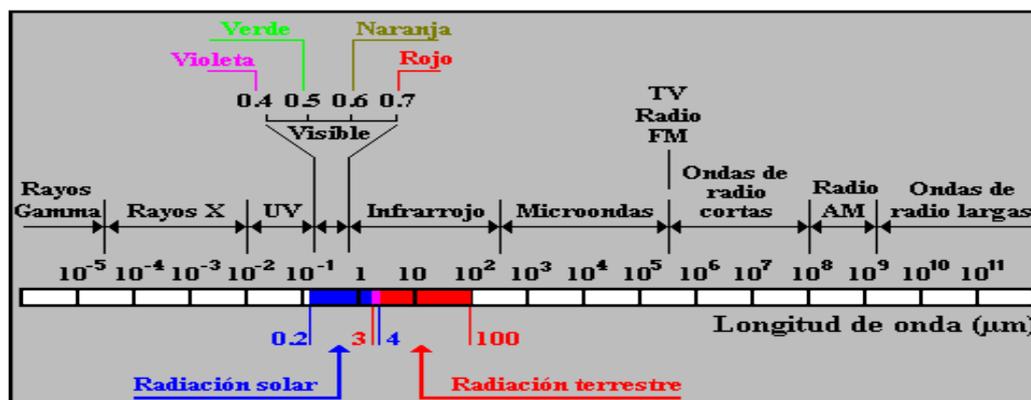


Figura 2. El espectro electromagnético con los tipos de radiación por regiones de longitud de onda.

2.5. RADIACIÓN VISIBLE

La radiación entre 400 y 700 nm corresponde a lo que normalmente llamamos luz (aunque hoy en día se suele utilizar el término luz como sinónimo abreviado de radiación electromagnética), es el espectro visible, y sus distintas longitudes

de onda son los distintos colores, con el violeta hacia los 400 y el rojo hacia los 700 nm, como se muestra en la Figura 4, obtenida de la misma página web que la figura anterior. La luz visible es la parte del espectro donde la radiación solar alcanza su máximo.



Figura 3. Espectro visible

2.6. RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La radiación ultravioleta (UV) abarca las longitudes de onda del espectro electromagnético comprendidas entre 100 y 400 nm. Considerada como parte del espectro de la radiación que llega al límite de la atmósfera procedente del sol, su intensidad es bastante menor, del orden del 7.86% del total (ASTM 2000), que la correspondiente a la radiación en las zonas visible e infrarrojo próximo del espectro. En función de los efectos que produce sobre los seres vivos la radiación UV se divide en tres tipos:

- **Ultravioleta C (UVC):** Comprende el intervalo entre los 100 y 280 nm. Este rango es totalmente nocivo para los seres vivos. Este tipo de ultravioleta es totalmente absorbido bien por el oxígeno molecular o bien por el ozono en la superficie atmosférica de manera que no llega a alcanzar la superficie terrestre.
- **Ultravioleta B (UVB):** Se extiende desde los 280 y 315 nm. Aunque este último umbral, algunos autores lo sitúan en los 320 nm. Pero los organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (WMO) lo sitúan en los 315 nm. Este tipo de radiación es de tres a cuatro veces más energética que la radiación ultravioleta de tipo A (UVA), (McKinlay y Diffey, 1987). Casi el 90% es absorbida por el ozono estratosférico pero el porcentaje que llega a la superficie terrestre afecta a los seres vivos produciendo enrojecimiento de la piel más o menos severo, denominado eritema solar y también quemaduras, envejecimiento de la piel, melanomas, fotoqueratitis, etc.

- Ultravioleta A (UVA):** Abarca desde los 315 hasta los 400 nm. Esta radiación es mucho menos afectada por el ozono, tanto así que representa en torno al 90% de la radiación ultravioleta solar medida en la superficie terrestre. Pero al ser menos energética que la UVB, los efectos que produce sobre los seres vivos son menos agresivos que los producidos por esta. (Gramsh, 2012)

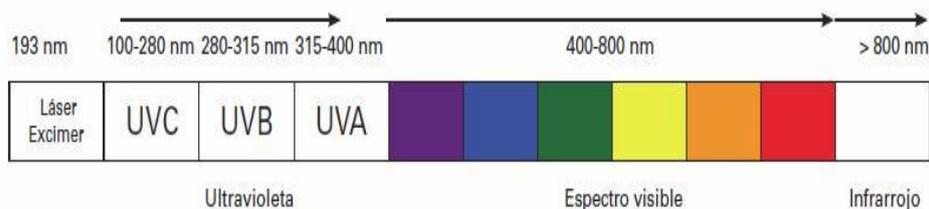


Figura 4 : Espectro específico de la radiación ultravioleta solar.

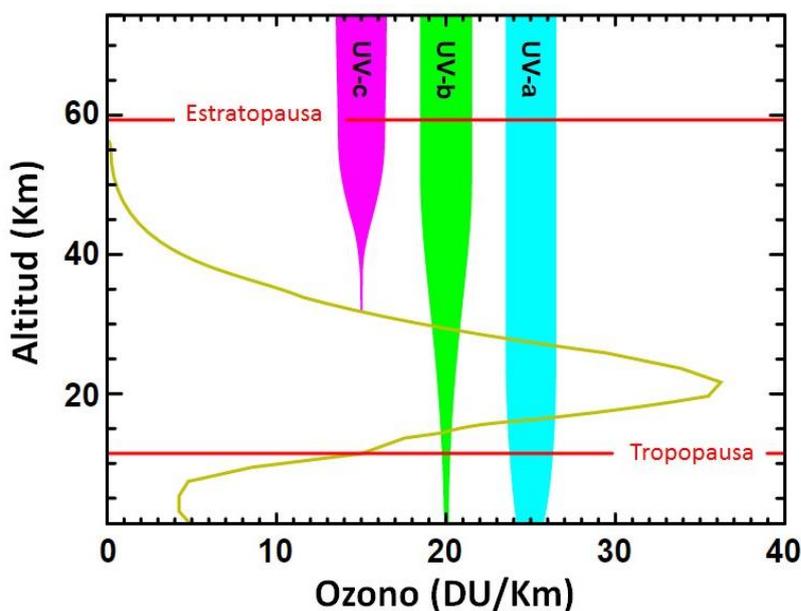


Figura 5: La figura muestra que la radiación ultravioleta tipo C y gran parte de la tipo B son absorbidas por el ozono estratosférico (CCORA, 2015)

2.7. EFECTOS DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE SOBRE LA RADIACIÓN SOLAR.

La radiación ultravioleta como parte de la radiación solar total, sufre al atravesar, la atmósfera diversos fenómenos de atenuación, como la dispersión o scattering, la absorción y la reflexión (considerando esta como un efecto independiente del scattering, ya que también se puede considerar un límite del mismo). (Melía, 1991)

La dispersión es un fenómeno producido cuando interactúa una onda electromagnética con una partícula o centro dispersor, dando lugar a una reemisión de la energía incidente en todas las direcciones del espacio. Éste es un proceso que se da de manera continua en todo el espectro solar, si bien la intensidad relativa disminuye con la longitud de onda. La radiación solar que incide sobre la superficie de la Tierra disminuye debido a los procesos de atenuación que sufre la radiación al atravesar la atmósfera. La radiación solar que proviene de la dirección en que se encuentra el Sol se denomina radiación solar directa, en cambio, la que procede de direcciones diferentes a la dirección del Sol se le llama radiación solar difusa. La suma de estas dos radiaciones, directa y difusa, dará lugar a la radiación solar global. (Martínez, 2007)

Los principales procesos que atenúan la radiación solar en la atmósfera según (Melía, 1991) son:

- a) **Absorción:** Este proceso ocurre cuando la radiación solar incide sobre los componentes atmosféricos, siendo absorbida, lo que produce un incremento en la energía de estos componentes. Los principales absorbentes de la radiación solar UV son ciertas moléculas gaseosas (principalmente oxígeno y ozono), gotas de agua, los cristales de hielo y los aerosoles. La absorción de la radiación UV-C por parte del oxígeno molecular representa la principal fuente energética de la termosfera. Además, la mayor parte de la radiación UV-B es absorbida en la estratosfera por el ozono, alcanzando solamente un pequeño porcentaje la superficie terrestre. Por tanto, la radiación solar UV que incide en la superficie está compuesta principalmente por radiación UV-A.

b) **Scattering:** El fenómeno de scattering se define como el proceso de atenuación que tiene lugar cuando los constituyentes que forman la atmósfera dispersan la radiación que la atraviesa variando su dirección de propagación inicial. Según la relación entre el tamaño de la longitud de onda de la radiación incidente y las partículas del medio, es posible dividir este fenómeno de scattering en:

- **Scattering Rayleigh:** Este fenómeno tiene lugar cuando la longitud de onda de la radiación incidente es mucho mayor que el tamaño de las partículas difusoras. En este caso, el grado de dispersión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de la longitud de onda. Así, radiaciones de longitudes de onda corta sufrirán mayor dispersión que las radiaciones de onda larga. De este modo, la radiación UV incidente en superficie está compuesta, prácticamente el 50%, por la suma de la radiación directa y difusa, dependiendo este porcentaje de las condiciones atmosféricas.
- **Scattering Mie:** Este fenómeno sucede cuando las partículas difusoras son del mismo orden de tamaño que la longitud de onda de la radiación incidente. Este proceso de dispersión normalmente ocurre en las capas bajas de la atmósfera, debido a la naturaleza de las partículas que la originan: aerosoles, humo, partículas de polvo, gotas de agua, etc.
- **Óptica Geométrica.** Sucede cuando la longitud de onda de la radiación solar incidente es mucho menor que el tamaño de los obstáculos que se encuentra en su propagación. Este fenómeno no depende de la longitud de onda de la radiación incidente, estando gobernados por las leyes de Reflexión y Refracción de la luz.

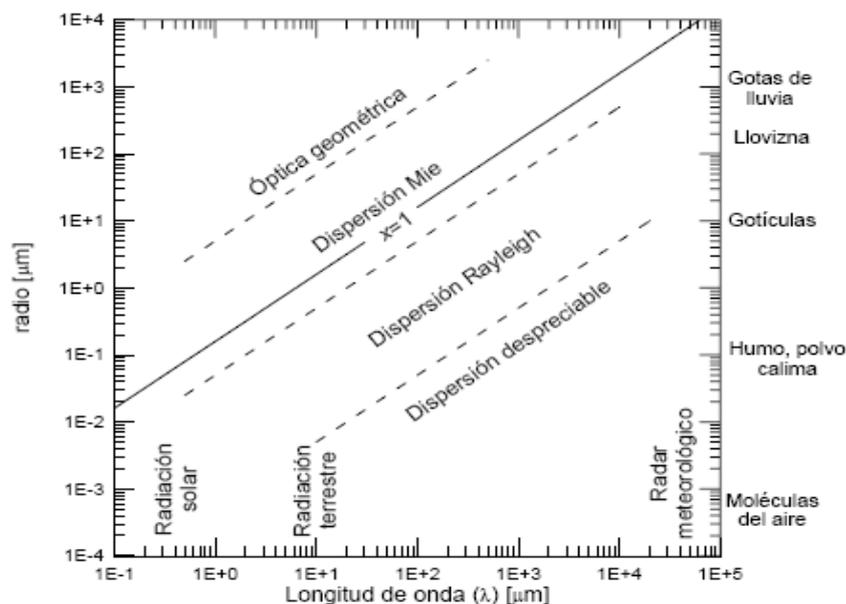


Figura 6: Diferentes tipos de dispersión según el parámetro de tamaño. En el eje de la izquierda se representa el radio de la partícula. (Kidder y VonderHacc, 1995)

La radiación ultravioleta que alcanza la superficie terrestre depende de la composición de la atmósfera en cada instante de tiempo. Los principales factores que van a modificar esta radiación según (Martínez, 2007)son:

- a) **Ozono Atmosférico.** La radiación solar UV es absorbida y dispersada en la atmósfera. La radiación UV-C es absorbida totalmente en la parte alta de la atmósfera por el oxígeno y por las moléculas de ozono. La mayor parte de la radiación UV-B es absorbida en la estratosfera por el ozono. Por lo tanto, a la superficie terrestre llega radiación compuesta en su mayoría por radiación UV-A, y sólo una pequeña parte de UV-B (la radiación UV-B es biológicamente dañina). Al ser el ozono el principal absorbente de la radiación UV-B la intensidad de la misma en la superficie terrestre depende fuertemente de la cantidad de ozono presente en la atmósfera. Un factor que describe la relación entre la sensibilidad de la intensidad de la radiación UV-B a los cambios en el ozono total es el denominado Factor de Amplificación de la Radiación (RAF). Para pequeños cambios en el grosor de la capa de ozono el factor RAF representa el porcentaje de cambio en la intensidad UV-B para un cambio de un 1% en la columna total de ozono.

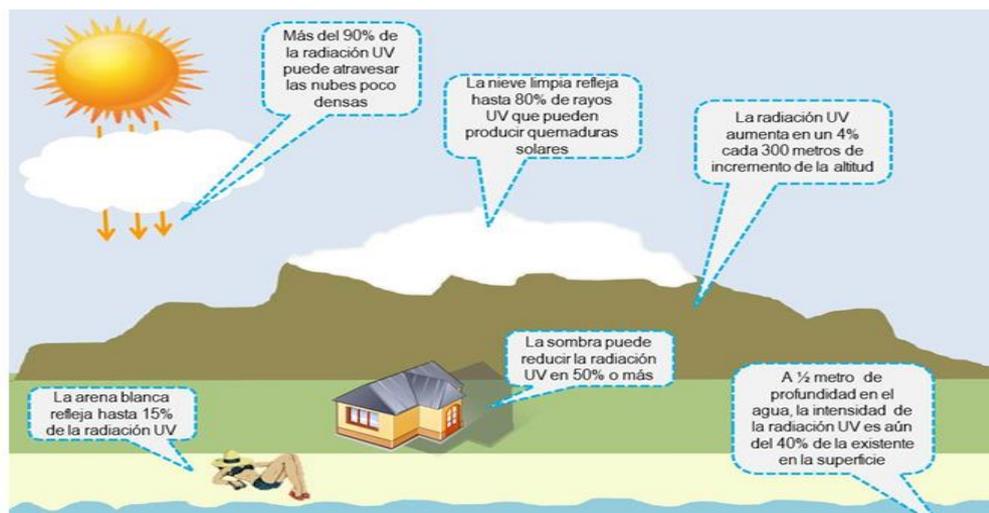


Figura 7: Variación de la radiación ultravioleta según OMS.

- b) **Elevación Solar.** La elevación solar es el ángulo entre el horizonte y la dirección del sol. En ocasiones se emplea el ángulo cenital solar en lugar de la elevación solar. Para elevaciones solares altas la radiación UV es más intensa debido a que los rayos solares atraviesan un camino menor a través de la atmósfera, pasando por lo tanto por una menor cantidad de absorbentes. La radiación solar, al depender fuertemente de la elevación solar, varía con la latitud, estación y hora, siendo mayor en los trópicos, en verano, y al mediodía.
- c) **Altitud.** La intensidad de radiación UV aumenta con la altitud sobre el nivel medio del mar debido a dos efectos. Por una parte, a mayor altitud es menos el espesor de atmósfera que recorre la radiación. Y por otra parte, a mayor altitud la radiación UV será más atenuada por una menor cantidad de componentes atmosféricas debido a la importante disminución de la densidad atmosférica con la altura. Según referencia de la OMS la irradiancia UV incrementa en 4 % cada 300 m.
- d) **Dispersión Atmosférica.** En la superficie terrestre la radiación solar se divide en una componente directa y en una componente difusa de la radiación. La componente directa la forman los rayos solares que penetran directamente por la atmósfera sin ser dispersados ni absorbidos por moléculas de aire y partículas, como aerosoles o gotas de agua. La

componente difusa de la radiación consiste en rayos similares que han sido dispersados al menos una vez antes de llegar a la superficie de la Tierra. La dispersión depende fuertemente de la longitud de onda.

- e) **Nubosidad y aerosoles.** La radiación UV es mayor generalmente para cielos totalmente despejados. Las nubes normalmente reducen la cantidad de radiación UV, pero la atenuación depende del grosor y tipo de éstas. Las nubes finas o dispersas afectan muy poco a la radiación UV. En ciertas condiciones, y por períodos cortos de tiempo, una pequeña cantidad de nubes puede incluso hacer aumentar la cantidad de radiación UV, esto sucede normalmente en condiciones de cielos parcialmente cubiertos y con el sol visible.

- f) **Reflexión.** Parte de la radiación que llega a la superficie terrestre es absorbida y parte es reflejada. El porcentaje de radiación reflejada depende de las propiedades de la superficie. Elementos como la hierba, el agua y otros, reflejan menos de un 10%, sin embargo otros elementos como la nieve pueden llegar a reflejar hasta un 80% de la radiación incidente. Durante la primavera y en condiciones de cielo despejado la reflexión por nieve puede elevar los valores de radiación hasta niveles de verano. Aproximadamente un 95% de la radiación penetra en el agua y un 50% llega hasta una profundidad de 3 m.

2.8. IRRADIANCIA ULTRAVIOLETA ERITEMÁTICA.

El estudio de los efectos eritemáticos de la radiación solar se realiza a partir de la denominada irradiancia ultravioleta eritemáticamente activa (UVER) que se determina convolucionando la curva espectral de la radiación solar incidente a nivel del suelo con la curva del espectro de acción del eritema humano. Los primeros estudios sobre el eritema solar se abordaron hace más de 70 años quedando establecido que dicho espectro muestra un máximo absoluto en los 297 nm y un mínimo relativo en los 280 nm (Diffey 1982). La CIE (Comisión Internacional de la Iluminación) adoptó en 1987 una "Curva Estándar de Eritema" (Figura 9.) propuesta originariamente por Coblentz y Stair (1934) y

establecida de forma definitiva por McKinlay y Diffey (1987), que es la utilizada en la actualidad para determinar la irradiancia UVER.

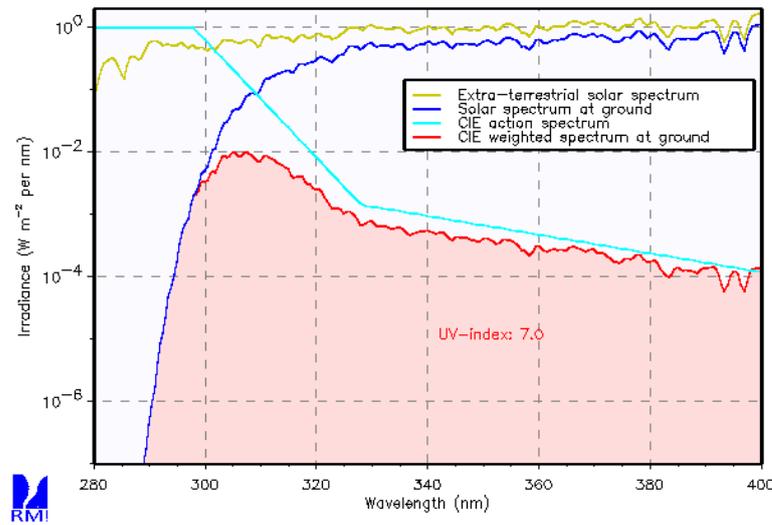


Figura 8 : Irradiancia UVER y curva del espectro de acción del eritema humano.

Referencia: Comisión Internacional de la Iluminación

La línea amarilla muestra la intensidad de la luz solar en la parte superior de la atmosfera entre 280 y 400 nm. La línea azul representa la intensidad en una superficie horizontal a nivel del suelo, por lo general en un día claro mediodía de verano en latitudes medias. La línea de color turquesa es la acción del espectro CIE de referencia para el eritema ultravioleta inducido sobre diferentes tipos de piel humana. Cuando el espectro en el suelo (línea azul) se multiplica con este espectro de acción (línea turquesa) el resultado (línea roja) es la radiación eritemáticamente activa o biológicamente activa (I_{UVER}) estos valores se integran entre 280 nm y 400 nm, que viene dada por la siguiente ecuación.

$$I_{UVER} = \int_{280}^{400} I_{\lambda} \cdot EE(\lambda) \cdot d\lambda \tag{2.1}$$

Donde I_{λ} es la radiación solar en el suelo.

$EE(\lambda)$ curva del espectro de acción propuesta por la CIE, Los valores de $EE(\lambda)$ propuesto por la CIE dados por Madronich en 1977, esto es:

$$\begin{aligned}
 \lambda < 0.298\mu\text{m} &\rightarrow EE(\lambda) = 1 \\
 0.298\mu\text{m} \leq \lambda < 0.328\mu\text{m} &\rightarrow EE(\lambda) = 10^{0.094(298-1000\lambda)} \\
 0.328\mu\text{m} \leq \lambda < 0.400\mu\text{m} &\rightarrow EE(\lambda) = 10^{0.015(139-1000\lambda)} \\
 \lambda > 0.400\mu\text{m} &\rightarrow EE(\lambda) = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

El estudio de la influencia eritemática se realiza a partir de la dosis mínima de UVER que produce un enrojecimiento perceptible en una piel humana no expuesta previamente a la radiación solar. Esta dosis se conoce internacionalmente como dosis eritemática mínima (MED) (Diffey, 1990; Grainger, 1993), y siempre está referida a un determinado tipo de piel (fototipo).

Los fototipos cutáneos se establecen en función de la cantidad de melanina presente y, consecuentemente, de la capacidad natural para evitar el eritema. Se considera que los fototipos I y II corresponden a individuos deficientes en melanina y el III y IV con melanina suficiente. Algunas clasificaciones de fototipos incluyen los fototipos V y VI, de piel morena y negra natural respectivamente, que tienen protección melánica (Fitzpatrick, 1988). Actualmente, la mayoría de los países han adoptado, a partir de las recomendaciones de la COST 713 (Vanice, 2000), cuatro tipos para la piel humana en función de su capacidad para broncearse. Las principales características de estos tipos, definidos por la norma DIN 5050, se muestran en la Tabla 1, en la que también se indica la dosis (en J/m^2) necesaria para producir una MED. Dado que la MED depende de cada individuo, se define también la dosis eritemática estándar (SED), para evaluar los efectos de la radiación UV en la piel de forma objetiva, siendo $1 \text{ SED} = 100 \text{ J/m}^2$ (CIE, 1998). (Serrano, 2007)

Tabla 1. Valores de la dosis eritematosa mínima (MED) para los tipos de piel humana definidos por la COST 713

Fototipo	Se quema tras la exposición al sol	Se broncea tras la exposición al Sol	MED
Tipo I	Siempre	Raramente	200 J/m ²
Tipo II	Habitualmente	Algunas veces	250 J/m ²
Tipo III	Algunas veces	Habitualmente	350 J/m ²
Tipo IV	Raramente	Siempre	450 J/m ²

Fuente: Organización Mundial de la Salud.

2.9. ÍNDICE ULTRAVIOLETA (IUV)

A mediados de los 80 y debido a la alarma social creada por la observación del crecimiento del agujero de la capa de ozono del Hemisferio Sur, se pensó en la necesidad de introducir índices para la predicción de las dosis de radiación ultravioleta incidente a nivel del suelo, cuya finalidad era facilitar información a la opinión pública sobre los niveles que alcanza dicha radiación sobre la superficie terrestre, sus efectos nocivos y los medios para protegerse. El índice más empleado es el índice relativo a la acción eritemática el cual recibe el nombre de índice ultravioleta (IUV) de la radiación UVB. Las primeras predicciones se dieron en Australia en los años 90 (Roy . 1990) y Nueva Zelanda (McKenzi, 1998) basándose en los valores de la MED y de tiempo de exposición para provocar quemaduras respectivamente.

Finalmente, en 1995 la Comisión Internacional de Protección frente a la radiación no ionizante (ICNIRP), en colaboración con la OMS (Organización Mundial de la Salud), la OMM (Organización Meteorológica Mundial) y la UNEP (Programa Medioambiental de las Naciones Unidas) elaboraron unas recomendaciones redefiniendo el índice de radiación ultravioleta (UV Index o IUV), de manera que éste debe entenderse como una unidad de medida y no sólo como un valor máximo diario (ICNIRP 1995, OMM1998). El valor numérico del IUV se calcula a partir de la integración de la irradiancia ultravioleta para todas las longitudes de onda (hasta los 400 nm), y multiplicando el valor de la irradiancia UVER (expresado en W/m²) por 40. Finalmente se expresa el

resultado mediante el número entero más próximo entre 0 y 16 (sin decimales). El cual podemos ver en la siguiente ecuación:

$$IUV = 40 \cdot \int_{280}^{400} I_{\lambda} \cdot EE(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2.3)$$

La predicción del IUV se realiza en la actualidad por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), que en los últimos años ha ido instalando equipos de gran precisión para el monitoreo de UVB, en zonas estratégicas a nivel nacional (Lima, Arequipa, Cajamarca, Puno y Junín) esta información de algunas predicciones y medidas se pueden encontrar en <http://www.senamhi.gob.pe/?p=1005>.

La estandarización del IUV incluye recomendaciones de foto protección e incluso un código de colores según el valor del Índice Ultravioleta. Con la finalidad de hacer extensivas estas recomendaciones, los pictogramas relativos al IUV se encuentran a disposición pública en Internet: <http://www.who.int/uv/>.

A modo de ejemplo se incluye en la Figura 10 el código de colores del Índice UV junto a unas recomendaciones de fotoprotección. (Marín, 2007)

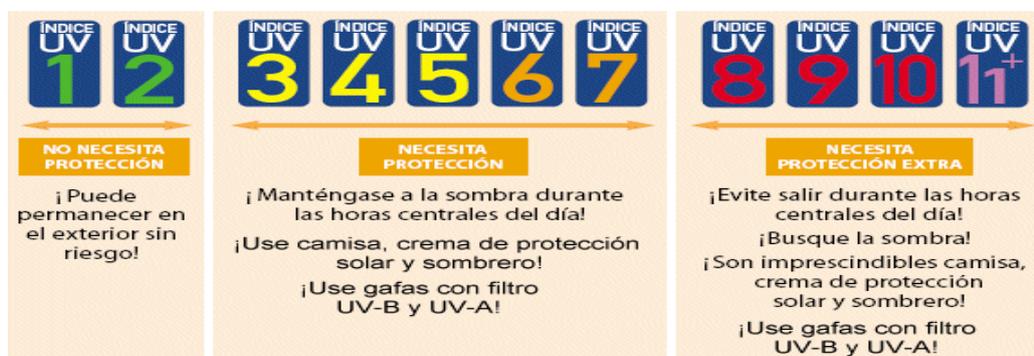


Figura 9: Algunas medidas de fotoprotección recomendadas por la OMS según el valor del índice ultravioleta.

2.10. EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR SOBRE LA SALUD

La exposición a la radiación puede producir, en el ser humano, efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunitario. Es frecuente la creencia equivocada, de que solo a personas de piel clara deben preocuparse por

la sobreexposición al sol. Las pieles más oscuras contienen más melanina protectora y la incidencia de cáncer de piel es menor, sin embargo se producen casos de cáncer que muy a menudo se detectan en estados muy avanzados. A continuación se mencionan algunos de los efectos producidos por la exposición a la radiación ultravioleta.

- Quemaduras solares, bronceado y envejecimiento de piel: al principio se inicia con enrojecimiento de la piel para luego broncearse y dependiendo de la capacidad de exposición a la radiación ultravioleta de una persona según su tipo de piel, se produce degeneración de células, el tejido fibroso y los vasos sanguíneos de la piel.
- Cánceres de piel no melánicos: comprende los carcinomas de células basales y los carcinomas de células escamosas, aunque raramente son mortales pero su tratamiento quirúrgico es doloroso.
- Melanoma maligno: aunque menos frecuente que el cáncer de piel no melánico pero es la principal causa de muerte por cáncer de piel debido a la alta exposición e intermitente a la radiación solar.
- Efectos oculares, los menos leves pueden ser la fotoqueratitis y la fotoconjuntivitis y al parecer uno de los factores que intervienen en las cataratas es la radiación UVB.
- Sistema inmunológico, varios estudios han demostrado que la exposición a niveles medioambientales de radiación ultravioleta altera la actividad y distribución de algunas células responsables de desencadenar las respuestas inmunitarias en el ser humano. (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2003)

2.11. DETERMINACION MATEMÁTICA DE LA RADIACION ULTRAVIOLETA

La determinación de la radiación ultravioleta se puede realizar mediante instrumentos meteorológicos especializados, pero también se puede determinar mediante ecuaciones matemáticas en la cual el presente trabajo tomará las expresiones determinadas por (IQBAL ,1983).

2.11.1. Relaciones astronómicas Tierra – Sol.

Los factores astronómicos o geométricos, son la distancia Tierra- Sol y el ángulo solar cenit θ_z , estos factores varían diariamente debido a la órbita elíptica que describe la Tierra alrededor del Sol.

2.11.2. Distancia Tierra – Sol (r):

El Sol está situado en uno de los focos de la elipse que describe la trayectoria de la Tierra alrededor de él. Esta elipse está insertada en el plano denominado ECLÍPTICA y su excentricidad es baja, del orden de 0.0017, por lo que la distancia máxima de la Tierra al Sol el 4 de julio (AFELIO) es de aproximadamente 1.521×10^8 km y su distancia mínima el 31 de diciembre (PERIHELIO) es de 1.471×10^8 km, siendo la distancia media Tierra-Sol (r_o) de 1.496×10^8 km o Unidad Astronómica (U.A.)

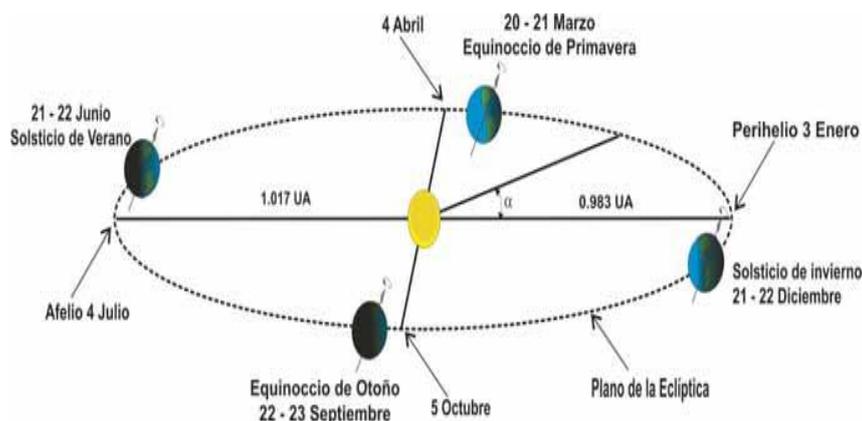


Figura 10: Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. (Las estaciones son para el hemisferio norte, para el hemisferio sur es al contrario)

Tradicionalmente la distancia Tierra – Sol (r) se expresa mediante una expansión de términos de series de Fourier con un número determinado de coeficientes. Con un error máximo de 0.0001, Spencer (1971) desarrolló la siguiente expresión para el recíproco del cuadrado del radio vector de la tierra denominado **Factor de corrección de la distancia Tierra- Sol**, definido por la siguiente ecuación:

$$E_o = \left(\frac{r_o}{r} \right)^2 = 1.0011 + 0.034221 \cos \Gamma + 0.001280 \sin \Gamma + 0.000719 \cos 2\Gamma + 0.000077 \sin 2\Gamma \quad (2.4)$$

Donde Γ se conoce como el ángulo del día en radianes y está dado por:

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365} \quad (2.5)$$

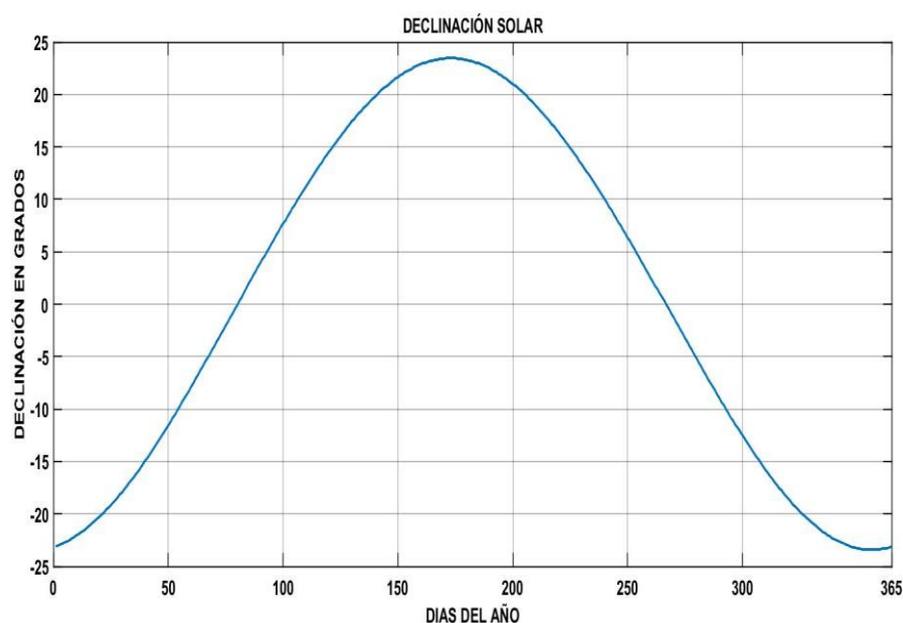
Donde d_n es el número del día juliano variando desde 1 para el primero de enero hasta 365 para el 31 de diciembre.

2.11.3. Declinación (δ):

El plano de revolución de la Tierra alrededor del Sol se denomina Eclíptica. La tierra gira alrededor de su propio eje, el cual se encuentra inclinado con respecto a la normal del plano de la Eclíptica con un ángulo constante de 23.27° . Debido a esta inclinación del eje de la Tierra, la cantidad de radiación solar recibida durante el día en un punto determinado de la Tierra varía a lo largo del año, dando lugar a los cambios estacionales. El ángulo entre el eje polar y la normal al plano eclíptico permanece invariable, al igual que el formado entre el plano ecuatorial de la tierra y el plano eclíptico. Sin embargo, el ángulo que forma la línea que une los centros del Sol y la tierra con el plano ecuatorial terrestre, denominado declinación, varía a lo largo del año desde 23.27° en el solsticio de verano hasta el -23.27° en el solsticio de invierno. Haciéndose cero en los equinoccios de primavera y otoño como se ve en la figura 12. Diversos autores han estudiado técnicas para el cálculo de la declinación en radianes, siendo la más aceptada de Spencer (1971)

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma \quad (2.6)$$

Gráfica 1: Declinación solar durante los 365 días del año.



Fuente: Elaboración propia

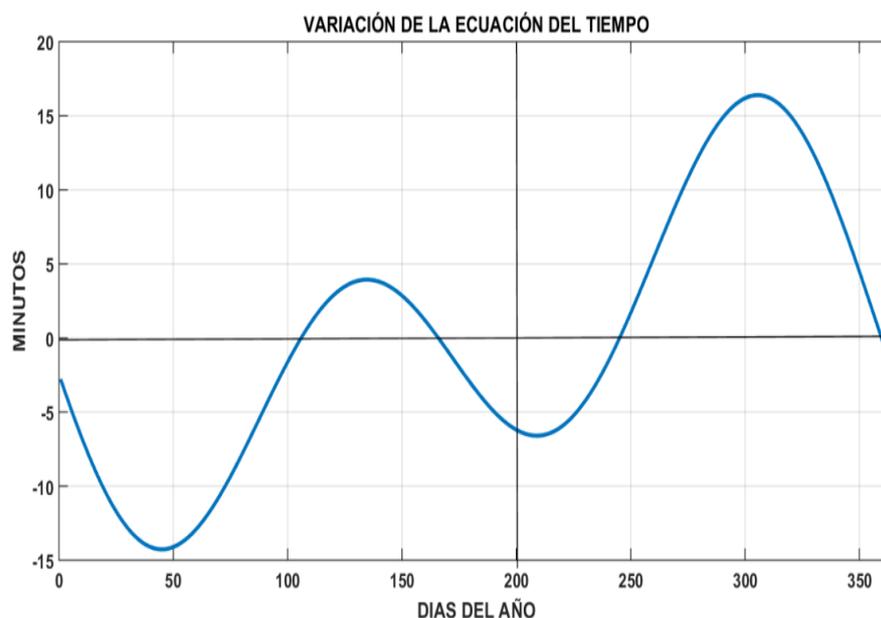
2.11.4. Ecuación del tiempo (E_t)

Es la diferencia entre el tiempo solar verdadero (TSV, medido con un reloj solar) y el tiempo solar medio (TSM, corresponde al tiempo civil y se coordina mediante el Tiempo Medio de Greenwich.). Esta diferencia varía a lo largo del año y alcanza una mayor diferencia a principios de noviembre, cuando el tiempo solar medio está a más de 16 minutos por detrás del tiempo solar aparente (3 de noviembre), y a mediados de febrero, cuando el tiempo solar medio va más de 14 minutos por delante del aparente.

El valor aproximado de la Ecuación del tiempo a lo largo del año, según Spencer, está dado por:

$$E_t = 0.000075 + 0.001868 \cos \Gamma - 0.032077 \sin \Gamma - 0.014615 \cos 2\Gamma - 0.04089 \sin 2\Gamma \quad (2.7)$$

Gráfica 2: Variación de la ecuación del tiempo a lo largo del año.



Fuente: Elaboración propia.

De la definición de la ecuación del tiempo podemos plantear la siguiente ecuación:

$$E_t = TSV - TSM \tag{2.9}$$

Despejando y añadiendo la corrección tenemos:

$$\begin{aligned} \text{Tiempo Solar verdadero} &= \text{Hora Local} + \text{corrección de longitud} \\ &\text{ecuación del tiempo.} \tag{2.10} \\ &= \text{Hora Local} + 4(Ls - Le) + E_t \end{aligned}$$

Donde Ls es la longitud estándar, Le es la longitud local.

2.11.5. Posición relativa del sol en una sobre una superficie horizontal

Para conocer cuál es la posición del Sol en cada momento es necesario y suficiente conocer las coordenadas que la definen, distancia cenital y acimut , con respecto a un punto de una latitud determinada.

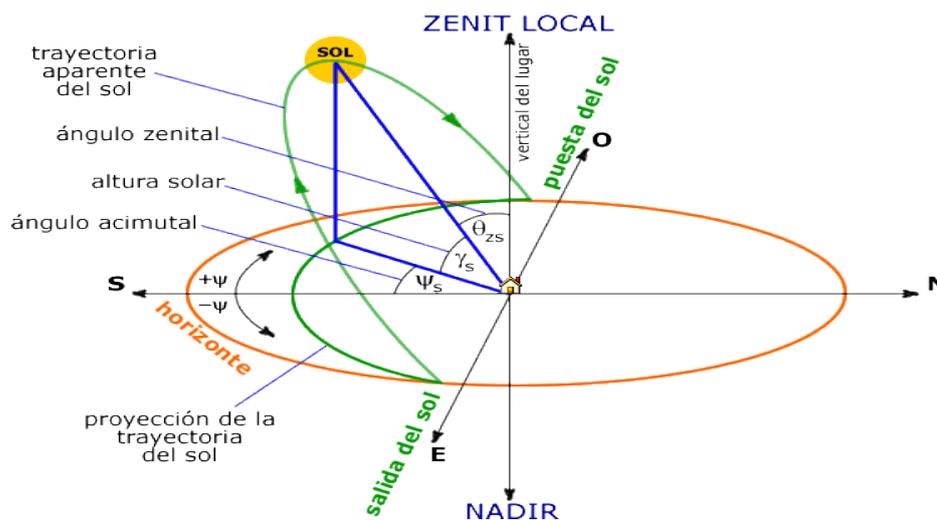


Figura 11: Principales coordenadas polares de la esfera celeste.

Referencia: <https://sites.google.com/site/aquiestatodoymas/>

- **Latitud del lugar (ϕ):** Es el ángulo complementario formado por la recta que une el zenit y el nadir con el eje polar. Es positivo hacia el norte y negativo hacia el sur.
- **Meridiano del lugar:** Circulo máximo de la esfera terrestre que pasa por el lugar, por el zenit y por el nadir.
- **Altura Solar (γ_s):** Angulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal, ángulo complementario del ángulo cenital.
- **Angulo acimutal (ψ_s)** ángulo formado por la proyección del sol sobre un plano del horizonte con la dirección sur. Positivo 0° a 180° y negativo hacia el Este 0° a -180° .
- **Zenit (θ_z)** El ángulo solar cenital es el complementario de la altura solar, es el factor principal que controla la variación de radiación durante el día, cuanto menor sea (θ_z), mayor inclinación tendrá el Sol y los rayos solares llegarán más perpendiculares sobre la superficie horizontal terrestre (mayor flujo radiactivo). A medida que crece el θ_z , el flujo de radiación que llega al plano horizontal terrestre es menor, hasta llegar al límite de θ_z igual a 90° , cuando el sol desaparece por el horizonte y la radiación solar recibida es nula.

La relación trigonométrica entre el Sol y una superficie horizontal de la tierra viene dada por la siguiente ecuación:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega = \sin \gamma_s \quad (2.11)$$

Dónde: δ = ángulo de declinación, ϕ = latitud local, ω = ángulo horario.

- **El ángulo horario (ω)** Es el ángulo que forma con respecto al polo Norte celeste, el meridiano local y el meridiano solar. Por tanto, es igual a 0 en el mediodía solar y aumenta 15° por cada hora, desde el mediodía, siendo positivo por la mañana y negativo por la tarde. El ángulo horario se puede determinar de la siguiente ecuación.

$$\omega = \pm 15^\circ(12 - t_s) \quad (2.12)$$

Donde t_s es tiempo solar (horas); $0 \leq t_s \leq 24$

- **Ángulo de salida del Sol (ω_s)** Este ángulo nos permite hallar el ángulo de salida del sol y así poder determinar la hora en que sale el sol y a la vez la duración del día.

Cuando sale el sol el ángulo cenital es 90° ($\theta_z = 90^\circ$) entonces la ecuación (2.11) resulta:

$$\cos \omega_s = \frac{-\sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \quad (2.13)$$

Despejando se tiene:

$$\omega_s = \cos^{-1}(-\tan \phi \tan \delta) \quad (2.14)$$

Luego se puede determinar la duración del día:

$$N_d = \frac{2}{15} \omega_s \quad (2.15)$$

2.11.6. Irradiancia espectral solar extraterrestre ($I_{0n\lambda}$)

La distribución espectral de radiación llegando fuera de la atmósfera de la tierra tiene mucha importancia en tales aplicaciones como en los sistemas fotovoltaicos de satélites. Un conocimiento de esta distribución provee un aporte al diseño para el mejor ambiente térmico de una nave espacial y pues la selección de materiales adecuados para exponer a la radiación solar. La distribución espectral de la radiación solar llegando en la superficie de la tierra está ciertamente en función de su distribución extraterrestre y los componentes atmosféricos. Esta distribución terrestre es también importante en un número de aplicaciones, para el ejemplo en sistemas fotovoltaicos basados en tierras, la fotosíntesis, la física de la alta atmósfera, el albedo de los procesos terráqueos, y fotoquímicos.

El sol tiene una temperatura altamente variable, lo cual cambia de región en región, y hay una absorción y emisión continua de radiación solar de una región para el otro. Ciclos de manchas solares, que hacen una duración media de aproximadamente 11 años, y otras actividades solares menos previsibles, como

fáculas, las prominencias, y las llamaradas solares, produciendo variaciones espaciales así como también temporales en la distribución espectral de energía radiante dejado por el sol. La irradiancia por consiguiente neta y espectral total es un efecto complejo de todos los elementos mencionados más temprano.

Durante 1968 – 1971 La Administración Nacional de Aeronáutica y Espacio (NASA)

En colaboración con el Centro Mundial de la radiación (WRC) en Davos se coordinó estableció datos de Irradiancia espectral solar extraterrestre según el siguiente cuadro.

Tabla 2 : tabla de irradiación espectral solar extraterrestre adaptada por Frolich and Wehrli.

λ (nm)	$I_{0m\lambda}$ (W/m ² /nm)	λ (nm)	$I_{0m\lambda}$ (W/m ² /nm)
280	0.0906	298	0.5286
281	0.1585	299	0.5024
282	0.2692	300	0.47
283	0.3222	301	0.4693
284	0.3025	302	0.4466
285	0.1865	303	0.6041
286	0.2546	304	0.6278
287	0.3578	305	0.3673
288	0.3225	306	0.6
289	0.4028	307	0.6143
290	0.5596	308	0.666
291	0.611	309	0.6097
292	0.5675	310	0.5055
293	0.55	311	0.7623
294	0.5428	312	0.7005
295	0.5453	313	0.6974
296	0.5731	314	0.7428
297	0.5064	315	0.686

Fuente: (Gueymard, 1995)

2.11.7. Masa de aire óptica relativa (m_a)

Cuando la radiación solar atraviesa la atmosfera esta choca con diferentes partículas o moléculas sustancias esparcidas en toda la atmosfera y gran parte de estas moléculas forman el aire, entonces se puede calcular la cantidad de aire que debe atravesar la radiación solar en su paso por la atmosfera, la solución de este problema fue propuesto por F. Kasten presentando la siguiente ecuación para la masa relativa de aire:

$$m_r = \left[\cos \theta_z + 0.15(93.885 - \theta_z)^{-1.253} \right]^{-1} \quad (2.16)$$

Pero esta ecuación es muy buena cuando estamos a nivel del mar, por lo cual se realiza una corrección aplicable para cualquier localidad.

$$m_a = m_r (P / 1013.25) \quad (2.17)$$

Donde P es la presión atmosférica de la localidad en milibar.

Y para poder determinar la presión atmosférica en un determinado lugar usamos la siguiente ecuación:

$$P = P_o \cdot e^{(-0.0001184z)} \quad (2.18)$$

Donde P_o es la presión atmosférica a nivel del mar ($P_o = 1013.25$ mbar) y “z” es la altura de la localidad sobre el nivel del mar en metros.

2.11.8. Masa de vapor de agua óptica relativa (m_w)

La densidad de vapor en el aire es muy diferente en lugares donde hay aire seco, y tiene diferente concentración en porciones debajo de la atmosfera.

De igual manera que las anteriores ecuaciones, se determina la masa de vapor de agua desarrollado por Kasten:

$$m_w = \left[\cos \theta_z + 0.0548 (92.650 - \theta_z)^{-1.452} \right]^{-1} \quad (2.19)$$

2.11.9. Masa de ozono óptica relativa (m_o)

Al igual que la masa de aire también se puede obtener la masa óptica de ozono, ecuación propuesta por Robinson.

$$m_o = \frac{1 + \frac{z_3}{r_e}}{\left[\cos^2 \theta_z + 2 \left(\frac{z_3}{r_e} \right) \right]^{1/2}} \quad (2.20)$$

Donde z_3 es la altura de concentración de ozono en km de una determinada localidad, r_e es el radio medio de la Tierra ($r_e = 6370$ km) y θ_z es el cenit.

2.11.10. Transmitancia Solar

La transmitancia se define como la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo en determinada cantidad de tiempo. Existen varios tipos de transmitancia, dependiendo de la energía a considerar.

La transmitancia óptica se refiere a cantidad de luz que atraviesa un cuerpo, en una determinada longitud de onda. En el caso de la radiación solar esta transmitancia se observa cuando la luz atraviesa la capa

atmosférica y atraviesa las nubes o partículas en suspensión para ello se hicieron aproximaciones según el tipo de radiación. (Abal, 2010)

2.11.11. Formulación básica de la atenuación de la radiación solar directa

Cuando la radiación solar atraviesa la atmosfera de la tierra gran parte de esta energía es esparcida debido a las partículas suspendidas encontradas en su trayectoria y parte de ella llega a la superficie terrestre a esta radiación se le denomina radiación difusa, y la radiación que llega sin distorsión alguna desde el disco solar se le denomina radiación directa. Para poder calcularla se desarrollaron diversas ecuaciones empiricas propuestas por Pierre Bouguer (1729), Johana Heinrich Lamber (1760) y Augusto Beer (1852) la cual concluye en la siguiente expresión :

$$I_{n\lambda} = I_{0n\lambda} e^{(-k_{i\lambda} m_i)} \tag{2.21}$$

Dónde:

$k_{i\lambda}$: Es el coeficiente de extinción monocromática o de atenuación.

m_i : Es la longitud de alcance óptico (masa óptica).

$I_{0n\lambda}$:Es la irradiancia espectral extraterrestre.

De esta ecuación podemos deducir que la transmitancia adicional a un solo proceso \hat{I} , como:

$$\tau_{i\lambda} = e^{(-k_{i\lambda} m_i)} \tag{2.22}$$

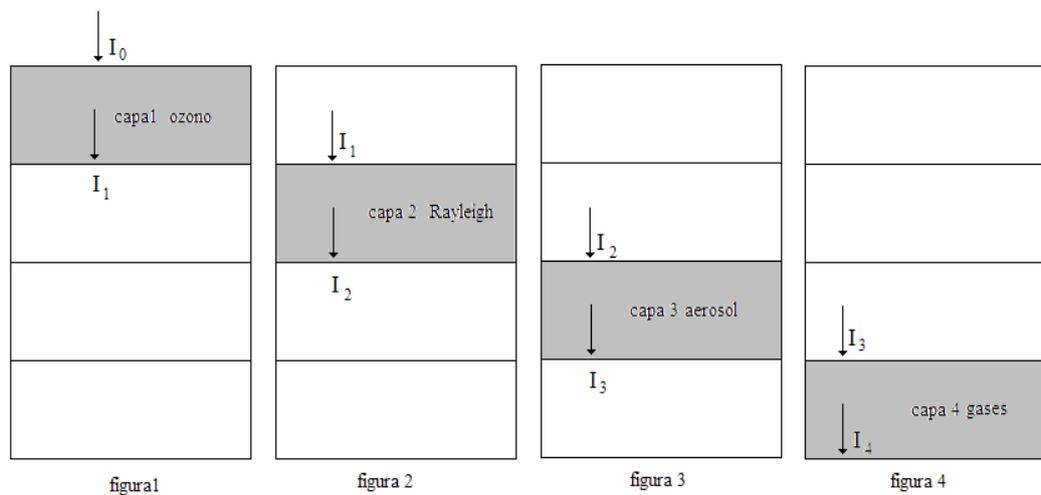


Figura12: Es un cuadro donde se puede ver la atenuación que sufre la radiación solar al atravesar la atmosfera.

Fuente: Elaboración propia.

2.11.12. Irradiación espectral directa

La irradiancia directa espectral en una superficie horizontal $I_{n\lambda}$ a nivel del suelo, a la longitud de onda λ del espectro que abarca la región ultravioleta (280 nm – 400 nm), no es afectada por el vapor de agua H_2O , O_3 y N_3 debido que en esta región del espectro solar no ocurre la absorción de radiación UV. Por tanto podemos determinar esta irradiancia:

$$I_{n\lambda} = I_{on\lambda} E_o \tau_{r\lambda} \tau_{a\lambda} \tau_{o_3} \tau_{g\lambda} \tau_{wa\lambda} \quad (2.23)$$

Dónde:

$I_{on\lambda}$: Es la constante solar espectral a distancia media Tierra- Sol.

E_o : Es el factor de corrección para la distancia Tierra – Sol.

$\tau_{r\lambda}$: Es la transmitancia de Rayleigh.

$\tau_{a\lambda}$: Es la transmitancia de los aerosoles

τ_{o_3} : Es la transmitancia del ozono.

$\tau_{g\lambda}$: Es la transmitancia de los gases CO_2 y O_2 .

$\tau_{wa\lambda}$: Es la transmitancia del vapor de agua

θ_z : Es el ángulo cenital.

2.11.13. Transmitancia de la dispersión de Rayleigh($\tau_{r\lambda}$)

La dispersión o esparcimiento por moléculas de aire descrito por la teoría de Rayleigh está basada en la suposición que la dispersión de las partículas es esférica, y que son menores de 0.2λ de diámetro, según LECKNER se presentó la siguiente ecuación:

$$k_{rl} = 0.008735\lambda^{-4.08} \quad (2.24)$$

Por lo cual la transmitancia de Rayleigh estará dada por:

$$\tau_{r\lambda} = e^{(0.008735\lambda^{-4.08} \cdot m_a)} \quad (2.25)$$

Donde m_a es la masa relativa de aire a la presión actual que puede determinarse por la ecuación (2.17) (Kasten, 1966).

2.11.14. Transmitancia espectral del aerosol atmosférico

El espesor óptico de la capa del aerosol atmosférico k_{at} depende tanto de las propiedades de dispersión como de las de absorción, las que a su vez dependen de su microestructura (espectro de tamaños y composición química). Más aun, dado que el espesor óptico es un parámetro integral (en la vertical), este depende también de la concentración.

La teoría de Mie de la dispersión del vapor de agua y las partículas de polvo nos permite hacer estimaciones de k_{at} , para modelos simples de partículas que forman el aerosol atmosférico, en particular si consideramos que las partículas son esféricas con un concepto de tamaños que siguen una ley potencial (Junge) y con un índice de refracción cuya parte imaginaria es pequeña (despreciable); con estas consideraciones se puede obtener un espectro óptico, cuya dependencia con la longitud de onda de la radiación incidente es posible expresar como fórmula similar a la del espesor óptico del aire puro y seco (Rayleigh), a la que se le llama Ley de Angstrom y se escribe como sigue.

$$k_{at} = \beta \lambda^{-\alpha} \quad (2.26)$$

β es el coeficiente de turbiedad que varía entre 0 y 0.4, α es un coeficiente relacionado con la forma de distribución de las partículas que varía entre 0.5 y 2.5. por tanto la ecuación de la transmitancia espectral del aerosol estará dada por:

$$\tau_{a\lambda} = e^{(-\beta \lambda^{-\alpha} m_a)} \quad (2.27)$$

Los valores de λ y β se pueden determinar experimentalmente pero según los trabajos en la bibliografía (Cañada, 1993; Gueymard, 1998; Gueymard y Garrison, 1998, Louche, 1987, Iqbal, 1983, Wright, 2003). Donde $\alpha = 1.3$ y $\beta = 0.15$ por considerarse cielo libre de partículas o contaminantes.

2.11.15. Transmitancia de ozono

Vigroux (1953) presentó una formula apropiada de la ley de Bouguer para calcular la transmitancia τ_{o_3} para el ozono de la siguiente forma:

$$\tau_{o_3} = e^{(-k_{o_3}l m_o)}$$

(2.28)

Donde k_{o_λ} es coeficiente de atenuación para la absorción del ozono determinada por Leckner(1978).

Tabla 3: Coeficiente de absorción espectral para ozono disponible en el apéndice de (Gueymard, 1995)

λ (nm)	k_{o_λ} (cm ⁻¹)	λ (nm)	k_{o_λ} (cm ⁻¹)
280	105	298	12.5
281	94.4	299	11.1
282	84.7	300	9.52
283	79.2	301	8.29
284	71.2	302	7.29
285	63.5	303	6.22
286	57.7	304	5.58
287	52.1	305	4.69
288	45.2	306	4.2
289	40.5	307	3.59
290	36.1	308	3.12
291	32.3	309	2.82
292	27.8	310	2.31
293	25	311	2.11
294	21.6	312	1.78
295	19.2	313	1.53
296	16.4	314	1.39
297	14.6	315	1.12

Fuente: libro de (Gueymard, 1995)

El ozono está distribuido en todo el espacio atmosférico alrededor del planeta pero a partir de los 15 km a 50 km de altitud está concentrado la mayor cantidad de ozono, y si se comprime todo este ozono a condiciones normales se obtiene un espesor (l), Este espesor es calculado por la NASA en Unidades Dobson en donde una Unidad Dobson (UD) equivale a 0.01 mm de espesor de ozono comprimido (por ejemplo 300 UD = 3mm=0.3cm).

Para calcular el espesor de la columna de ozono (l) accedemos a la página libre en internet <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/> ingresando la latitud y longitud del lugar a investigar en este caso la localidad de Upina, y los datos medidos fueron los siguientes.

Tabla4: Se muestra los valores del espesor de ozono desde el 26 de mayo al 31 de agosto del 2014 en Unidad Dobson (UD)

DIA	MAYO	DIA	JUNIO	DIA	JULIO	DIA	AGOSTO
1		1	244	1		1	256
2		2	244	2		2	268
3		3	248	3		3	265
4		4	248	4		4	260
5		5	240	5		5	260
6		6	248	6		6	260
7		7	252	7		7	258
8		8	252	8		8	246
9		9	252	9		9	250
10		10	241	10		10	262
11		11	239	11		11	262
12		12	238	12		12	259
13		13	234	13		13	259
14		14	237	14		14	262
15		15	246	15		15	262
16		16	264	16		16	266
17		17	248	17	255	17	264
18		18	248	18	250	18	258
19		19	250	19	251	19	258
20		20	250	20	252	20	262
21		21	244	21	254	21	262
22		22	249	22	256	22	266
23		23	251	23	242	23	270
24		24	243	24	244	24	260
25		25	243	25	245	25	265
26	239	26		26	246	26	263
27	244	27		27	246	27	262
28	242	28		28	254	28	261
29	239	29		29	255	29	262
30	244	30		30	253	30	259
31	244	31		31	256	31	262

Fuente: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/>, para la localidad de Upina.

Tabla 5: Se muestra los valores del espesor de ozono desde el 01 de setiembre al 31 de diciembre del 2014 en Unidad Dobson (UD)

DIA	SETIEMBRE	DIA	OCTUBRE	DIA	NOVIEMBRE	DIA	DICIEMBRE
1	264	1	269	1	259	1	248
2	268	2	263	2	258	2	249
3	262	3	266	3	263	3	249
4	263	4	267	4	260	4	255
5	262	5	268	5	253	5	264
6	262	6	267	6	258	6	262
7	272	7	265	7	258	7	256
8	273	8	265	8	257	8	256
9	259	9	265	9	258	9	258
10	260	10	261	10	254	10	251
11	268	11	261	11	262	11	252
12	264	12	262	12	256	12	255
13	260	13	265	13	257	13	253
14	260	14	254	14	264	14	248
15	257	15	256	15	256	15	249
16	261	16	256	16	256	16	255
17	258	17	256	17	265	17	247
18	259	18	265	18	265	18	250
19	265	19	265	19	263	19	250
20	265	20	264	20	252	20	250
21	256	21	255	21	262	21	253
22	260	22	257	22	252	22	247
23	269	23	256	23	254	23	245
24	256	24	257	24	252	24	245
25	264	25	253	25	254	25	246
26	262	26	258	26	249	26	240
27	270	27	258	27	248	27	245
28	270	28	259	28	248	28	241
29	265	29	269	29	248	29	245
30	262	30	260	30	257	30	237
31		31	263	31		31	240

Fuente: <https://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/>, para la localidad de Upina.

2.11.13. Transmitancia de los gases uniformemente mixtos y el vapor de agua.

La transmitancia debido a los gases CO_2 y O_2 , además del vapor de agua suspendido en todo el cielo, tiene sus efectos para longitudes de onda mayores a 690 nm, los cuales para la investigación realizada se

analizó longitudes de onda desde los 280 nm hasta los 400 nm, para lo cual ignoramos estas transmitancias.

2.11.14. Radiación ultravioleta difusa espectral en el suelo

La radiación difusa al llegar al suelo después del su primer paso a través de la atmosfera conjuntamente con la radiación directa es en parte reflejada por el suelo. Esta radiación reflejada del suelo hacia el espacio, después, es parcialmente reflejada de nuevo hacia el suelo por la atmosfera, este proceso continua de manera indefinida. Esta reflexión múltiple entre el suelo y la atmosfera está compuesta en tres partes.

$$I_d = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda} \quad (2.29)$$

Estas variables están expresadas por ecuaciones dadas en IQBAL(1983) Dónde:

- $I_{dr\lambda}$ es irradiancia difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh.

$$I_{dr\lambda} = I_{0n\lambda} \cos \theta_z \tau_{ma\lambda} [0.5(1 - \tau_{r\lambda}) \tau_{a\lambda}] \quad (2.30)$$

Donde $\tau_{ma\lambda}$ es la transmitancia total debido a las absorciones moleculares expresada como:

$$\tau_{ma\lambda} = \tau_{0\lambda} \tau_{g\lambda} \tau_{wa\lambda} = \tau_{0\lambda} \quad (2.31)$$

Recordando que las transmitancias producidas por los gases y el vapor de agua es despreciable.

- $I_{da\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por los aerosoles.

$$I_{da\lambda} = I_{0n\lambda} \cos \theta_z \tau_{ma\lambda} [F_c W_0 (1 - \tau_{a\lambda}) \tau_{r\lambda}] \quad (2.32)$$

Se asume que los factores F_c y W_0 son invariantes con respecto a la longitud de onda λ . F_c se define como el cociente entre la energía dispersada en la dirección entrante y la energía dispersada total; W_0 es la dispersión simple del albedo definido como el cociente entre la energía dispersada y la energía total atenuada por los aerosoles (sin dimensiones). Para aerosoles no absorbentes asumiremos que $W_0 = 1$ (Iqbal, 1983). Se utilizaron los datos de F_c y θ_z dados por Robinson (1962) para obtener la siguiente expresión para cualquier hora del día:

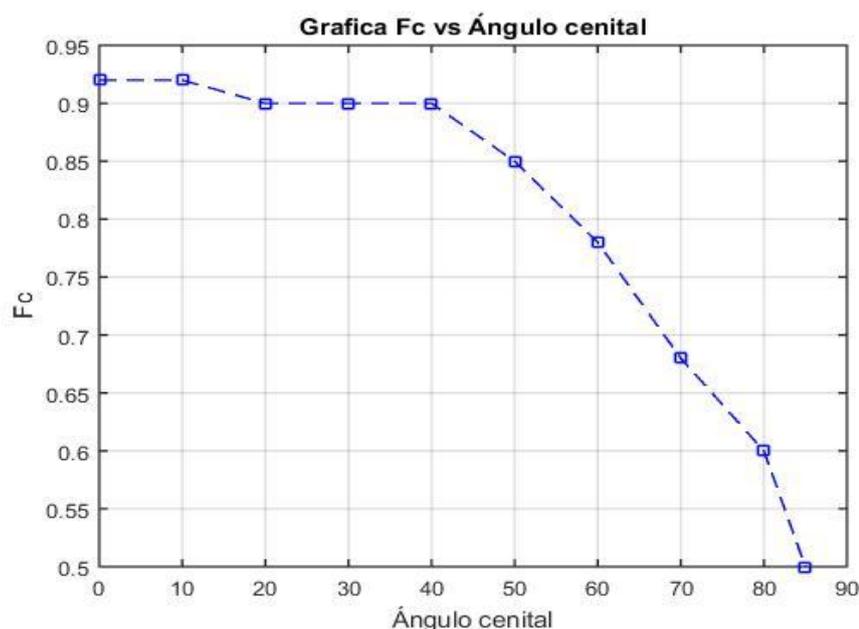
Tabla 6: Los valores de F_c para diferentes cenits, adaptado por G.D. Robinson

θ_z	0	10	20	30	40	50	60	70	80	85
F_c	0.92	0.92	0.9	0.9	0.9	0.85	0.78	0.68	0.6	0.5

Fuente: Iqbal, 1983

Realizando un ajuste mediante la grafica

Gráfica 3: Comportamiento de F_c respecto al ángulo cenital



Fuente: Elaboración propia.

Deducimos la ecuación que permita calcular F_c a cualquier hora del día:

$$F_c = -9 \times 10^{-5} \theta_z^2 + 0.0033 \theta_z + 0.9003 \quad (2.33)$$

- $I_{dm\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por las múltiples reflexiones entre el suelo y la atmosfera.

Definamos primero el albedo de la atmosfera, el cual constituye la componente difusa reflejada de nuevo al espacio. Se obtiene en forma aproximada como:

$$\rho_{a\lambda} = \tau_{ma\lambda} \left[0.5(1 - \tau_{r\lambda}) \tau_{a\lambda} + (1 - F_c) w_0 (1 - \tau_{a\lambda}) \tau_{r\lambda} \right] \quad (2.34)$$

La irradiación difusa resultante de múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera, es definida de la siguiente forma:

$$Q_{\lambda} = (I_{dr\lambda} + I_{da\lambda}) + I_{n\lambda} \cos \theta_z \quad (2.35)$$

De aquí la se tiene:

$$I_{dm\lambda} = Q_{\lambda} \left(\frac{\rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right) \quad (2.36)$$

Según referencia bibliográfica a $\rho_{g\lambda} = 0.2$, si estuviéramos cubiertos de nieve $\rho_{g\lambda} = 0.7$ que sería el valor máximo que tendría. Pero dado para la localidad de Upina, se usó el valor mínimo. Por tanto la ecuación (2.29)

$$I_{d\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda}$$

Combinando la ecuación (2.35) y (2.36) podemos tener:

$$I_{dm\lambda} = \left[(I_{dr\lambda} + I_{da\lambda}) + I_{n\lambda} \cos \theta_z \right] \left(\frac{\rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right)$$

$$I_{d\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda} \Rightarrow I_{dm\lambda} = I_{d\lambda} - (I_{dr\lambda} + I_{da\lambda})$$

$$I_{d\lambda} - (I_{dr\lambda} + I_{da\lambda}) = \left[(I_{dr\lambda} + I_{da\lambda}) + I_{n\lambda} \cos \theta_z \right] \left(\frac{\rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right)$$

Luego queda:

$$I_{d\lambda} = (I_{dr\lambda} + I_{da\lambda}) \left(\frac{1}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right) + I_{n\lambda} \cos \theta_z \left(\frac{\rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right) \quad (2.37)$$

2.11.15. Radiación ultravioleta solar global en el suelo.

Es así que la radiación ultravioleta integrada en el rango de 280 nm a 400 nm puede determinarse de la siguiente forma:

$$I_{global} = I_{\lambda} = I_{n\lambda} \cos \theta_z + I_{d\lambda} \quad (2.38)$$

Ecuación fundamental para determinar el modelo espectral de radiación ultravioleta solar. (Iqbal, 1983)

2.12. MODELO ESPECTRAL DE INTEGRACIÓN

Para poder dar a conocer la radiación solar ultravioleta en el suelo es necesario hacer una respectiva integración de manera espectral, es decir tomando en cuenta todo el barrido de la longitud de onda.

La irradiación espectralmente directa integrada en una superficie normal para los rayos del sol en un determinado ancho de banda y en distancia terráquea promedio esta dado así:

$$I_n \Big|_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda=\lambda_2} = \sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda=\lambda_2} I_{0n\lambda} \tau_{\lambda} \Delta\lambda \quad (2.39)$$

Donde $I_{0n\lambda}$ es obtenida de la tabla 2, y la transmitancia τ_{λ} está dada por la ecuación siguiente:

$$\tau_{\lambda} = \tau_{r\lambda} \tau_{a\lambda} \tau_{o\lambda} \quad (2.40)$$

Paralelamente al método anterior la irradiación difusa integrada puede verse de la siguiente manera.

$$I_d \Big|_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda=\lambda_2} = \sum_{\lambda=\lambda_1}^{\lambda=\lambda_2} I_{d\lambda} \Delta\lambda \quad (2.41)$$

De las ecuaciones (2.39) y (2.40), La irradiancia global en una superficie horizontal en la distancia terráquea del sol está dada por:

$$I = I_n \cos \theta_z + I_d \quad (2.42)$$

2.13. TEOREMA DEL VALOR PROMEDIO DE UNA FUNCIÓN

Definición: Si la función f es integrable en un intervalo cerrado $[a, b]$

entonces el valor promedio de f en $[a, b]$ es:

$$\bar{f} = \frac{\int_a^b f(x) dx}{b-a} \quad (2.43)$$

Los valores numéricos de la radiación ultravioleta solar tienen un orden creciente en horario de la mañana y un orden decreciente en el horario de la

tarde por tanto la curva que se describe es una especie de campana por lo cual para hallar el valor promedio de radiación registrado en un día, hace necesario recurrir a la definición del valor promedio.

Para poder integrar los datos de radiación solar ultravioleta se recurrirá a un comando del software MATLAB llamado: “trapz” que se encarga de integrar datos en un determinado intervalo.

2.14. FACTOR DE CORRELACIÓN

Todas las mediciones obtenidas por cálculos matemáticos o experimentales son valores promedios con algún margen de error, definitivamente la medición experimental tiene mayor aceptación por lo cual al ser comparada con mediciones a partir del modelo matemático es necesario evaluar el grado de desconfianza o error entre ellos.

- **Error Medio Relativo (MBE)**

El MBE es una indicación de la desviación media de los valores previstos de los valores medidos. Definida por:

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)}{N} \quad (2.44)$$

Donde y_i es el valor predicho y x_i es el valor medido y N es el número de observaciones, lo ideal es que MBE debería ser cero.

- **Error Cuadrático Medio (RMSE)**

El RMSE es una medida de la variación de los valores predichos alrededor de los valores medidos. Definida por:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - x_i)^2}{N} \right]^{1/2} \quad (2.45)$$

El RMSE es siempre positivo, de ser igual a cero es lo ideal. Puede observarse que unas pocas variaciones de la cantidad calculada y la radiación medida puede aumentar sustancialmente el RMSE.

- **Coefficiente de correlación (r)**

Es una prueba de relación lineal entre el valor calculado y el valor medido. Definido por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})(x_i - \bar{x})}{\left\{ \left[\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \right] \right\}^{1/2}} \quad (2.46)$$

Donde \bar{y} es el valor promedio predicho y \bar{x} es el valor promedio medido, lo ideal es que “r” sea igual a 1.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación denominada “Caracterización y modelización de la radiación ultravioleta solar aplicado en Upina, Puno - 2014”, es de tipo explicativo y descriptivo por las siguientes razones:

- **Investigación descriptiva:** La investigación tiene por objeto realizar la caracterización de la radiación ultravioleta solar en Upina del año 2014, lo cual consta de mostrar el comportamiento de la radiación solar ultravioleta en el transcurso del día, describiendo los máximos y mínimos, cuyos datos fueron registrados por una estación meteorológica del SENAMHI, y durante casi todo el año,
- **Investigación Explorativa:** Existe muy poca investigación sobre radiación solar ultravioleta a nivel zonal, regional hasta nacional, la presente investigación buscó la recolección de datos para tanto en radiación ultravioleta solar como el índice ultravioleta solar, y que estas sean comparadas con los datos obtenidos por el modelo matemático.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que recoge datos experimentales que posteriormente serán analizados para realizar su respectiva caracterización y luego poder servir como datos de comparación frente a un modelo espectral de radiación ultravioleta solar. Por lo que se utilizó el método experimental

- **Método experimental:** Para cumplir con los objetivos propuestos se tomó las siguientes consideraciones:

PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR EN UPINA DESDE EL 26 DE MAYO AL 31 DE DICIEMBRE DEL 2014

- a) Recopilación de datos de la estación meteorológica administrada por el SENAMHI, de la localidad de Upina.
- b) Clasificación de los datos agrupando por meses y horas registradas en una hoja de cálculo (Excel).
- c) Realizar un análisis estadístico descriptivo en la misma hoja de cálculo para cada tipo de radiación ultravioleta registrada.
- d) Exportar datos al software MATLAB para obtener graficas del comportamiento de la radiación ultravioleta y asu vez almacenar estos datos para luego realizar comparaciones.

- e) Caracterizar la radiación ultravioleta de tipo A y luego la de tipo B, mostrando su comportamiento a lo largo del año, tabla de frecuencias, máximos, mínimos, y gráficas.

PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR Y DETERMINAR EL ÍNDICE ULTRAVIOLETA SOLAR PARA CIELOS CLAROS EN UPINA.

- f) Se elaboró un marco teórico y marco conceptual buscando bibliografía adecuada encontrándose investigaciones similares en países como España, Costa Rica, México, Bolivia, Chile y Argentina, tomando como referencia principal a los autores Muhammad Iqbal de AnIntroduccion To Solar Radiation y Christian Gueymard de SMARTS2, A Simple Model of theAtmosphericRadiative, Transfer of Sunshine.
- g) Se construye el modelo espectral recopilando formulas, ecuaciones deducidas o también recopiladas de los autores de la bibliografía citada.
- h) Programar las ecuaciones en MATLAB, en donde las únicas variables a ingresar para el cálculo de la radiación ultravioleta y el índice ultravioleta sea el día juliano y el espesor de ozono.
- i) Realizar los cálculos con el modelo matemático en el ordenador, clasificarlo para luego hacer las comparaciones.

PARA COMPARAR LOS DATOS REGISTRADOS EXPERIMENTALMENTE DE ÍNDICE ULTRAVIOLETA SOLAR Y DATOS ESTIMADOS MEDIANTE EL MODELO MATEMÁTICO.

- j) Una vez obtenida la radiación ultravioleta B medida por el SENAMHI y la radiación calculada con el modelo matemático se procede a hacer las comparaciones y determinar el margen de error o desviación.
- k) Se formula el cálculo del índice ultravioleta a partir de la radiación ultravioleta B, ya determinada, con las ecuaciones propuestas por la CIE, todo esto en MATLAB.
- l) Se realizan los cálculos y las respectivas comparaciones con los datos obtenidos por el SENAMHI.

PARA DISEÑAR UN PROGRAMA EJECUTABLE.EXE PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR Y EL ÍNDICE ULTRAVIOLETA SOLAR.

- m) Se debe tener instalado el software MATLAB, y realizar un diagrama de flujo sobre el modelo matemático.
- n) Realizar el ejecutable que debe ser de fácil manejo para un usuario común, en donde va a calcular el índice ultravioleta para cualquier día del 2014.
- o) Para finalizar la investigación se realiza la discusión de lo obtenido con los antecedentes estudiados.
- p) Se elaboró las conclusiones y recomendaciones de la investigación realizada.

3.3. SISTEMA DE VARIABLES

De acuerdo a la hipótesis planteada se han identificado 2 variables independientes y 2 variables dependientes.

3.3.1. Variables independientes

- Radiación ultravioleta solar global registrada en la estación meteorológica SENAMHI.
- Modelo matemático espectral de radiación ultravioleta solar.

3.3.2. Variables dependientes

- Caracterización de la radiación ultravioleta solar en Upina.
- Determinación del índice ultravioleta solar a partir del modelo espectral.

3.4. CARACTERISTICAS DE LA ESTACIÓN DE MEDIDA

Las coordenadas del lugar de medición obtenida por SENAMHI:

Lugar de medición	Centro Poblado de UPINA
Distrito	Ituata
Provincia	Carabaya
Departamento	Puno
Latitud	-13.87° Latitud Sur
Longitud	-70.09° Longitud Oeste
Altitud	3960 msnm

3.5. INSTRUMENTOS PARA LA RECOLECCION DE DATOS.

La estación meteorológica instalada por el SENAMHI en mayo del 2014 en el centro poblado de Upina, marca VAISALA , modelo MAWS – 300, consta de muchos sensores de medición meteorológica entre ellas sensores de radiación solar global en los modelos SP Lite2, CMP3, CMP6, la cual registro datos desde mayo a diciembre en tiempo continuo. (Después de su instalación tuvo fallas pero luego de 15 días fue reparada sin registrar falla alguna durante el año.)



Figura13: Estación meteorológica modelo VAISALA, en el centro poblado de UPINA.

- Una computadora para la clasificación de los datos recolectados, y la obtención de datos mediante el modelo matemático.
- Software Excel que consta de una hoja de cálculo donde se puede realizar la caracterización de la radiación ultravioleta solar.
- Software Matlab utilizamos este software para la programación de las ecuaciones matemáticas propuestas en el modelo espectral de radiación ultravioleta solar y posteriormente hacer las respectivas integraciones, se optó por este software por ser de fácil manejo ya que proporciona mayor cantidad de herramientas para hacer los cálculos.
- Internet para tener acceso a los datos del espesor de la capa de ozono proporcionados por la NASA.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACION ULTRAVIOLETA TIPO A (UVA)

La importancia de caracterizar la radiación ultravioleta tipo A, radica en que también, forma parte del eritema de la piel aunque su efecto es menor en comparación con la radiación ultravioleta de tipo B, la UVA constituye el 20 % de los daños biológicos (Cabrera Morales y Lopez Nevot, 2006).

4.1.1 Valores promedios registrados de UVA desde 6:00 h hasta 18: 00 h.

En el siguiente cuadro se representan los valores promedios de la radiación ultravioleta tipo A, registrado desde el 26 de Mayo hasta el 31 de diciembre del 2014, donde las unidades de medida de la radiación ultravioleta tipo A esta en W/m^2 ; el horario de medición fue desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m. en hora local, cabe mencionar que en algunos días no hubo registro debido al mantenimiento del equipo de medición.

Tabla 7: Valores promedios de UVA desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014 en W/m^2 .

DIA	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE
1		21.456		21.672	27.108
2		19.872		21.924	27.756
3		21.096		23.22	25.452
4		20.394		23.328	12.906
5		20.196		23.58	13.716
6		20.682		23.796	18.9
7		21.312		18.504	28.404
8		21.204		15.858	27.036
9		21.654		21.312	25.758
10		9.18		24.228	23.13
11		20.556		22.284	
12		21.456		20.898	11.898
13		12.96		20.736	18.666
14		17.586		18.054	17.676
15		19.21		25.146	30.438
16		20.052		24.426	26.514
17		20.286	11.25	24.12	31.842
18		20.088	19.926	12.942	27.954
19		20.232	17.928	21.564	22.266
20		19.818	16.434	25.29	19.314
21		19.566	19.368	25.056	13.392

22		20.232	22.194	25.542	22.194
23		20.682	22.356	25.992	31.464
24		20.826	22.14		18.234
25		14.85	18.252	22.302	16.56
26	22.12		22.806		26.532
27	21.89		19.494	20.358	26.586
28	26.24		23.4	18.324	11.646
29	21.65		21.582	17.154	28.458
30	22.03			23.364	30.528
31	21.83		22.428	25.992	
PR	22.63	19.42	19.97	21.96	22.84

“Continuación”

DIA	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	28.134	29.142	10.332
2	15.264	18.504	26.622
3	25.578	25.164	11.214
4	11.952	35.154	20.862
5	22.986	23.058	33.498
6	17.604	27.774	31.086
7	17.532	35.784	19.404
8	24.282	36.09	26.334
9	26.55	24.768	21.06
10	28.152	6.786	26.55
11	22.77	28.782	22.68
12	25.974	20.106	33.102
13	27.666	13.194	25.794
14	27.144	17.892	14.634
15	33.678	23.13	16.272
16	31.824	29.934	22.446
17	34.524	29.52	15.804
18	24.048	20.718	14.184
19	28.98	25.632	16.056
20	21.582	5.472	20.718
21	19.152	24.048	11.808
22	21.096	28.026	18.252
23	16.614	13.842	20.646
24	30.384	26.586	22.122
25	24.786	21.456	28.836
26	24.912	8.532	26.784
27	26.496	27.936	19.98
28	22.644	23.292	14.256
29	31.05	29.7	34.128
30	27.954	36.108	16.92
31	8.244		22.95
PR	24.18	23.87	21.46

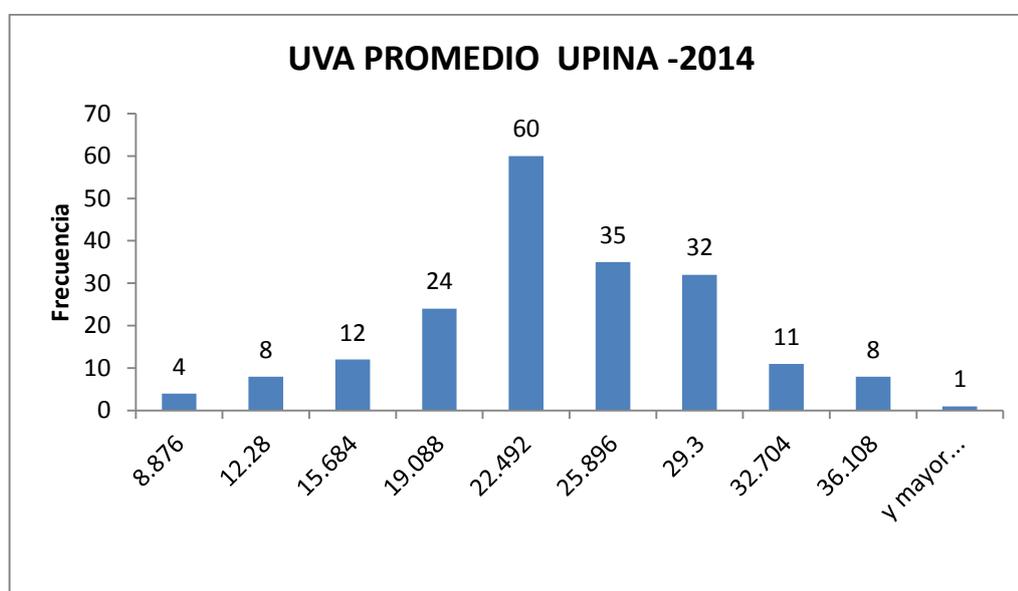
Fuente: Elaboración propia.

Los números resaltados con negrita son el promedio mensual de UVA.

La localidad de Upina, se ubica muy cerca a la parte selva, por tanto podríamos esperar que algunos días pudieran estar nublados o parcialmente nublados, para identificar estos días bastara con realizar una gráfica de frecuencias de los valores promedios de UVA, la que tenga mayor frecuencia representara los días claros, los de menor frecuencia los días nublados y los de frecuencia intermedia los días parcialmente nublados.

A continuación se muestra el histograma de frecuencias de UVA registrados desde mayo a diciembre del 2014.

Gráfica 4: Frecuencias de radiación UVA promedios en Upina - 2014



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Valores Máximos de UVA.

Los valores máximos de la intensidad de radiación solar ultravioleta se dan en horario desde las 10: 00 am hasta la 3: 00 pm, para nuestro caso buscamos el mayor valor registrado de cada día.

Tabla 8: Valores máximos de UVA, desde 26 de Mayo al 31 Diciembre del 2014
en W/m^2 .

DIA	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE
1		25.6		25.8	33.6
2		23.6		25.7	30.9
3		25.2		27.8	33.3
4		24.6		27.6	19.3
5		25.1		28	18.2
6		25.1		29.4	29.9
7		25.4		29.4	32.8
8		25.7		20.7	32
9		26.9		32.7	33.4
10		9.9		29.1	30.9
11		24.8		28.4	18.8
12		26		29.9	18.8
13		14.2		25.4	22.1
14		22.3		27.3	24.9
15		22.6		29.5	34.9
16		24.1		28.5	28
17		24.4	13.8	28.6	35.9
18		24.3	25.6	18.6	34.8
19		24.7	24.3	27.3	35.6
20		23.9	23.6	29.6	24.6
21		25.7	25.6	29.1	16.5
22		24.3	26.5	29.7	25.2
23		25.1	28.9	30.6	38
24		25.1	27.5	29.6	23.9
25		19.8	20.5	29.6	25.7
26	26.4		27.8	25	33.3
27	26.1		27.2	25	36
28	25.9		27.5	23	18.7
29	26		27	24	38.5
30	26.2			33.8	36.9
31	26.2		26.6	33.1	
MAX	26.40	26.90	28.90	33.80	38.50

“Continuación”

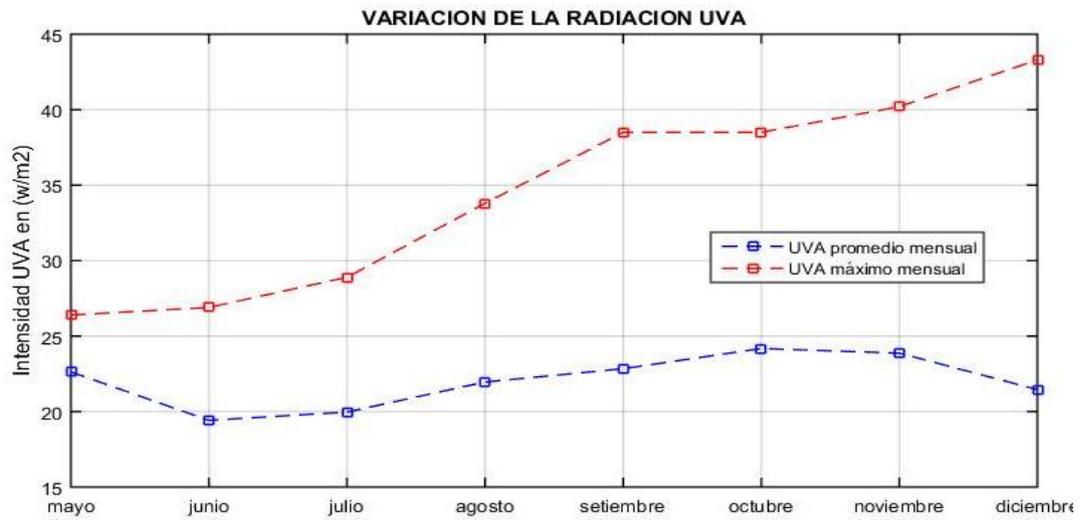
DIA	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	32	36.3	18.2
2	20.5	21.9	37.9
3	34.4	33.2	13.4
4	20.5	37.8	21.5
5	23.9	35	36.2

6	22.2	29.7	38.4
7	24.3	37.9	30
8	32.1	37.6	38.7
9	35	30.1	25.6
10	33.8	10.4	29.6
11	29.6	36.7	32.6
12	32.3	27.5	38.2
13	32.9	14.8	34.4
14	35.3	22.4	22.8
15	37.4	29.4	20.7
16	37.4	40.2	40.6
17	37	39.3	21.7
18	27.1	27.6	32.1
19	37.2	31.6	25.2
20	28.8	7.9	21.7
21	24.1	31.7	22.7
22	30.5	31.4	18.1
23	20.1	18.2	25.2
24	37.3	30.7	31.8
25	29.2	27.1	29.3
26	36.2	10.9	41.7
27	30.3	37.7	25.1
28	30.5	29.5	15.4
29	38.5	34.5	43.3
30	29.8	38.2	20
31	13.4		25.3
MAX	38.50	40.20	43.30

Fuente: Elaboración propia

En la parte inferior de la tabla 7, tenemos la intensidad UVA promedio de cada mes y en la tabla 8 también se tiene los valores máximos de UVA de cada mes, para poder tener una idea del comportamiento de la intensidad UVA desde mayo hasta diciembre del 2014 , lo representamos mediante una gráfica siguiente:

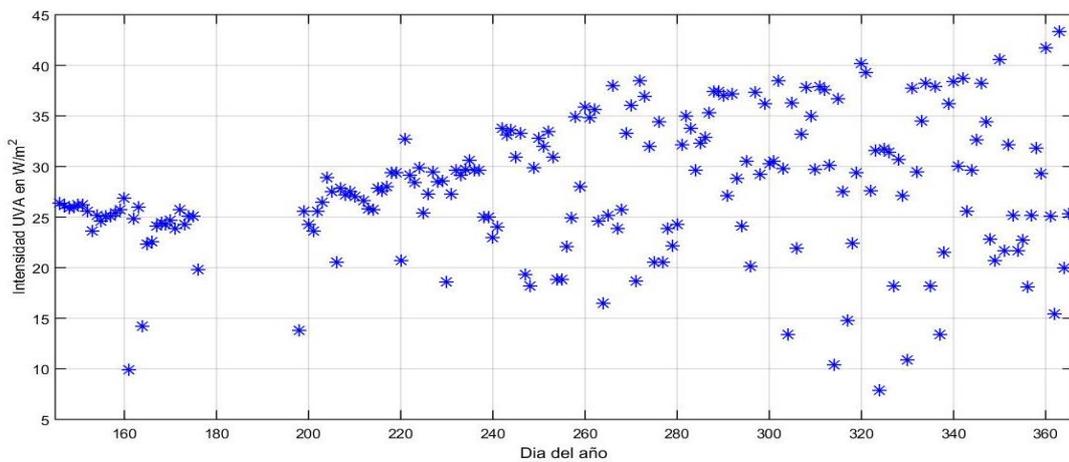
Gráfica 5: Comportamiento de la radiación UVA, promedio mensual y los máximos registrados desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014



Fuente: Elaboración propia

Durante la medición de radiación ultravioleta (UVA, UVB e IUV), por ser por primera vez que se instaló el equipo de medición se tuvo algunos problemas como por ejemplo la calibración de la hora de registro, fallas con la fuente de alimentación y esto conllevó a que no se pudo registrar datos continuamente, los cuales los meses de Junio y Julio se tiene medidas incompletas, pero a pesar de tal inconveniente podemos representar mediante una gráfica las mediciones realizadas durante el 2014.

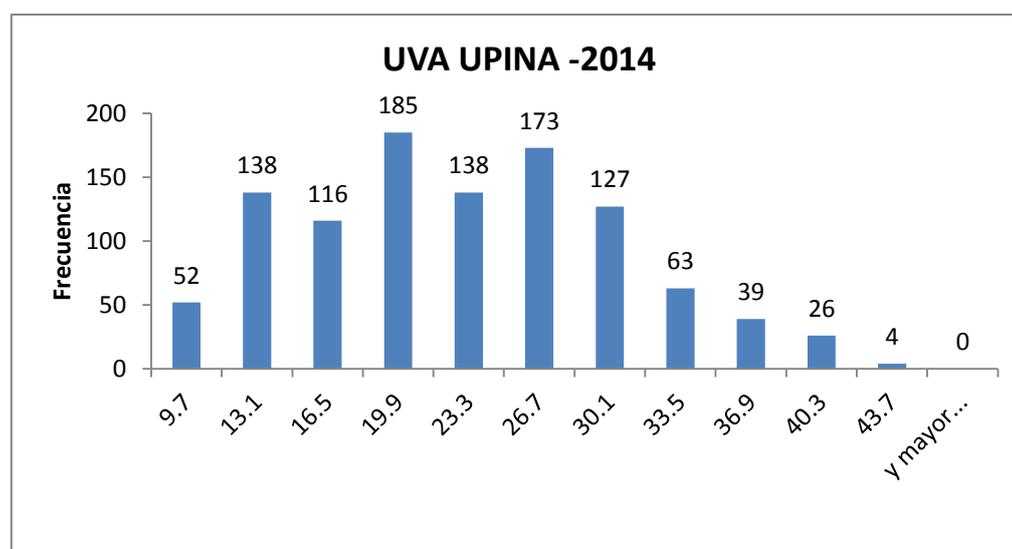
Gráfica 6: Comportamiento anual de la radiación UVA máxima, desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014



Fuente: Elaboración propia

La intensidad de radiación ultravioleta es mayor o de valores considerables en las horas desde las 10:00 a.m. hasta las 3:00 p.m., por tal motivo se presenta una gráfica de frecuencias de las intensidades de radiación UVA registradas desde mayo hasta diciembre del 2014, habiéndose considerado 1061 datos.

Gráfica 7: Histograma de frecuencias de radiación UVA registrados desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014



Fuente: Elaboración propia.

ANALISIS 01

- Luego de clasificar los valores promedios de radiación UVA registrado, se observa en la figura 18 el valor de 22.492 W/m² es el más recurrente representando el 30% de los datos registrados se podría esperar que esos días son los más comunes en UPINA, y hay 8 días donde aproximadamente la radiación llegó a 30.08 W/m² siendo uno de los valores máximos presentados en UPINA, representando el 4% de los datos registrados. De la figura 18, también se puede ver que la dispersión del promedio mensual de la radiación ultravioleta es de 1.7, lo cual indica que el promedio de radiación no sufre variaciones elevadas desde el 26 de mayo al 31 de diciembre.
- Al clasificar los valores máximos de radiación UVA de cada día y mensualmente, que generalmente se registran en horario de las 11:00 a.m. hasta la 1:00 p.m., se observa que hay una tendencia creciente de los valores promedios registrados como se observa en la figura 17, habiendo un

incremento del 64% en comparación con el máximo valor registrado en el mes de mayo, esto podría ser porque las mediciones se realizaron a fines de mayo cerca al solsticio de invierno (la tierra se encuentra más alejada del Sol) se incrementa a medida que la tierra se acerca al Sol, hasta llegar al solsticio de verano, en donde también debería disminuir la radiación ultravioleta, estas mediciones no fueron realizadas .

- También se encontró que la intensidad de radiación ultravioleta presenta sus máximos valores entre las 10:00 a.m. y las 3:00 p.m., para ello observando la figura 19, se realizó un análisis estadístico de todos estos datos encontrando que la intensidad de 19.9 W/m^2 es la más recurrente pero muy cercanos a esta medida están las intensidades de 26.7 W/m^2 lo cual puede concordar con el 22.492 W/m^2 promedio , a su vez se observa máximos de 40.3 W/m^2 que representan el 2.5% de las radiaciones consideradas desde mayo a diciembre del 2014.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACION ULTRAVIOLETA TIPO B (UVB)

La radiación UVB es la principal componente para determinar el Índice Ultravioleta y a su vez tiene mucha importancia por ser causante del 80 % del daño biológico en la piel humana, cabe resaltar que esta radiación puede actuar sin la necesidad de participar la radiación infrarroja es decir que la radiación UVB puede estar actuando y no sentimos sensación de calor.

4.2.1. Valores promedios de UVB registrados desde las 6:00 h hasta las 18:00 h

Para poder analizar se realizó una clasificación del valor promedio de radiación UVB registrado desde las 6:00 a.m. hasta las 6:00 p.m., diario y mensual lo cual mostramos en la tabla 8, algunos casilleros se encuentran vacíos por motivo de que ese día no se registraron datos ya explicados anteriormente.

Tabla 9: Radiación UVB promedio, registrado desde 26 de Mayo hasta 31 de Diciembre del 2014 en W/m²

DIA	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE
1		2.12		2.25	2.46
2		1.94		2.25	2.59
3		2.08		2.26	2.30
4		2.05		2.27	1.28
5		2.02		2.32	1.28
6		2.07		2.30	1.74
7		2.07		1.79	2.67
8		2.07		1.52	2.52
9		2.08		1.98	2.38
10		0.88		2.28	2.21
11		1.97		2.17	1.02
12		2.08		2.02	1.22
13		1.31		2.05	1.74
14		1.68		1.71	1.60
15		1.92		2.19	2.71
16		2.08		2.39	2.36
17		2.08	1.18	2.35	3.04
18		2.03	2.00	1.25	2.47
19		2.02	1.76	2.09	1.88
20		1.99	1.61	2.48	1.81
21		1.86	1.93	2.44	1.25
22		2.03	2.19	2.45	1.95
23		2.21	2.15	2.46	2.82
24		2.04	2.13	2.37	1.65
25		1.46		2.18	1.45
26	2.27			1.94	2.30
27	2.51		2.13	1.94	2.26
28	2.07		1.78	1.65	1.10
29	2.07			1.49	2.55
30	2.09		2.08	2.03	2.70
31	2.09		2.20	2.29	
PRO	2.18	1.93	1.93	2.10	2.04

Continuación

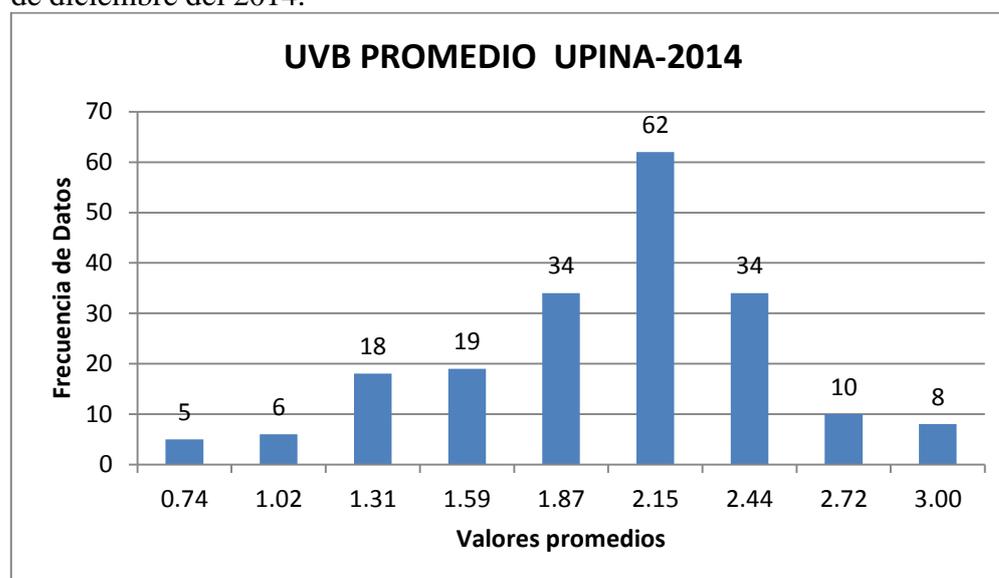
DIA	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	2.58	2.45	0.94
2	1.41	1.55	2.15
3	2.34	2.12	1.12

4	1.15	2.91	1.78
5	2.18	1.95	2.96
6	1.67	2.40	2.62
7	1.54	3.02	1.70
8	2.11	3.03	2.18
9	2.35	2.20	1.82
10	2.43	0.72	2.24
11	1.96	2.40	1.95
12	2.22	1.88	2.73
13	2.45	1.22	2.14
14	2.28	1.62	1.32
15	2.86	1.93	1.42
16	2.68	2.41	1.78
17	2.95	2.43	1.42
18	2.12	1.81	1.20
19	2.40	2.20	1.42
20	1.95	0.60	1.82
21	1.60	2.04	1.08
22	1.94	2.39	1.57
23	1.50	1.21	1.72
24	2.55	2.25	1.82
25	2.09	1.90	2.36
26	2.06	0.83	2.13
27	2.28	2.28	1.65
28	2.03	1.96	1.23
29	2.68	2.40	2.75
30	2.39	3.00	1.44
31	0.78		1.85
PRO	2.11	2.04	1.82

Fuente: Elaboración propia

Anteriormente ya se hizo una gráfica de frecuencias para poder tener una idea de que días fueron claros o nublados y así poder realizar un mejor análisis, con el fin de poder verificar tal análisis se realizó una gráfica de frecuencias de UVB promedio desde Mayo a Diciembre del 2014.

Gráfica 8: Se muestra la gráfica con mayor frecuencia de valores promedios registrados en la medición de UVB desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014.



Fuente: Elaboración propia.

Observando la gráfica podemos notar que la mayor cantidad de datos a considerar son aquellos que oscilan entre 1.73 y 2.58 W/m^2 , ya otros días pudieron ser nublados o con bastante reflexión lo que provoco disminución de radiación o algún exceso de radiación.

4.2.2. Valores máximos de UVB

En un día claro, sin nubes la radiación solar se comporta de manera regular, registrándose datos más precisos con los cuales se puede analizar, siendo la horas regularmente donde se presenta mayo intensidad de 10:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. en promedio, en la tabla mostraremos los máximos valores de radiación UVB medidos por la estación meteorológica SENAMHI.

En la parte inferior de la tabla se muestra el valor máximo de UVB, registrado durante cada mes.

Tabla 10 : Radiación UVB máxima diaria registrada desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014 en W/m^2 .

DIA	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
1		4.2		4.4
2		3.9		4.3
3		4.1		4.4
4		4		4.4
5		4.1		4.5
6		4.1		4.8
7		4.1		4.8
8		4		3.3
9		4.3		5.2
10		1.7		4.5
11		4		4.6
12		4.2		4.8
13		2.7		4.2
14		3.7		4.5
15		3.9		4.7
16		4.1		4.5
17		4.1	2.3	4.6
18		4	4.4	3
19		4	4.1	4.5
20		4	4	4.7
21		4.2	4.2	4.6
22		4	4.3	4.6
23		4	4.7	4.7
24		4	4.5	4.6
25		3.3		4.7
26	4.1			4.1
27	4.1		4.5	4.1
28	4.1		3.2	3.7
29	4.1		4.3	3.6
30	4.1			5.1
31	4.1		4.2	5
MAX	4.2	4.3	4.7	5.2

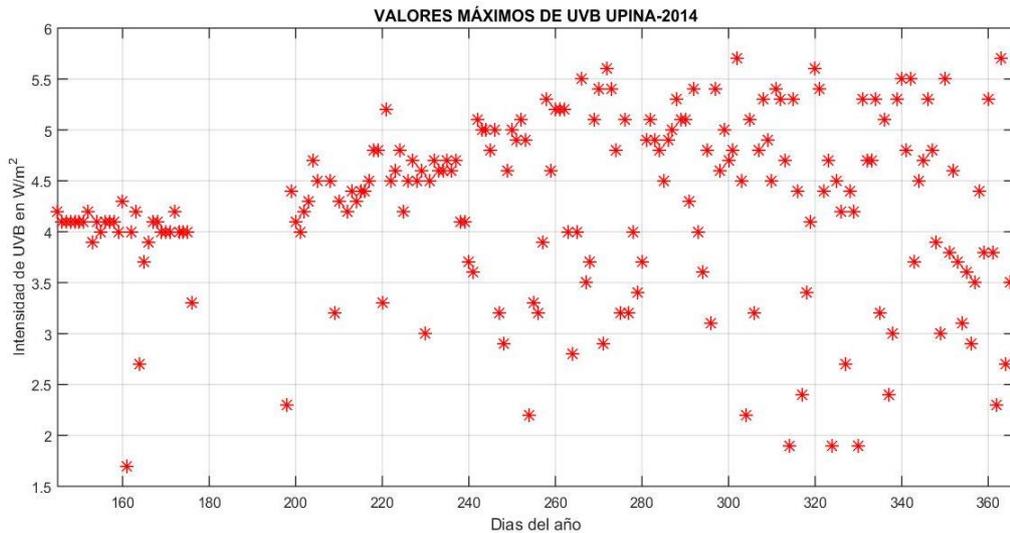
Continuación

DIA	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	5	4.8	5.1	3.2
2	4.8	3.2	3.2	5.1
3	5	5.1	4.8	2.4
4	3.2	3.2	5.3	3
5	2.9	4	4.9	5.3
6	4.6	3.4	4.5	5.5
7	5	3.7	5.4	4.8
8	4.9	4.9	5.3	5.5
9	5.1	5.1	4.7	3.7
10	4.9	4.9	1.9	4.5
11	2.2	4.8	5.3	4.7
12	3.3	4.5	4.4	5.3
13	3.2	4.9	2.4	4.8
14	3.9	5	3.4	3.9
15	5.3	5.3	4.1	3
16	4.6	5.1	5.6	5.5
17	5.6	5.1	5.4	3.8
18	5.2	4.3	4.4	4.6
19	5.2	5.4	4.7	3.7
20	4	4	1.9	3.1
21	2.8	3.6	4.5	3.6
22	4	4.8	4.2	2.9
23	5.5	3.1	2.7	3.5
24	3.5	5.4	4.4	4.4
25	3.7	4.6	4.2	3.8
26	5.1	5	1.9	5.3
27	5.4	4.7	5.3	3.8
28	2.9	4.8	4.7	2.3
29	5.6	5.7	4.7	5.7
30	5.4	4.5	5.3	2.7
31		2.2		3.5
MAX	5.6	5.7	5.6	5.7

Fuente: Elaboración propia

Es posible esperar que tanto la radiación UVA y UVB pueden tener una tendencia similar pero no está demás poder visualizar el comportamiento de la radiación UVB durante el 2014 y así poder tener un análisis mas exacto.

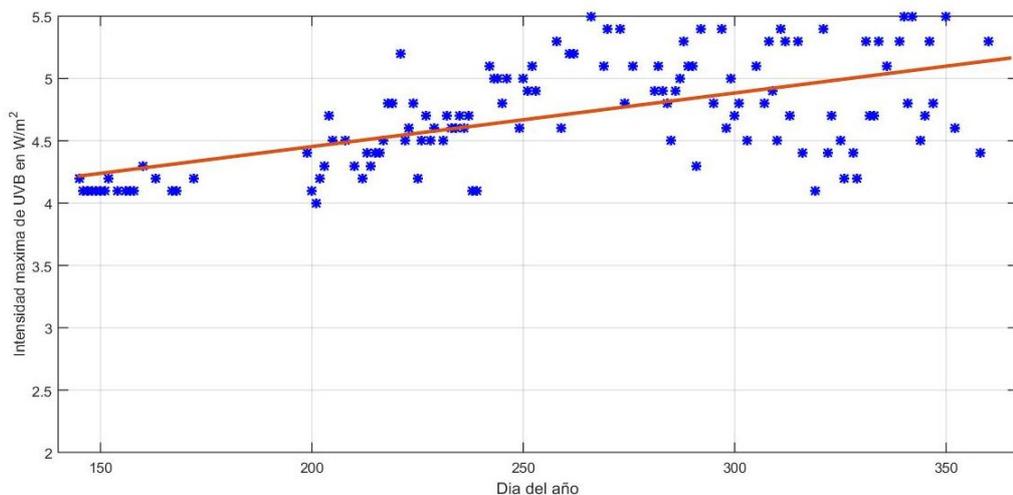
Gráfica 9: Variación anual de la radiación UVB máxima desde 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014 en W/m^2 .



Fuente: Elaboración propia.

De la figura 23, se puede visualizar una tendencia de crecimiento del UVB durante el año 2014, podemos realizar un ajuste por mínimos cuadrados para encontrar una regla de tendencia del UVB, observando que los datos están muy dispersados esto podría ser por presentarse días nublados donde la intensidad de radiación ultravioleta menor, y por ser de interés los valores máximos se va a considerar datos mayores o iguales a $4.0 W/m^2$ y así poder tener un ajuste con menor grado de dispersión.

Gráfica 10: Gráfica de la radiación UVB máxima, registrada desde Mayo-Diciembre del 2014, considerando días claros sin nubes.

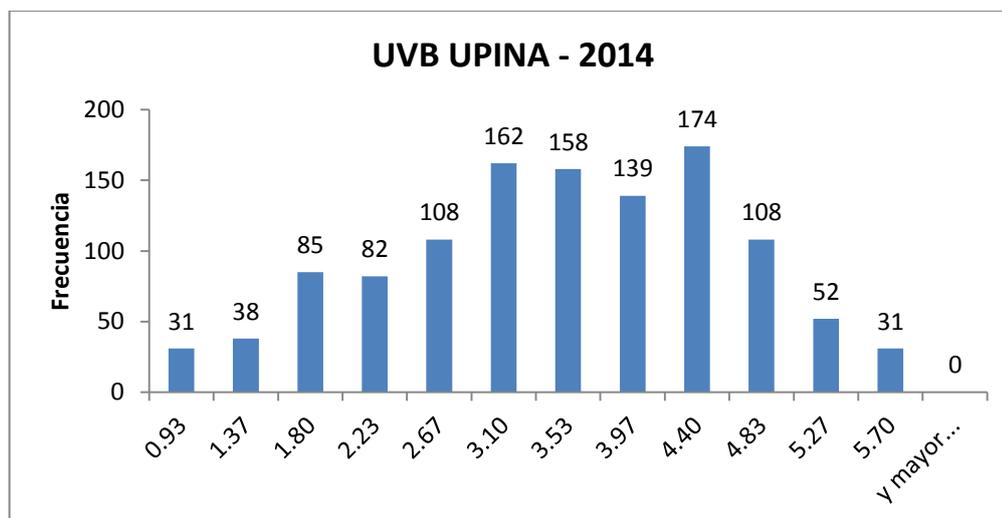


Fuente: Elaboración propia.

Al observar la ecuación de regresión se observa que hay un incremento de radiación de aproximadamente 0.43% con un coeficiente de determinación de 0.36 siendo aún bastante disperso, lo cual sugiere hacer un análisis para el año 2015, 2016, 2017, hasta tal vez encontrar un mayor ajuste a la tendencia.

Desde las 10:00 a.m. hasta las 3:00 pm del día la intensidad de radiación UVB es mayor y presenta sus primeros efectos en la piel humana, por tanto se ha registrado 1168 datos desde el 26 de mayo al 31 de diciembre, algunos datos con UVB mínimo fueron descartados para tener mayor precisión, con lo cual nos lleva a mostrar una gráfica de frecuencias de UVB registradas durante el periodo ya mencionado.

Gráfica 11: Histograma de frecuencias de intensidad de radiación UVB registrados en Upina desde el 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014



Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS 02

- De la tabla 9 y la figura 21 observamos que el valor promedio de intensidad de radiación UVB es de 2.15 W/m^2 , de manera similar al análisis realizado para la radiación UVA, se puede ver que los días donde se presenta este promedio son entre 60 a 62 días desde el 26 de mayo al 31 de diciembre con algunas interrupciones debido a la reciente instalación del equipo de medición, también es posible ver que el valor promedio no presenta un incremento notorio o muy pronunciado en mayo se registró 2.18 W/m^2 y en noviembre 2.04 W/m^2 en diciembre 1.82 W/m^2 podría ser debido que ese

mas por ser cerca de verano (época de lluvias) el cielo esta generalmente nublado.

- En cuanto a los valores máximos presentados y según la tabla 10, se puede visualizar un incremento muy notorio en mayo se registró 4.2 W/m^2 mientras que en diciembre una máxima de 5.7 W/m^2 hay un incremento del 35.7 % lo cual no se observa en cuanto a los valores promedios.
- Tomando en cuenta que la radiación UVB causa mayor efecto mientras mayor es la intensidad y considerando las horas de mayor concentración de radiación desde las 10:00 a.m. hasta las 3:00 p.m. , se realizó un histograma de frecuencias , figura 23 y se observa que se tiene 174 registros de mayor incidencia con un promedio de 4.4 W/m^2 que está muy por encima del máximo registrado en el mes de mayo, y un total de 31 registros de radiación máxima con un valor de 5.7 W/m^2 .

4.3 EL INDICE ULTRAVIOLETA EN UPINA

La estación meteorológica del SENAMHI ubicada en la localidad de Upina, también registró el índice ultravioleta, y según lo visto en el marco teórico tiene mayor importancia los valores máximos , por lo cual presento en la siguiente tabla los valores máximo registrados diario redondeado a un número entero.

La unidad de medida del índice ultravioleta deducida a partir de la radiación ultravioleta eritematica es W/m^2 pero generalmente se representa con un valor numérico entero .

Tabla 11: Máximos IUV, registrados del 26 de mayo al 31 de Diciembre del 2014

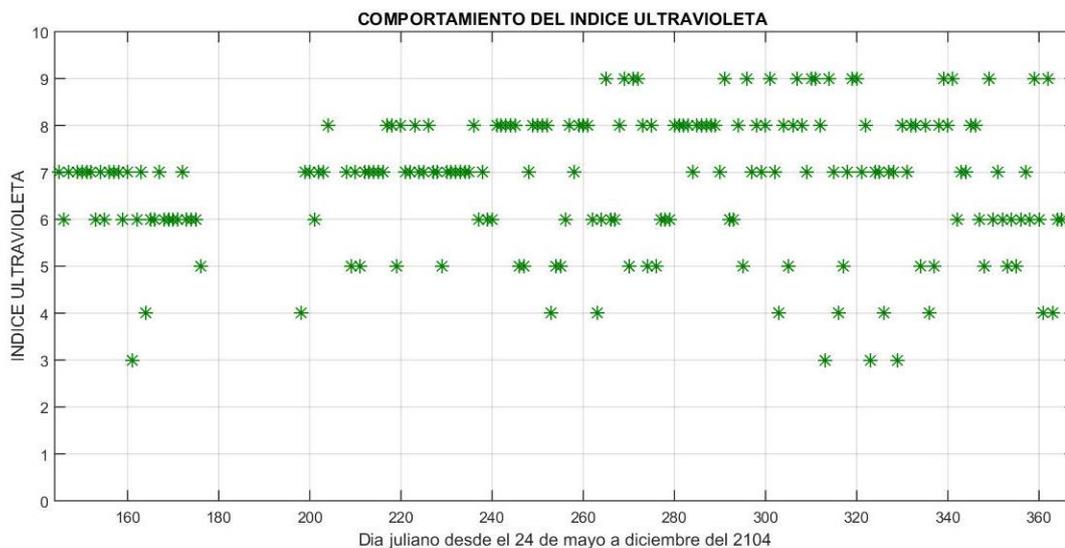
DIA	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DIEMBRE
1		7		7	8	8	8	5
2		6		7	8	5	5	8
3		7		7	8	8	8	4
4		6		7	5	5	9	5
5		7		7	5	6	8	8
6		7		8	7	6	7	9

7		7		8	8	6	9	8
8		6		5	8	8	9	9
		7		8	8	8	8	6
10		3		7	8	8	3	7
11		6		7	4	8	9	7
12		7		8	5	7	7	8
13		4		7	5	8	4	8
14		6		7	6	8	5	6
15		6		8	8	8	7	5
16		7		7	7	8	9	9
17		6	4	7	8	8	9	6
18		6	7	5	8	7	7	7
19		6	7	7	8	9	8	6
20		6	6	7	6	6	3	5
21		7	7	7	4	6	7	6
22		6	7	7	6	8	7	5
23		6	8	7	9	5	4	6
24		6		7	6	9	7	7
25		5		8	6	7	7	6
26	6			6	8	8	3	9
27	7		7	7	9	7	8	6
28			5	6	5	8	7	4
29	7		7	6	9	9	8	9
30	7		5	8	9	7	8	4
31	7			8		4		6

Fuente: “Elaboración propia”

De esta tabla 11 se puede mostrar gráficamente (figura 25) el comportamiento del IUV en función de los días:

Gráfica 12: Grafica de la variación máxima anual del IUV desde el 26 de Mayo al 31 de Diciembre del 2014.



Fuente: Elaboración propia.

ANALISIS 03

El índice ultravioleta (IUV) medido en la estación meteorológica son números decimales, pero según recomendación la OMS estos deben redondearse al máximo entero, por tanto en la tabla 11, tenemos valores de IUV máximos registrados desde Mayo a Diciembre del 2014, cuyo valor máximo registrado en la ciudad de UPINA fue 9 representando el 30 % de todos los índices máximos registrados siendo uno de los más peligrosos y con mayor frecuencia.

En la figura 25 se realizó un mapeo de todos los registros de IUV, donde se observa que hay un ligero incremento pero presenta bastante dispersión debido a un clima muy irregular en la localidad de UPINA, días despejados, días nublados y otros parcialmente nublados.

4.4 APLICACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA B EN UPINA.

Las ecuaciones matemáticas ya fueron formuladas anteriormente en el marco teórico, estas ecuaciones ingresan en el modelo espectral formulado mediante las ecuaciones (2.41) y (2.42), para facilitar los cálculos y poder hacer la integración es necesario diseñar un programa que permita al usuario hacer un cálculo inmediato para un determinado día sobre el comportamiento de la radiación ultravioleta tipo B, el software elegido es Matlab R2015a, el código fuente de la programación del modelo espectral está en el ANEXO 1.

Este programa ya tiene todas las constantes ingresadas o almacenadas lo único que el usuario tiene que hacer es ingresar el día juliano y el espesor de ozono para la localidad de UPINA.

Por ejemplo supongamos que queremos saber la intensidad de radiación UVB el 15 de setiembre del 2014, el día juliano correspondiente es $n=258$, y el espesor de ozono (observando la tabla 4) vemos que corresponde 257 UD convirtiendo a cm tenemos que el espesor de ozono es 0.257 cm, se ingresa en el programa y se ejecuta.

Tomando en cuenta los histogramas de la figura 16 y figura 21, se analizó los días con mayor frecuencia ya que se consideró que son días despejados o muy

comunes en la localidad de UPINA, los resultados se muestran en la siguiente tabla 11.

En la tabla 11 se muestra los datos obtenidos por el modelo matemático propuesto y los datos obtenidos por el SENAMHI según las fechas indicadas, de “r” es el coeficiente de correlación.

Tabla 12: Comparación de la radiación ultravioleta tipo B, para el 29 de mayo, 23 de junio y 22 de julio.

29 DE MAYO		23 DE JUNIO		22 DE JULIO	
EXPERIMENTAL	MODELO	EXPERIMENTAL	MODELO	EXPERIMENTAL	MODELO
0	0.0	0	0.0	0	0.0
0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
1.3	1.1	1.2	0.9	1.2	1.0
2.4	2.3	2.2	2.0	2.3	2.0
3.3	3.3	3.1	2.9	3.3	3.0
3.8	4.0	3.7	3.6	4	3.7
4.1	4.1	4	3.8	4.4	3.9
3.9	4.0	3.9	3.6	4.7	3.7
3.2	3.3	3.3	2.9	3.6	3.0
2.6	2.3	2.7	2.0	2.2	2.0
1.5	1.1	1.7	0.9	1.3	1.0
0.5	0.3	0.5	0.2	0.6	0.2
0	0.0	0	0.0	0.1	0.0
r=0.99		r=0.98		r=0.98	
n=149		n=178		n=213	
Ozono = 0.239		Ozono = 0.251		Ozono = 0.256	

Fuente: “Elaboración propia”

Tabla 13: Comparación de la radiación ultravioleta tipo B, para el 9 de Agosto, 15 de setiembre y 24 de octubre.

9 DE AGOSTO		15 DE SETIEMBRE		24 DE OCTUBRE	
EXPERIMENTAL	MODELO	EXPERIMENTAL	MODELO	EXPERIMENTAL	MODELO
0	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1
0.1	0.2	0.7	0.4	0.8	0.8
0.4	1.1	1.9	1.6	1.7	1.9
0.9	2.4	3.3	3.0	3.6	3.2
2	3.5	3.8	4.2	4.5	4.3
3.3	4.3	5.3	5.1	4.8	5.0
5.2	4.6	5.1	5.4	4.4	5.1
4.5	4.3	5.2	5.1	5.4	5.0
3.2	3.5	4.8	4.2	3	4.3
3.2	2.4	2.2	3.0	3.2	3.2
2.2	1.1	1.8	1.6	1.1	1.9
0.8	0.2	0.9	0.4	0.3	0.8
0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1
r=0.88		r=0.98		r=0.96	
n= 221		n= 258		n= 297	
Ozono = 0.250		Ozono = 0.257		Ozono= 0.257	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14: : Comparación de la radiación ultravioleta tipo B, para el 27 de noviembre, 26 de diciembre y 18 de julio.

27 DE NOVIEMBRE		26 DE DICIEMBRE		18 de JULIO	
EXPERIMENTAL	MODELO	EXPERIMENTAL	MODELO	EXPERIMENTAL	MODELO
0.2	0.2	0.1	0.1	0	0.0
0.8	1.1	0.8	0.9	0.2	0.2
1.8	2.3	2.1	2.2	1	1.0
1.9	3.6	1.8	3.5	2.2	2.2
4	4.7	2.6	4.6	3.2	3.2
5.3	5.4	4.3	5.3	3.6	4.0

4.9	5.5	5.3	5.6	4.4	4.2
3.3	5.4	3	5.3	4.2	4.0
3.3	4.7	3	4.6	3.8	3.2
2.1	3.6	3	3.5	2.4	2.2
1.4	2.3	1.3	2.2	0.8	1.0
0.6	1.1	1.1	0.9	0.2	0.2
0	0.2	0.3	0.1	0	0.0
r=0.94		r=0.91		R=0.99	
n= 327		n=360		n= 199	
Ozono= 0.248		Ozono= 0.240		Ozono= 0.250	

Fuente: Elaboración propia.

ANALISIS 04

La radiación ultravioleta modelada presenta muy buena correlación en los meses de mayo, junio, julio con un valor promedio de 0.98 y luego empieza a dispersarse llegando a diciembre con r= 0.91, esto puede ser debido a la irregularidad de los cielos en UPINA, o es necesario hacer otras mediciones para años posteriores y así poder ajustar el modelo matemático.

El espesor de ozono es muy importante para los cálculos de la radiación ultravioleta ya que cualquier variación se refleja en el cálculo de la radiación UVB.

4.5 DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ULTRAVIOLETA IUUV, A PARTIR DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA SOLAR TIPO B.

El índice de radiación ultravioleta (IUUV), se obtiene resolviendo la ecuación (2.2) y (2.3) propuesta por la Comisión Internacional de la Iluminación (CIE), donde se tiene que integrar desde 280 nm hasta 400 nm, que prácticamente abarca la radiación ultravioleta de tipo A y B, para esta investigación solo se ha considerado la incidencia de radiación ultravioleta solar B, calculada mediante el modelo matemático, ya que según la página web <https://espanol.epa.gov/espanol/como-calcular-el-indice-uv>, la radiación ultravioleta solar B, aporta aprox 67.9% al índice ultravioleta.

La expresión para el IUUV se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 IUUV &= 40 \cdot \int_{280}^{400} I_{\lambda} \cdot EE(\lambda) \cdot d\lambda \\
 IUUV &= 40 \left(\int_{280}^{298} I_{\lambda} d\lambda + \int_{298}^{315} I_{\lambda} 10^{0.094(298-1000\lambda)} d\lambda \right) \tag{2.47}
 \end{aligned}$$

4.5.1 Comparación entre datos experimentales y datos obtenidos por el Modelo matemático espectral de radiación ultravioleta solar B.

Una vez obtenido los valores del índice ultravioleta mediante el modelo matemático estos van a ser comparados con los datos obtenidos en la medición experimental por la estación meteorológica del SENAMHI en Upina, cabe resaltar que los datos obtenidos por el modelo deberían tener un margen de error ya que solo ha sido integrado para la radiación ultravioleta B, aún falta para la parte A.

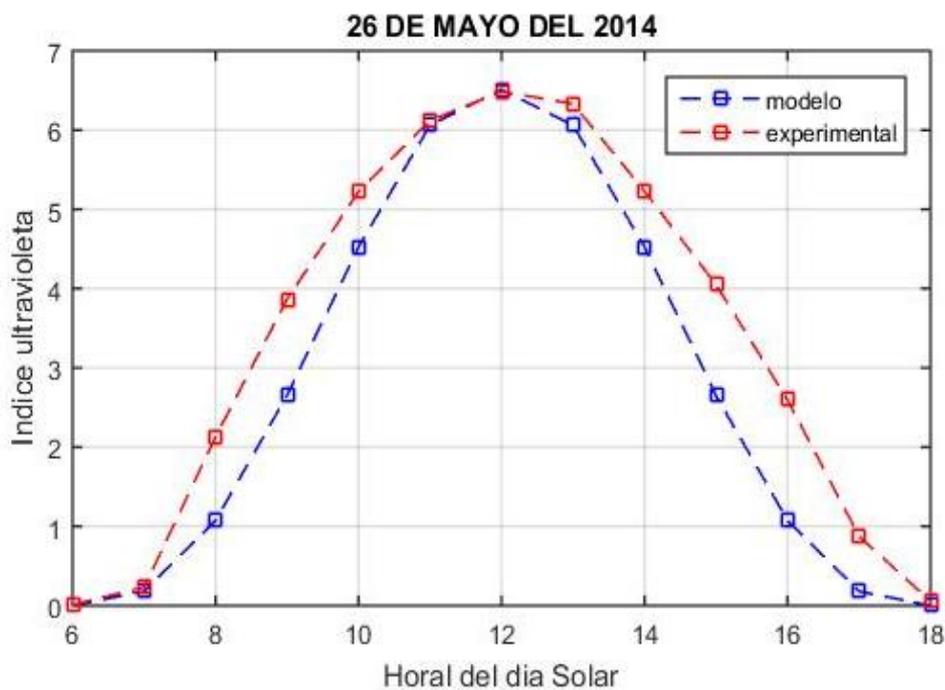
Se han considerado días con mayor frecuencia de radiación promedio es decir días despejados o claros, por ser días con regular incidencia de UVB. A continuación mostramos la comparación entre los valores medidos y calculado según el modelo para diferentes días arbitrarios la unidad de medida del IUV es en W/m^2 .

Tabla 15: Registro del 26 de mayo y 30 de mayo del 2014

Hora del día	26 DE MAYO		30 DE MAYO	
	IUV MODELO	IUV EXPER.	IUV MODELO	IUV EXPER.
06:00:00	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00:00	0.2	0.2	0.2	0.5
08:00:00	1.2	2.1	1.1	2.1
09:00:00	2.9	3.9	2.8	3.8
10:00:00	4.8	5.2	4.5	5.2
11:00:00	6.2	6.1	5.9	6.2
12:00:00	6.6	6.5	6.3	6.5
13:00:00	6.2	6.3	5.9	6.3
14:00:00	4.8	5.2	4.5	5.2
15:00:00	2.9	4.1	2.8	4.2
16:00:00	1.2	2.6	1.1	2.6
17:00:00	0.2	0.9	0.2	0.9
18:00:00	0.0	0.1	0.0	0.1
r	0.98		0.97	
MBE	0.59		0.80	
RMSE	0.80		0.96	
n	146		150	
Ozono	0.239		0.244	

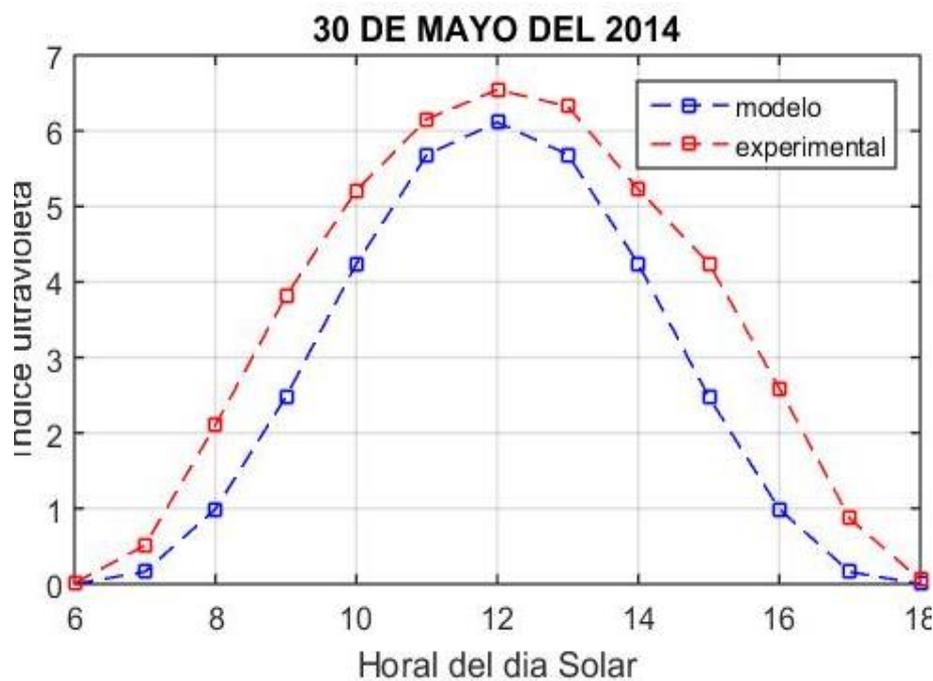
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 13: Comportamiento del IUV para el 26 de mayo en UPINA



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 14: Comportamiento del IUV para el 30 de mayo en UPINA



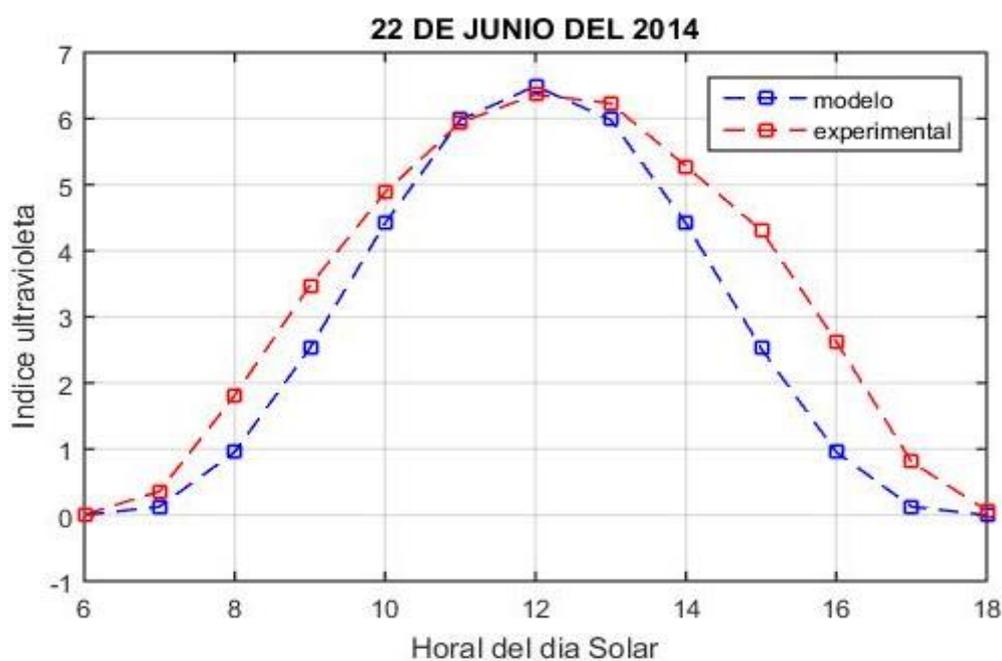
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Registro del IUV para el 22 de junio y 23 de julio del 2014

	22 DE JUNIO		23 DE JULIO	
Hora del día	IUV MODELO	IUV EXPER.	IUV MODELO	IUV EXPER.
06:00:00	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00:00	0.1	0.4	0.1	0.4
08:00:00	1.0	1.8	1.0	1.9
09:00:00	2.5	3.5	2.8	3.7
10:00:00	4.4	4.9	4.9	5.3
11:00:00	6.0	5.9	6.6	6.4
12:00:00	6.5	6.4	7.2	7.1
13:00:00	6.0	6.2	6.6	7.6
14:00:00	4.4	5.3	4.9	5.9
15:00:00	2.5	4.3	2.8	3.5
16:00:00	1.0	2.6	1.0	2.1
17:00:00	0.1	0.8	0.1	1.0
18:00:00	0.0	0.1	0.0	0.1
r	0.97		0.98	
MBE	0.59		0.53	
RMSE	0,84		0.69	
n	172		204	
Ozono	0.249		0.242	

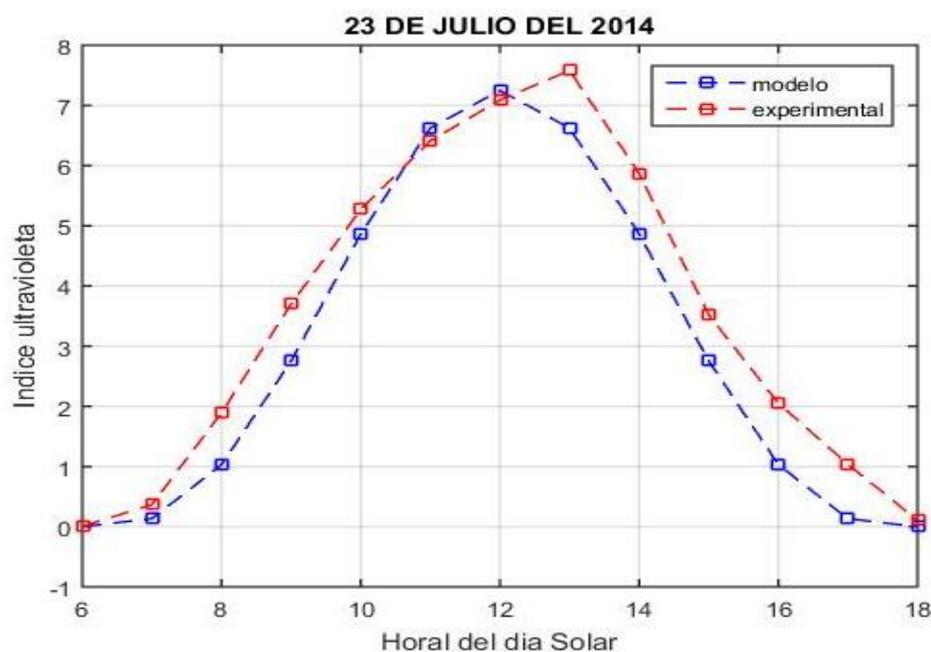
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 15: Comportamiento del IUV para el 22 de junio en UPINA



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 16: Comportamiento del IUV para el 23 de julio en UPINA



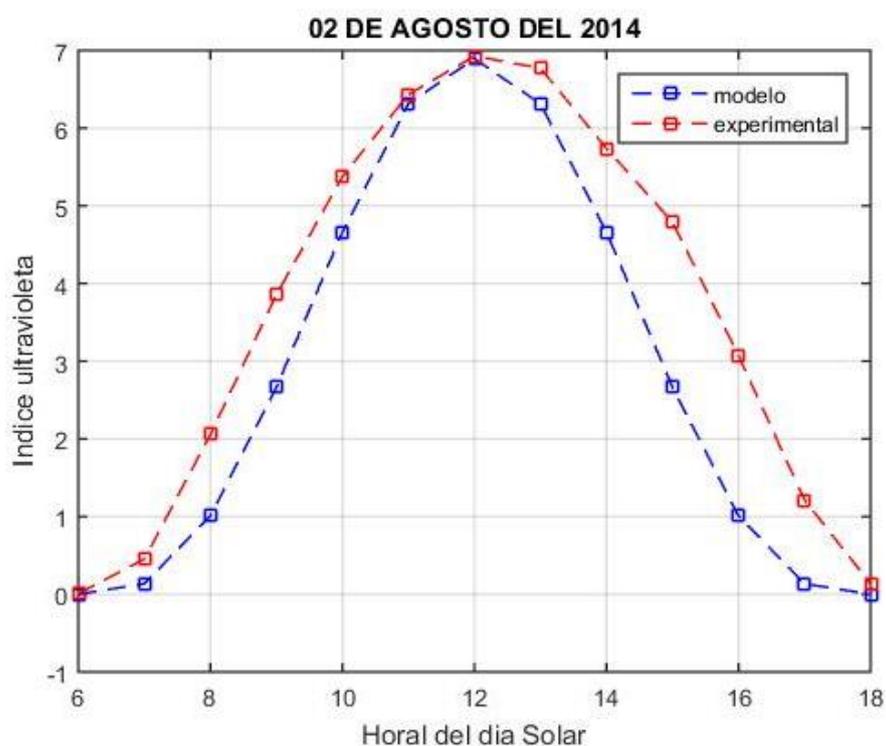
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17: Registro del IUV para el 02 de Agosto y el 07 de setiembre del 2014

Hora del día	02 DE AGOSTO		07 DE SETIEMBRE	
	IUV MODELO	IUV EXPER.	IUV MODELO	IUV EXPER.
06:00:00	0.0	0.0	0.0	0.0
07:00:00	0.1	0.5	0.4	0.9
08:00:00	1.0	2.1	1.6	2.9
09:00:00	2.7	3.9	3.6	4.8
10:00:00	4.7	5.4	5.9	6.4
11:00:00	6.3	6.4	7.8	7.6
12:00:00	6.9	6.9	8.4	8.0
13:00:00	6.3	6.8	7.8	7.5
14:00:00	4.7	5.7	5.9	7.0
15:00:00	2.7	4.8	3.6	5.5
16:00:00	1.0	3.1	1.6	3.5
17:00:00	0.1	1.2	0.4	1.5
18:00:00	0.0	0.1	0.0	0.2
r	0.96		0.97	
MBE	0.79		0.65	
RMSE	1.05		1.01	
n	214		250	
Ozono	0.268		0.272	

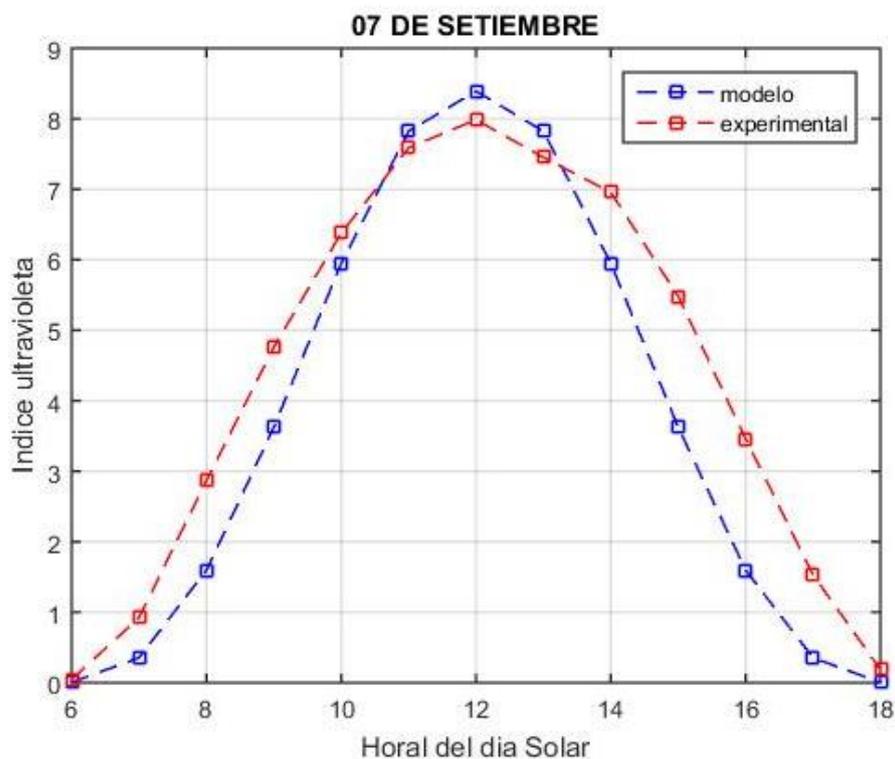
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 17: Comportamiento del IUV para el 02 de Agosto en UPINA



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 18 : Comportamiento de IUV para el 07 de setiembre en UPINA



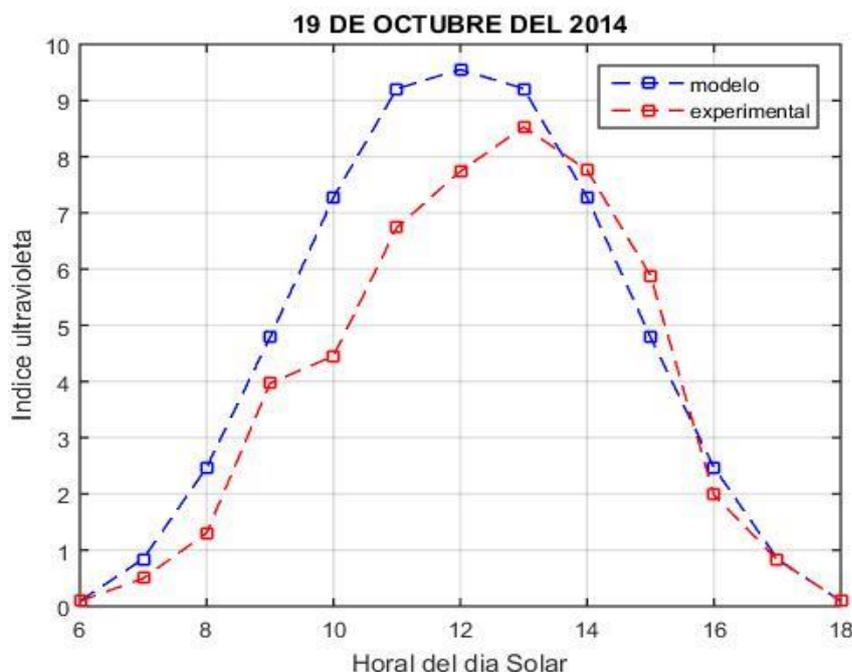
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18: Registro del IUV para el 19 de octubre y 16 de noviembre

Hora del día	19 DE OCTUBRE		16 DE NOVIEMBRE	
	IUV MODELO	IUV EXPER.	IUV MODELO	IUV EXPER.
06:00:00	0.1	0.1	0.2	0.1
07:00:00	0.8	0.5	1.2	1.0
08:00:00	2.5	1.3	1.5	2.6
09:00:00	4.8	4.0	2.6	5.0
10:00:00	7.3	4.5	5.2	7.4
11:00:00	9.2	6.7	7.5	9.3
12:00:00	9.6	7.7	8.5	9.6
13:00:00	9.2	8.5	9.0	9.3
14:00:00	7.3	7.8	7.6	7.4
15:00:00	4.8	5.9	3.4	5.0
16:00:00	2.5	2.0	2.0	2.6
17:00:00	0.8	0.8	1.1	1.0
18:00:00	0.1	0.1	0.3	0.1
r	0.95		0.96	
MBE	0.69		0.82	
RMSE	1.28		1.92	
n	292		320	
Ozono	0.265		0.256	

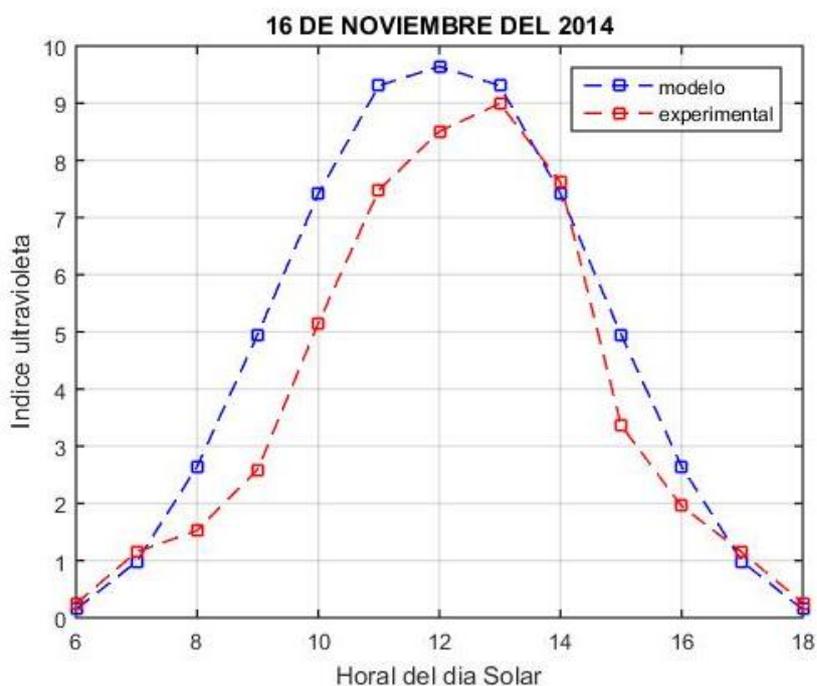
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 19: Comportamiento del IUV para el 19 de octubre en UPINA



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 20 : Comportamiento de IUV para el 16 de noviembre en UPINA



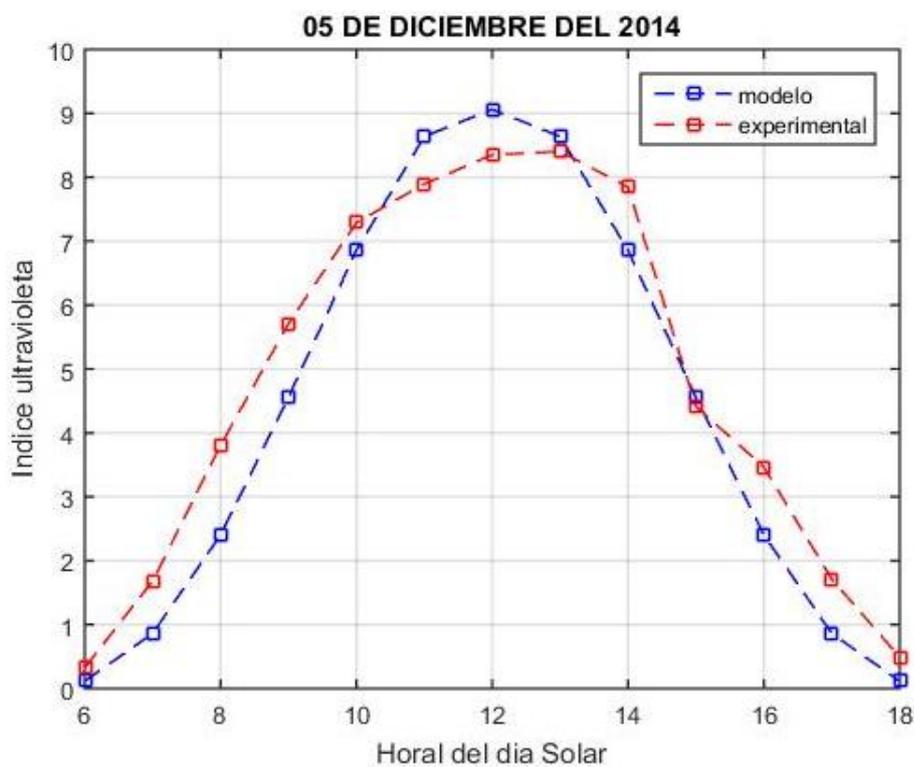
Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: Registro del IUV para el 05 de diciembre y el 20 de Agosto

Hora del día	05 DE DICIEMBRE		20 DE AGOSTO	
	IUV MODELO	IUV EXPER.	IUV MODELO	IUV EXPER.
06:00:00	0.1	0.3	0.0	0.0
07:00:00	0.9	1.7	0.2	0.6
08:00:00	2.4	3.8	1.3	2.5
09:00:00	4.6	5.7	3.2	4.3
10:00:00	6.9	7.3	5.4	5.9
11:00:00	8.6	7.9	7.2	7.0
12:00:00	9.1	8.4	7.8	7.5
13:00:00	8.6	8.4	7.2	7.3
14:00:00	6.9	7.8	5.4	6.2
15:00:00	4.6	4.4	3.2	5.2
16:00:00	2.4	3.5	1.3	3.4
17:00:00	0.9	1.7	0.2	1.4
18:00:00	0.1	0.5	0.0	0.2
r	0.98		0.96	
MBE	0.41		0.69	
RMSE	0.79		1.03	
n	339		232	
Ozono	0.264		0.263	

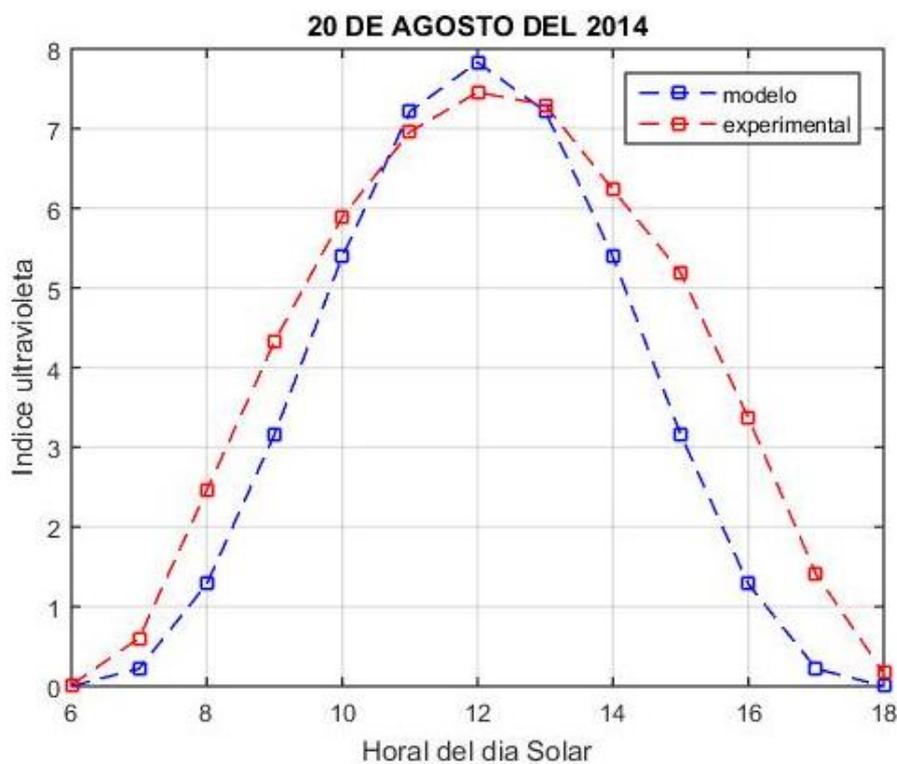
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 21: Comportamiento de IUV para el 05 diciembre en UPINA



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 22: Comportamiento del IUV para el 20 de Agosto en UPINA



Fuente: Elaboración propia.

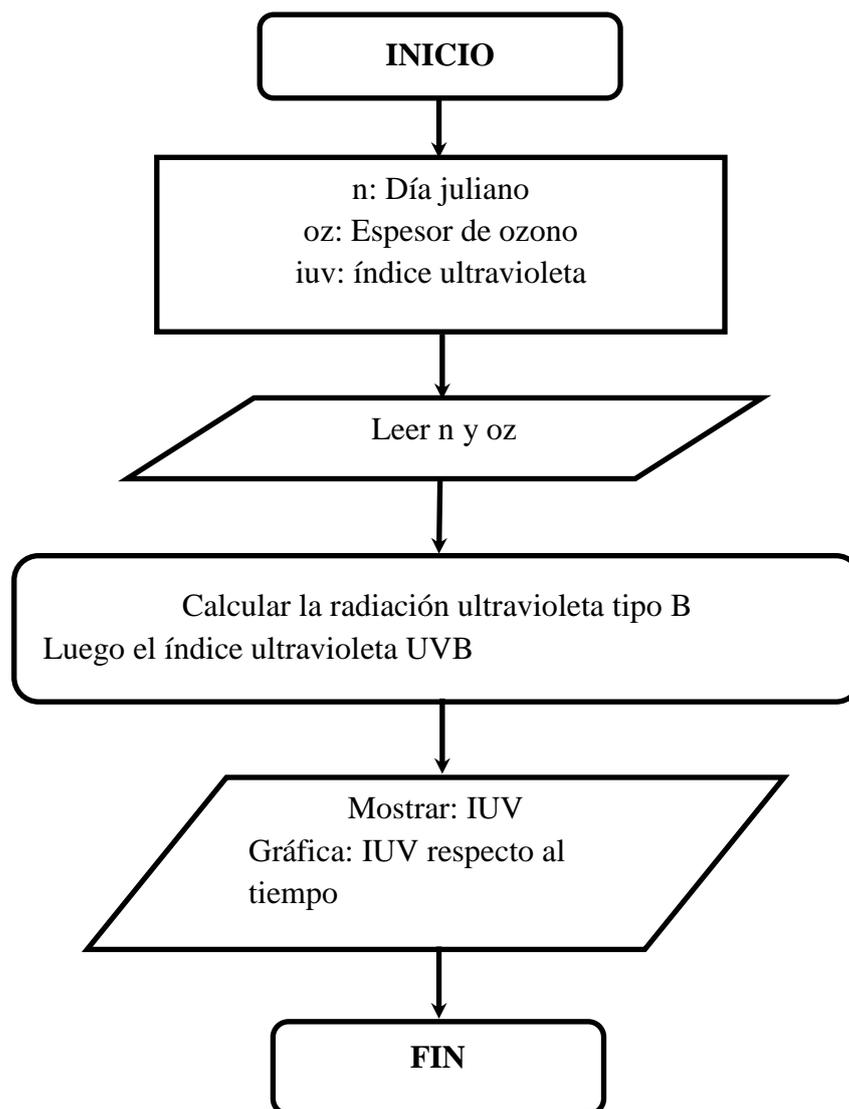
ANALISIS 05

El índice ultravioleta (IUV) depende en gran parte de la radiación UVB, ya que el 67.9 % de esta radiación aporta al índice ultravioleta, donde la mayor importancia debido a los posibles efectos dañinos es cuando supera el valor numérico de 7, según las gráficas se puede observar que existe bastante aproximación con los cálculos realizados por el modelo matemático para los meses sobre todo para los meses de mayo, junio, julio y agosto, luego sufre una variación, esto podría ser porque se había considerado $\alpha = 1.3$ y $\beta = 0.15$ constantes.

4.6 DISEÑO DEL EJECUTABLE .EXE PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA Y EL ÍNDICE ULTRAVIOLETA

Uno de los objetivos de esta investigación fue el diseño de un ejecutable de fácil manejo para cualquier usuario que desee consultar el índice ultravioleta para algún determinado día, en este caso se diseñó un ejecutable que permite calcular el IUV en UPINA desde mayo a diciembre del 2014. Para ello se hizo los siguientes procedimientos:

A. DIAGRAMA DE FLUJO: El modelo matemático consta de muchas ecuaciones unas dependientes de otras y todo esto cambia según el tiempo, el día juliano y el espesor de ozono, sabiendo que solo estamos hablando de un lugar en específico, y como usuario deseo conocer el comportamiento de IUV en un determinado día entonces mi variable principal será el día juliano y el espesor de ozono. Realizando el siguiente diagrama.



B. PROGRAMA EJECUTABLE.EXE: Un ejecutable es útil si nos permite calcular el IUV en tiempo actual, pero aún falta ajustar el modelo y esto solo se lograría analizando los datos para los años 2015, 2016, 2017, y mas, la razón p. El ejecutable solo intenta calcular los IUV de manera didáctica y podría convertirse en una aplicación muy útil a futuro, según progresen las investigaciones de radiación ultravioleta para que pueda ser cada vez más preciso y otorgar un pronóstico en tiempo real.

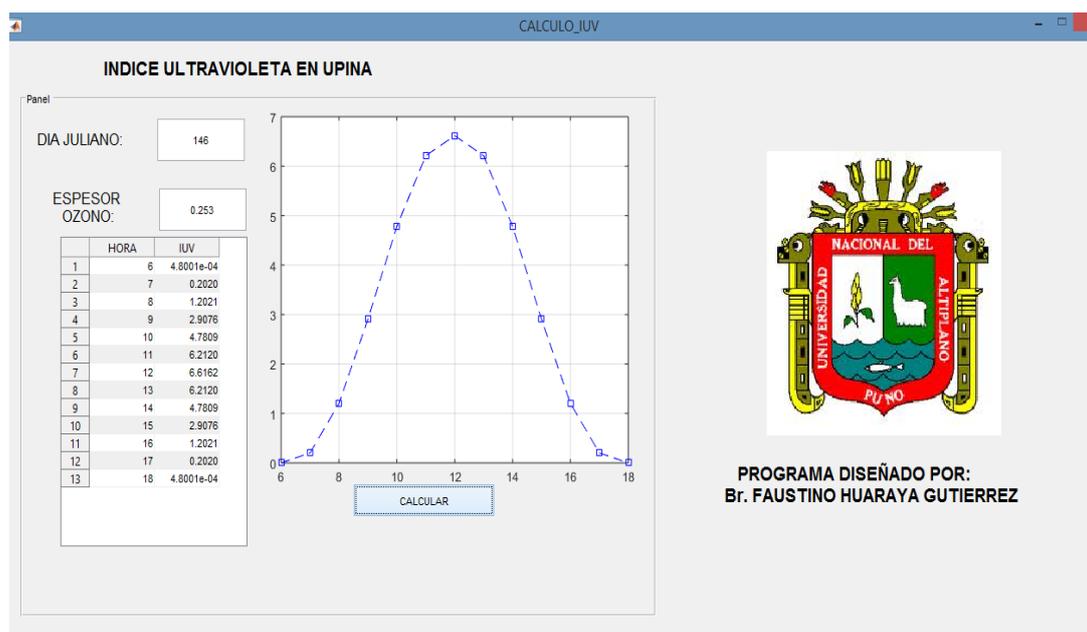


Figura14: Imagen del ejecutable.exe diseñado en MATLAB

DISCUSION

- Durante el periodo de medición de la radiación ultravioleta de tipo B en la localidad de UPINA desde el 24 de mayo al 31 de diciembre del 2014 se registró un máximo de 5.7 w/m^2 mientras que en la ciudad de Puno para el 2011 se registró un máximo de 4.63 w/m^2 para los meses noviembre a diciembre (Mamani, 2013), lo cual implicaría que en UPINA se presenta mayor incidencia de radiación UVB, las mediciones en Puno no fueron todos los días lo cual no podemos decir mucho en cuanto el comportamiento a la radiación ultravioleta en la ciudad de Puno.
- En el modelo paramétrico desarrollado por (Huillca y Taipe, 2015), se encuentra que la Índice Ultravioleta es 1.6 veces la radiación ultravioleta tipo B, lo cual en la presente investigación también es posible verificar tal conclusión, pero en la investigación de (Mamani, 2013) presenta una máxima radiación ultravioleta tipo B de 4.63 w/m^2 y un Índice Ultravioleta de 16 aplicando la conclusión obtenida por de 1.6 veces obtendríamos 7.408 , menos de la mitad lo cual sugiere una mayor revisión del cálculo del Índice Ultravioleta.
- El modelo TUV permite la obtención del radiación ultravioleta tipo A y tipo B, pero implica ingresar algunos parámetros que en la presente investigación no se ha contado ya que las investigación sobre radiación ultravioleta para la región Puno y

Nacional aun está en inicios, pero si podría servir para futuras investigaciones ya que se pueden contar con mayor ingreso de datos.

- El modelo espectral para el cálculo del Índice Ultravioleta fue tomado como referencia directa de (Wright, 2008), en donde encuentra una correlación de precisión de 0.99 en donde debido a la mayor presencia de datos sobre visibilidad y turbidez es decir conocían el valor de α y β , para cualquier día a realizar una medición, en la presente investigación se operó con $\alpha=1.3$ y $\beta=0.15$ como sugerencia de diversos autores como (Gueymard, 1995) cuando no se tiene datos reales de α y β , ya que es necesario la presencia de otros equipos especiales de medición para estos datos, es la razón por la cual el modelo matemático presentó una variación en su correlación para los meses de octubre a diciembre del 2014. También se debe resaltar que el modelo matemático es muy sensible si se cambia los valores del espesor de ozono, cualquier valor no acorde hace que los datos de IUUV obtenidos varíen notablemente.

CONCLUSIONES

1. Al caracterizar la radiación ultravioleta UVA , tomando en cuenta la radiación acumulada diaria promedio durante el periodo del 26 de mayo al 31 de diciembre se encuentra que no sufre variación considerable, ahora tomando en cuenta los valores máximos se observó que en mayo se presentó un máximo de 26.4 W/m^2 y en diciembre 43.3 W/m^2 representando un incremento del 64%, esto se debe a que la localidad es muy cercana a la región selvática haciendo que durante los meses de noviembre y diciembre el cielo se presente nublado y con algunos días despejados donde la radiación es máxima compensando en la radiación acumulada promedio. Respecto a la radiación ultravioleta UVB, la radiación acumulada diaria promedio no ha presentado variación considerable y considerando solo valores máximos en mayo se registró un máximo de 4.2 W/m^2 y en diciembre 5.7 W/m^2 representando una variación del 35.7%, esto demuestra que la variación de radiación UVA no es semejante a la radiación UVB.
2. El modelo matemático fue diseñado solo para calcular la radiación ultravioleta solar B, ya que calcular la radiación ultravioleta solar A requiere de otros datos atmosféricos adicionales y aún no se cuenta con los equipos de medición necesarios. Una vez aplicado para calcular la radiación ultravioleta solar B, se ha obtenido los datos y comparado con los datos experimentales observando una correlación de 0.99 en mayo, 0.98 en junio, julio y agosto, luego disminuye a 0.91 en diciembre presentando una variación lo cual sugiere que el modelo aún falta hacer correcciones evaluando otros parámetros.
3. El índice ultravioleta (IUV) obtenido por la estación meteorológica SENAMHI presentó valores máximos de 9 presentándose este registro en los meses de noviembre y diciembre , siendo considerado de máxima peligrosidad, y los datos obtenidos por el modelo matemático muy similar a lo ocurrido con la radiación ultravioleta solar presenta una correlación de 0.98 para los meses de mayo, junio, julio y agosto, y luego 0.93 en promedio para los meses de setiembre , octubre y diciembre, lo cual concluye que aún falta realizar un ajuste al modelo, también se debe mencionar que la radiación ultravioleta solar de tipo B, solo aporta 67.9 % al

índice ultravioleta dato importante considerado en la ecuación final del modelo matemático para la obtención aproximada del índice ultravioleta.

4. El programa ejecutable.exe diseñado en Matlab puede proporcionar de manera directa el índice ultravioleta presentado en cualquier día del periodo 26 de mayo al 31 de diciembre del 2014, para poder calcular el IUV basta que el usuario ingrese el día juliano y el espesor de ozono presentado para ese día, dato que está disponible en internet o también en la tabla 4, se obtiene el índice ultravioleta a cada hora y grafica correspondiente.

SUGERENCIAS

1. Desde el 2014 al 2017 se han registrado una gran cantidad de datos de radiación ultravioleta en la localidad de UPINA, para lo cual se puede realizar un mayor análisis sobre el comportamiento de la radiación ultravioleta diario, mensual y anual, y aplicar el modelo diseñado en la presente investigación para poder dar la validez y de lo contrario realizar algún ajuste según el análisis realizado.
2. Realizar un convenio con el SENAMHI para un fácil acceso a los datos registrados por tal entidad y así poder aportar a la investigación sobre radiación ultravioleta desde otros puntos de vista, como puede ser determinación del IUV a partir de la radiación solar total, analizar la presencia de radiación ultravioleta en días nublados ya que la nubes en algunos casos solo atenúan el infrarrojo mientras que la radiación UVB ingresa de manera directa.
3. Realizar mediciones de radiación ultravioleta en lugares aledaños al lago Titicaca y a la cordillera de los andes ya que la radiación ultravioleta puede incrementarse debido a la reflexión de superficies.
4. Puno es una región con una población cuyos tipos de piel pueden ser II y III según la tabla 1, pero al ser una ciudad turística se puede contar con personas de piel tipo I, con datos referenciales de UPINA en donde se encontró máximas 8 de IUV, siendo desde ya peligroso es necesario contar con SOLMAFAROS, aparato similar a un Semáforo que indica el nivel de IUV para así poder tomar precauciones en el cuidado de la piel.

I. BIBLIOGRAFÍA

- Abal, G. (2010). *Fundamentos de energía solar*. Montivideo: Uruguay.
- Aceituno, P., Buendia, A., Olmo, F., & Jiménez, J. (2010). *Melanoma, altitud y radiacion UVB*. Granada-España: Actas dermosifiliograficas.
- Bohórquez, J., & Pérez Mogollon, J. F. (2007). *Radiacion Ultravioleta*. La salle: Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular.
- Cabrera Morales , C., & Lopez Nevot, M. (2006). Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel. *Oncologia*, 291-298.
- CCORA, O. (2015). *Radiación ultravioleta B, vulnerabilidad y riesgos en el verano*. Lima: SENAMHI.
- Estrella, M. (2009). *Modelo de radiación ultravioleta, aplicacion a la pininsula ibérica*. Madrid: Tesis doctoral.
- Gramsh, E. (2012). *Naturaleza, principios y efectos de la radiación ultravioleta*. Santiago: Revistas de Ingenieria.
- Gueymard, C. (1995). *A simple model of the atmospheric radiative transfer of sunshine*. Florida: University of central florida.
- <https://es.wikipedia.org>. (15 de 11 de 2016).
- Huillca, M., & Taipe, C. (2015). *Modelo parametrico de la radiación ultravioleta global para cielos claros en la ciudad de Puno*. Puno: Rev. Investigacion Altoandina.
- Iqbal, M. (1983). *An introduction to solar radiation* . Canada: Academic Press.
- Mamani, J. (2013). *Modelo matemático de dispersion simple para estimar la irradiancia solar ultravioleta tipo B en la ciudad de Puno*. Puno: Tesis de Licenciatura.
- Marín, M. J. (2007). *Estudio de la irradianza solar ultravioleta B y eritemática en la comunidad valenciana*. Valencia: Servei de Publicaciones.
- Martínez, M. A. (2007). *Modelos empíricos para la estimación de la irradiancia solar ultravioleta*. Extramadura: Tesis Doctoral.
- Melía, J. (1991). *La teledetección en el seguimiento de fenomenos naturales*. Valencia: Universidad de Valencia.

- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. (2003). *ÍNDICE UV SOLAR MUNDIAL*. Ginebra, Suiza: bookorders.
- Pino, R. (2007). *Metodología de la investigación*. Lima: San Marcos.
- Raponi, M., Wolfram, E., Pallotta, J., R.D., P., & E., Q. (2004). *Medición y modelización de la irradiancia espectral solar UV incidente sobre Buenos Aires*. Rosario: Ceilap, Argentina.
- Rivas, M., Madronich, S., & Rojas, E. (2006). *Aumento del índice ultravioleta con la altura*. Arica: Revista chilena de ingeniería.
- Serrano, A. (2007). *Estudio de Irradiancia de bandas del espectro solar del espectro solar, factores de banda para la caracterización de condiciones atmosféricas en Valencia*. Valencia: Tesis doctoral.
- Varo, M. (2006). *Modelización de la radiación ultravioleta solar*. Córdoba: Tesis doctoral.
- Wright, J. (2008). *Medición y predicción de la radiación solar global ultravioleta (295 nm - 385 nm)*. Heredia - Costa Rica: UNICIENCIA.

PAGINAS INTERNET

1. http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/dermatologia/v12_n2/efectos_radiaciones.htm
2. http://www.meteochile.cl/radiacion_info.html#b
3. <http://www.lfabolivia.org/>
4. <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnradiacion.htm>
5. <http://www.conida.gob.pe/>
6. <http://www.senamhi.gob.pe>
7. <http://www.ozoneaq.gsfc.gov/>

ANEXO 1

CODIGO FUENTE DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA TIPO B EN MATLAB

Con este código se puede calcular la radiación ultravioleta solar B, el % indica el comentario acerca de la variable que se está trabajando.

```

%% PROGRAMA DE CALCULO RADIACION ULTRAVIOLETA B - MODELO 01
%%
function [igb]=igsuma(n)
oz=0.239;% Columna de ozona ingresada por el usuario para
determinado dia.
dn=1:1:365;% Dias del año
R=2*pi*(n-1)./365;% Angulo del dia en radianes (Ec: 2.5)
Eo=1.000110 +
(0.034221.*cos(R)+0.001280*sin(R)+0.000719*cos(2*R)+0.00007
7*sin(2.*R));% Factor de correccion (Ec: 2.4)
zi=0.006918-0.399912*cos(R)+0.070257*sin(R) -
0.006758*cos(2*R)+0.000907*sin(2*R) -
0.002697*cos(3*R)+0.00148*sin(3*R);% angulo de declinación
en radianes (Ec: 2.6)
Et=(0.000075 + 0.001868*cos(R)-0.032077*sin(R) -
0.014615*cos(2*R)-0.04089*sin(2*R))*229.18;% Ecuacion del
tiempo en minutos (Ec: 2.7)
for t=6:18;% el tiempo empieza 6.34
if t<=11|t>=13
h= t + (12-t)*((4*(76-70.0882)+ Et)/60)/6;% Donde 76 es
la longitud estandar de Peru.
else
h= t + ((4*(76-70.0882)+ Et)/60);% Tiempo solar
verdadero (Ec:2.10 )
end
w=(pi/180)*15*(12-h);%Angulo horario (Ec: 2.12)
phi=-13.8795*(pi/180);% latitud geografica de UPINA en
radianes
%coscnit=-0.08884+0.9018*cos(w)
coscnit=sin(zi) .*sin(phi)+cos(zi) .*cos(phi) .*cos(w);%
coseno del cenit (Ec: 2.12)
cnit=acos(coscnit);% angulo cenital
mr=(coscnit + 0.15*(93.885-cnit*180/pi).^(-1.253)).^-1;% masa
optica relativa de aire general (Ec: 2.16)
p=1013.25*exp(-0.0001184*3960);% Presionatmosferica en
UPINA, altura 3960 msnm (Ec: 2.18)
ma=mr*(p/1013.25);% masa optica relativa de aire a una
determinada altura (Ec:2.17 )
re=6370;% Radio Terrestre
z3=20;% altura sobre el nivel del mar (km)
mo=(1+(20/6370))./(((coscnit).^2) + 2*(20/6370)).^(0.5);%
masa optica de ozono (Ec: 2.20)
L=280:1:315;% longitud de onnda para la RADIACION
ULTRAVIOLETA B
TrL=exp(-0.008735*(L).^(-4.08).*ma);% transmitancia de
raileigh (Ec: 2.25)
Io=[0.0906 0.1585 0.2692 0.3222 0.3025 0.1865 0.2546 0.3578
0.3225 0.4028 0.5596 0.6110 0.5675 0.55 0.5428 0.5453
0.5731 0.5064 0.5286 0.5024 0.47 0.4693 0.4466 0.6041

```

```

0.6278 0.3673 0.6 0.6143 0.666 0.6097 0.5055 0.7623 0.7005
0.6974 0.7428 0.686];
% Datos de la tabla 2, según Gueymard.
ko=[105 94.4 84.7 79.2 71.2 63.5 57.7 52.1 45.2 40.5 36.1
32.3 27.8 25 21.6 19.2 16.4 14.6 12.5 11.1 9.52 8.29 7.29
6.22 5.58 4.69 4.2 3.59 3.12 2.82 2.31 2.11 1.78 1.53 1.39
1.12 ];
%Datos segun la tabla 3, segunGueymard.
Toz=exp(-ko.*oz.*mo);% Transmitancia de ozono (Ec: 2.28)
fc=0.9003+0.00325*cnit-(9.04914*10^-5)*cnit^2;% Ecuación
deducida (Ec: 2.33)
wo=1;
TaL=exp(-0.1*(L).^(-1.3)*ma);%transmitancia de aerosol (Ec:
2.26)
In=((Eo.*TrL.*TaL) ).*Toz.*Io;%Irradiacia espectral directa
(Ec: 2.23)
Idr=((0.5*(1-TrL) .*TaL) ).*Toz.*Io.*coscnit;%Irradiancia
espectral difusa Rayleigh (Ec: 2.30)
Ida=(fc*wo*(1-TaL) .*TrL) .*Toz.*Io.*coscnit;%Irradiancia
espectral difusa producida por aerosoles (Ec: 2.32)
Pa=Toz.*[0.5*(1-TrL) .*TaL)+(1-fc) .*wo*(1-
TaL) .*TrL];%albedo atmosferico (2.34)
Idm=(In.*coscnit+Idr+Ida) .* (0.35/0.8) ;%(Ec: 2.36)
Ig=(In.*coscnit+Idr+Ida+Idm) ;%Irradiancia global en el
suelo(Ec: 2.38)
igb(t)=trapz(L,Ig) ;% Forma integrada de la irradiancia
global (Ec: 2.42)
end
    igb(1:5)=[]
    x=igb;
    ti=6:18;
plot(ti,igb,'--bs')
grid
igb'

```

ANEXO 2

CODIGO FUENTE DEL INDICE ULTRAVIOLETA TIPO B EN MATLAB

```

%% PROGRAMA DE CALCULO DEL INDICE UV
%%
function [IUVER]=indice(n)
oz=0.239; % Columna de ozona ingresada por el usuario para determinado
dia.
dn=1:1:365;% Dias del año
R=2*pi*(n-1)./365;% Angulo del dia en radianes (Ec: 2.5)
Eo=1.000110 +
(0.034221.*cos(R)+0.001280*sin(R)+0.000719*cos(2*R)+0.000077*sin(2.*R)
);% Factor de correccion (Ec: 2.4)
zi=0.006918-0.399912*cos(R)+0.070257*sin(R) -
0.006758*cos(2*R)+0.000907*sin(2*R) -
0.002697*cos(3*R)+0.00148*sin(3*R);% angulo de declinación en radianes
(Ec: 2.6)
Et=(0.000075 + 0.001868*cos(R)-0.032077*sin(R)-0.014615*cos(2*R)-
0.04089*sin(2*R))*229.18;% Ecuacion del tiempo en minutos (Ec: 2.7)
for t=6:18;% el tiempo empieza 6.34
if t<=11|t>=13
    h= t + (12-t)*((4*(76-70.0882)+ Et)/60)/6;% Donde 76 es la
longitud estandar de Peru.
else
    h= t + ((4*(76-70.0882)+ Et)/60); % Tiempo solar verdadero
(Ec:2.10 )
end
w=(pi/180)*15*(12-h);%Angulo horario (Ec: 2.12)
phi=-13.8795*(pi/180);% latitud geografica de UPINA en radianes
%coscnit=-0.08884+0.9018*cos(w)
coscnit=sin(zi).*sin(phi)+cos(zi).*cos(phi).*cos(w);% coseno del cenit
(Ec: 2.12)
cnit=acos(coscnit);% angulo cenital
mr=(coscnit + 0.15*(93.885-cnit*180/pi).^(-1.253)).^-1;% masa optica
relativa de aire general (Ec: 2.16)
p=1013.25*exp(-0.0001184*3960);% Presionatmosferica en UPINA, altura
3960 msnm (Ec: 2.18)
ma=mr*(p/1013.25);% masa optica relativa de aire a una determinada
altura (Ec:2.17 )
re=6370;% Radio Terrestre
z3=20;% altura sobre el nivel del mar (km)
mo=(1+(20/6370))./(((coscnit).^2) + 2*(20/6370)).^(0.5);% masa optica
de ozono (Ec: 2.20)
L=280:1:315;% longitud de onnda para la RADIACION ULTRAVIOLETA B
TrL=exp(-0.008735*(L).^(-4.08).*ma);% transmitancia de raileigh (Ec:
2.25)
Io=[0.0906 0.1585 0.2692 0.3222 0.3025 0.1865 0.2546 0.3578 0.3225
0.4028 0.5596 0.6110 0.5675 0.55 0.5428 0.5453 0.5731 0.5064 0.5286
0.5024 0.47 0.4693 0.4466 0.6041 0.6278 0.3673 0.6 0.6143 0.666 0.6097
0.5055 0.7623 0.7005 0.6974 0.7428 0.686];
% Datos de la tabla 2, segunGueymard.
ko=[105 94.4 84.7 79.2 71.2 63.5 57.7 52.1 45.2 40.5 36.1 32.3 27.8 25
21.6 19.2 16.4 14.6 12.5 11.1 9.52 8.29 7.29 6.22 5.58 4.69 4.2 3.59
3.12 2.82 2.31 2.11 1.78 1.53 1.39 1.12 ];
%Datos segun la tabla 3, segunGueymard.
Toz=exp(-ko.*oz.*mo);% Transmitancia de ozono (Ec: 2.28)
fc=0.9003+0.00325*cnit-(9.04914*10^-5)*cnit^2;% Ecuación deducida (Ec:
2.33)
wo=1;
TaL=exp(-0.1*(L).^(-1.3)*ma);% transmitancia de aerosol (Ec: 2.26)

```

```

In=(Eo.*TrL.*TaL) ).*Toz.*Io;% Irradiacia espectral directa (Ec:
2.23)
Idr=((0.5*(1-TrL) .*TaL) ).*Toz.*Io.*coscnit;%Irradiancia espectral
difusa Rayleigh
Ida=(fc*wo*(1-TaL) .*TrL) .*Toz.*Io.*coscnit;%Irradiancia espectral
difusa producida por aerosoles
Pa=Toz.*[0.5*(1-TrL) .*TaL)+(1-fc) .*wo*(1-TaL) .*TrL];%albedo
atmosferico
Idm=(In.*coscnit+Idr+Ida) .* (0.35/0.4)%(0.2) .* (Pa) ./ (1-
0.2*Pa);%(0.35/0.8
Ig=(In.*coscnit+Idr+Ida+Idm) ;
igb(t)=trapz(L,Ig) ;
Igl=Ig(1:18) ;
Igl1=Ig(19:36) ;
La=280:297;
Lo=298:315;
Igl2=Igl1.*10.^(0.094*(298-1.01Lo) );
IUVER(t)=1.32*(40) *( trapz(La,Igl)+trapz(Lo,Igl2) );
end
IUVER(1:5)=[ ]
ti=6:18;
plot(ti,IUVER,'--rs')
grid
IUVER'
  
```

ANEXO 3

RADIACION ULTRAVIOLETA B PROPORCIONADO POR SENAMHI

Tabla 20: Registro de UVB para el mes de mayo del 2014

	25/05/2014	26/05/2014	27/05/2014	28/05/2014	29/05/2014	30/05/2014	31/05/2014
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0
07:00:08	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
08:00:08	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
09:00:08	2.5	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
10:00:08	3.4	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
11:00:08	4	3.8	3.9	3.8	3.8	3.9	3.9
12:00:08	4.2	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1	4.1
13:00:08	4	4	4	3.9	3.9	3.9	3.9
14:00:08	3.3	3.3	3.3	3.2	3.2	3.3	3.3
15:00:08	2.7	2.5		2.6	2.6	2.6	2.6
16:00:08	1.6	1.6		1.5	1.5	1.6	1.6
17:00:08	0.5	0.5		0.5	0.5	0.5	0.5
18:00:08	0			0	0	0	0

Tabla 21: Registro de UVB para el mes de junio del 2014

	01/06/2014	02/06/2014	03/06/2014	04/06/2014	05/06/2014	06/06/2014	07/06/2014	08/06/2014	09/06/2014	10/06/2014	11/06/2014	12/06/2014	13/06/2014	14/06/2014	15/06/2014	16/06/2014
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:08	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3
08:00:08	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3	1.3	1.3	0.8	0.5	1.2	1.2	0.7	0.7	1	1.2
09:00:08	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.2	1.2	2.2	2.3	1.3	1	1.7	2.3
10:00:08	3.2	3.3	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.3	1.4	3.1	3.2	1.9	2.5	3.1	3.2
11:00:08	3.9	3.9	3.9	3.7	3.8	3.8	3.8	3.8	4	1.7	3.7	3.8	2.4	3.7	3.7	3.8
12:00:08	4.2	3.8	4.1	4	4.1	4.1	4.1	4	4.3	1.6	3.9	4.2	1.7	3.3	3.6	4.1
13:00:08	4.1	3.8	4	3.9	3.5	3.9	3.9	3.9	4.2	1.5	4	4.1	1.8	3.7	3.9	4
14:00:08	3.3	2.7	3.3	3.2	3.1	3.3	3.3	3.3	3.4	1.6	3.1	3.4	2.3	3.1	3.4	3.3
15:00:08	2.9	2	2.6	2.6	2.7	2.6	2.6	2.7	2.5	1.1	2.4	2.6	2.7	1.9	2.6	2.7
16:00:08	1.6	1.3	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6	0.4	1.3	1.4	1.5	1.3	1.4	1.6
17:00:08	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.6
18:00:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Continuación

	17/06/2014	18/06/2014	19/06/2014	20/06/2014	21/06/2014	23/06/2014	24/06/2014	25/06/2014
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:08	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1
08:00:08	1.2	1.2	1.2	1.2	0.5	1.2	1.2	0.5
09:00:08	2.3	2.2	2.2	2.2	1	2.2	2.2	1
10:00:08	3.2	3.1	3.1	3.1	2.3	3.1	3.1	1.4
11:00:08	3.8	3.7	3.7	3.4	3.7	3.7	3.7	2.2
12:00:08	4.1	4	4	4	4.1	4	4	3.3
13:00:08	4	3.9	3.9	3.9	4.2	3.9	3.9	3
14:00:08	3.3	3.3	3.3	3.2	3.6	3.3	3.2	2.6
15:00:08	2.7	2.6	2.7	2.6	2.5	2.7	2.7	2.7
16:00:08	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.7	1.7	1.6
17:00:08	0.5	0.54	0.5	0.5	0.6	0.5	0.6	0.6
18:00:08	0	0	0	0	0		0	0

Tabla 22: Registro de UVB para el mes de julio del 2014

	17/07/2014	18/07/2014	19/07/2014	20/07/2014	21/07/2014	22/07/2014	23/07/2014	24/07/2014	27/07/2014	28/07/2014	29/07/2014	31/07/2014
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:08	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3
08:00:08	1	1	0.8	0.7	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	0.9	1.2	1.3
09:00:08	1.8	2.2	2.3	2.1	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.1	2.3	2.4
10:00:08	1.8	3.2	3.1	2.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	2.3	3.3	3.3
11:00:08	2.2	3.6	3.7	2.6	3.9	3.9	4	4.1	4.1	2.3	4	4
12:00:08	2.1	4.4	3.4	3	4.2	4.3	4.4	4.5	4.5	3.2	4.3	4.2
13:00:08	2.3	4.2	4.1	4	4.2	4.2	4.7	4.2	4.2	3.2	4.3	4.1
14:00:08	1.4	3.8	2.5	2.6	1.8	3.5	3.6	3.2	3.2	3.2	2.8	3.5
15:00:08	1.2	2.4	1.6	2	2.2	2.9	2.2	3	3	3	1.9	2.9
16:00:08	0.5	0.8	0.9	1	1	1.9	1.3	1.3	1.3	1.9	2	1.8
17:00:08	0.7	0.2	0.3	0.5	0.8	0.8	0.6	0.4	0.4	0.8	0.6	0.7
18:00:08	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0.1	0.1

Tabla 23: Registro de UVB para el mes de agosto del 2014

	01/08/2014	02/08/2014	03/08/2014	04/08/2014	05/08/2014	06/08/2014	07/08/2014	08/08/2014	09/08/2014	10/08/2014	11/08/2014	12/08/2014	13/08/2014	14/08/2014	15/08/2014	16/08/2014
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:08	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4
08:00:08	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	0.5	0.4	0.4	1.4	0.9	1.4	1.4	1.2	1.5	1.5
09:00:08	2.4	2.4	2.4	2.4	2.1	2.5	1.3	0.9	0.9	2.5	2.3	2.4	2.6	2.3	2.7	2.6
10:00:08	3.3	3.4	3.4	3.4	3.6	3.6	2.1	1.7	2	3.4	3.6	3.6	3.6	3.7	0	3.6
11:00:08	4	4	4	4.1	4.3	4.2	2.5	2.7	3.3	4.4	4.2	4.4	4.2	4.5	4.6	4.2
12:00:08	4.4	4.3	4.4	4.4	4.5	4.7	4.8	3.3	5.2	4.5	3.1	4.8	3.8	3.3	4.7	4.5
13:00:08	4.2	4.2	4.3	4.3	4.5	4.8	2.9	2.9	4.5	4.5	4.6	3	3.1	2.1	4.6	4.5
14:00:08	3.6	3.6	3.6	3.6	4	4.2	3.3	3	3.2	4.1	3.7	2.6	2.3	1.8	3.8	3.8
15:00:08	3	3	2.9	3	2.9	2.5	3	3	3.2	2.4	2.8	1.9	2.7	2.1	3.2	3.1
16:00:08	1.9	1.9	1.9	1.9	2	1.1	1.8	1.3	2.2	1.6	1.8	1.2	1.7	0.5	2.1	2
17:00:08	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.8	0.4	0.8	0.4	0.8	0.5	0.8	0.4	0.8	0.8
18:00:08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Continuación

	17/08/2014	18/08/2014	19/08/2014	20/08/2014	21/08/2014	22/08/2014	23/08/2014	24/08/2014	25/08/2014	26/08/2014	27/08/2014	28/08/2014	29/08/2014	30/08/2014	31/08/2014
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00:08	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.5
08:00:08	1.5	1.1	1.2	1.6	1.5	1.6	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	0.8	0.6	0.9	1.7
09:00:08	2.6	1.3	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.6	2.5	2.7	2.7	1.9	1.1	2.4	2.5
10:00:08	3.6	1.4	3.3	3.7	3.6	3.7	3.7	3.5	3.5	3.7	3.7	2.8	2.2	3.5	3.7
11:00:08	4.2	2.4	3.9	4.4	4.3	4.3	4.4	4.1	4.2	4.1	4.1	3.7	2.9	4	4.5
12:00:08	4.6	2.4	4.1	4.7	4.6	4.6	4.7	4.6	4.7	3.2	3.2	3.5	3.6	5.1	5
13:00:08	4.5	3	4.5	4.6	4.5	4.5	4.5	4.4	3.1	3.7	3.7	2.9	3.1	4.9	4.7
14:00:08	3.9	1.5	3.1	3.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.5	2.2	2.2	2	2.9	2.9	3.8
15:00:08	3.1	1.4	2.4	3.2	3.2	3.2	3.2	3.1	2.6	1.6	1.6	1.8	1.7	1.3	1.3
16:00:08	1.6	1	1	2.1	2.1	2.1	2.1	2	1.7	1.7	1.7	1.2	0.8	0.8	1.2
17:00:08	0.5	0.4	0.6	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.2	0.3	0.8
18:00:08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1

Tabla 24: Registro de UVB para el mes de setiembre del 2014

	01/09/2014	02/09/2014	03/09/2014	04/09/2014	05/09/2014	06/09/2014	07/09/2014	08/09/2014	09/09/2014	10/09/2014	11/09/2014	12/09/2014	13/09/2014	14/09/2014	15/09/2014
06:00:08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
07:00:08	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0	0.2	0.4	0.5	0.7
08:00:08	1.4	1.7	1.9	1.1	0.5	0.9	1.8	1.8	1.9	1.8	0.2	0.6	1.2	1.2	1.9
09:00:08	1.7	3	3	1.7	0.9	1.1	3	3	3.2	3	0.4	1.7	2.1	2.2	3.3
10:00:08	3.3	4.1	4	1.2	2.3	2.3	4	4	4.3	4	0.9	1.6	2.8	2.7	3.8
11:00:08	4.8	4.8	4.3	0.7	2.9	3.3	4.8	4.7	4.9	4.9	1.3	1.9	2.8	3.9	5.3
12:00:08	5	4.7	5	1.3	2.6	3.1	5	4.9	5.1	4.5	1.6	3.3	3.2	3	5.1
13:00:08	4.6	4.8	4.7	2.6	2.1	4.6	4.7	4.8	4.8	2.4	1.6	2.8	3	2.4	5.2
14:00:08	4.2	4.1	3.7	3.2	1.6	2.6	4.3	4.5	2.1	2.1	2.2	1.2	2.1	1.7	4.8
15:00:08	3.4	2.8	1.7	2.7	1.5	2.3	3.4	2.3	1.9	2.5	2.2	0.7	1.8	1.2	2.2
16:00:08	2.1	2.2	0.6	1.1	1.1	1.5	2.1	1.3	1.4	1.9	1.7	1	2.2	1	1.8
17:00:08	0.9	0.9	0.4	0.5	0.8	0.4	0.9	0.7	0.7	0.9	1	0.8	0.9	0.9	0.9
18:00:08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Continuación

	16/09/2014	17/09/2014	18/09/2014	19/09/2014	20/09/2014	21/09/2014	22/09/2014	23/09/2014	24/09/2014	25/09/2014	26/09/2014	27/09/2014	28/09/2014	29/09/2014	30/09/2014
06:00:08	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.1	0.1
07:00:08	0.5	0.7	0.7	0.4	0.4	0.3	0.5	0.8	0.6	0.2	0.1	0.1	0.3	0.9	0.9
08:00:08	1.5	1.9	2	0.8	1.1	0.7	1.2	2.1	1.9	1.3	1	0.6	0.7	2.1	2.2
09:00:08	2.8	3.3	3.3	2.3	2.2	1.2	1.5	3.3	1.9	1.6	2.4	2.4	1.5	2.6	3.4
10:00:08	4.1	4.5	4.4	2.7	1	1.2	2.1	4.4	1.6	2.1	3.5	4.5	1.4	4	4.4
11:00:08	4.1	5.1	5.2	3.7	2.1	1.8	3.1	4.3	2.8	2.1	4.4	5.4	2.9	5.6	5.1
12:00:08	3.4	5.2	4.9	5.2	2.8	2	3.6	5.5	3.2	3.7	4.6	4.4	2.8	5.6	5.4
13:00:08	3.9	7.56	4.2	4.9	3.8	2.4	3.7	4.6	3.5	2.3	5.1	5	0.7	3.1	5
14:00:08	4.6	4.4	2.4	2.6	4	2.8	4	4.2	1.8	1.9	4.5	2	1	4	4.1
15:00:08	3.8	3.4	2.5	0.6	3.2	1.9	3	3.8	2.2	1.3	2.1	2.8	1.3	3.4	2.7
16:00:08	1.5	2.3	1.6	0.9	1.8	1.3	1.6	2.4	1.2	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.3
17:00:08	0.4	1	0.7	0.2	0.9	0.6	1	1	0.6	0.8	0.7	0.8	0.5	0.6	0.4
18:00:08	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Tabla 25: Registro de UVB para el mes de octubre del 2014

	01/10/2014	02/10/2014	03/10/2014	04/10/2014	05/10/2014	06/10/2014	07/10/2014	08/10/2014	09/10/2014	10/10/2014	11/10/2014	12/10/2014	13/10/2014	14/10/2014	15/10/2014	16/10/2014
06:00:08	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0.1
07:00:08	0.6	0.6	0.5	0.8	1	0.3	0.5	0.7	1	1	0.6	0.4	1	1.1	1.1	1.1
08:00:08	1.6	1.7	1.8	1.2	2.3	1.2	0.7	1.1	2.3	2.4	1.2	1.2	2.3	2.3	2.4	2.4
09:00:08	3.1	2.4	1.5	1	3.6	1.8	1.5	1.7	3.7	3.7	1.6	2.3	3.5	3.5	3.3	3.5
10:00:08	3.9	2.5	2.4	1.9	4	1.3	3.3	2	3	4.2	2.4	3.3	4.6	4.3	4.5	4.4
11:00:08	4.6	2	3.8	2.4	2.8	2	3.7	3.1	2.1	4.2	3	4.1	4.9	5	5.3	4
12:00:08	4.8	3	5.1	3.2	3.2	3.4	2.7	3.4	4	3.5	3.9	4.5	3.3	3.8	5	5.1
13:00:08	4.8	3.2	4.3	1.7	2.6	2.6	3.3	4.7	5.1	4.9	3.1	4.2	4	2.5	4	4.5
14:00:08	3.9	1.3	3.9	0.9	2.5	3	1.3	4.9	4.2	3.1	4.8	2.8	2.8	3.3	4.5	3.9
15:00:08	3.2	0.5	3.4	0.4	3.4	3.3	1.3	3.6	3.3	2.6	2.8	2.9	2.5	2.3	3.6	3.3
16:00:08	1.9	0.7	2.3	1	1.8	1.8	1	1.4	1.1	1.2	1.4	2.2	2.1	0.9	2.2	1.6
17:00:08	0.9	0.3	1.1	0.3	1	0.8	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.9	0.7	0.5	1	0.8
18:00:08	0.1	0	0.2	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

Continuación

	17/10/2014	18/10/2014	19/10/2014	20/10/2014	21/10/2014	22/10/2014	23/10/2014	24/10/2014	25/10/2014	26/10/2014	27/10/2014	28/10/2014	29/10/2014	30/10/2014	31/10/2014
06:00:08	0.2	0.2	0.1	0.2	0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0
07:00:08	1	1.1	0.3	1	0.3	0.7	0.8	0.8	0.9	1	1.1	1	1.1	1.1	0.1
08:00:08	2.4	2.3	0.8	2.4	1.1	1.3	2.2	1.7	2.2	2.2	2.4	2.5	2.4	2.4	0.1
09:00:08	3.6	3.6	2.5	3.8	1.7	3.3	3.1	3.6	2.9	2.5	3.6	4.1	3.5	3.5	0.1
10:00:08	4.5	4.3	2.8	2.9	2.3	4.8	2.6	4.5	4.6	2.3	4.7	4.8	4.2	4.5	0.3
11:00:08	5.1	3.5	4.3	3.7	3.3	2.9	2.9	4.8	4	3.7	4.1	3.3	5.7	4	0.5
12:00:08	5.1	3.2	4.8	4	3.1	2.7	1.5	4.4	2.9	4.9	3.5	2.8	4.2	3.5	1
13:00:08	5.1	3.1	5.4	2.1	3.6	2.3	1.3	5.4	2.9	5	2.1	1.1	4.7	3.3	1.5
14:00:08	4.5	2.3	4.8	1	2.7	3	1.9	3	2.8	1.9	3.7	3	4.1	3.2	2.2
15:00:08	3.7	1.6	3.6	2	1.7	1.7	2.2	3.2	2.6	1.3	2.3	1.4	3	2.3	2.2
16:00:08	2.1	1.4	1.2	1.4	0.7	1.7	0.6	1.1	0.7	1.1	1.3	1.5	1.2	2.2	1.3
17:00:08	0.9	0.9	0.5	0.8	0.3	0.6	0.2	0.3	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.8	0.7
18:00:08	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2

Tabla 26: Registro de UVB para el mes de noviembre del 2014

	01/11/2014	02/11/2014	03/11/2014	04/11/2014	05/11/2014	06/11/2014	07/11/2014	08/11/2014	09/11/2014	10/11/2014	11/11/2014	12/11/2014	13/11/2014	14/11/2014	15/11/2014
06:00:08	0.2	0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
07:00:08	0.9	0.2	1.1	1.2	0.7	1	1.3	1.3	1.1	0.8	1	1.2	0.4	0.6	0.7
08:00:08	1.7	1	2.4	2.5	2.1	1.8	2.5	2.5	2.4	1.3	2.5	2.4	1.3	1.4	1.5
09:00:08	2.4	2.9	3.6	3.7	3.3	2.6	3.7	3.7	3.6	1.9	3.6	2.9	1.5	1.4	2.6
10:00:08	3.7	1.8	3.1	4.7	4.1	4.5	4.7	4.6	4.1	1.4	4.1	4.4	1.8	3.1	1.9
11:00:08	4.6	3.2	2.9	5.3	4.9	4.3	5.3	5.2	3.5	0.5	4.3	2.9	1.8	1.6	3.2
12:00:08	4.4	2.4	4	4.9	3.3	3.1	4.7	4.7	2	0.2	4.7	2.7	1.6	3.4	4.1
13:00:08	5.1	3.1	4.8	5.3	1.8	3.7	5.4	5.3	3.1	0.6	5.3	0.9	2.4	2.6	4.1
14:00:08	2.9	1.9	2.4	4.8	1.7	4	4.7	4.7	4.7	0.8	4.1	1.7	2	3	4
15:00:08	2.6	1.7	2.3	3.7	1.7	3.2	3.6	3.7	2.4	0.7	0.8	3.1	1.9	1.8	1.6
16:00:08	2	1.4	0.6	0.9	0.9	1.8	2	2.4	1.3	0.5	0.3	1.4	0.7	1.3	0.6
17:00:08	1.1	0.5	0.1	0.5	0.5	0.8	0.9	0.9	0.2	0.3	0.2	0.5	0.3	0.6	0.5
18:00:08	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2

Continuación

	16/11/2014	17/11/2014	18/11/2014	19/11/2014	20/11/2014	21/11/2014	22/11/2014	23/11/2014	24/11/2014	25/11/2014	26/11/2014	27/11/2014	28/11/2014	29/11/2014	30/11/2014
06:00:08	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.2
07:00:08	0.7	0.7	0.9	0.9	0.1	1.1	1	0.3	0.7	0.4	0.6	0.8	0.4	0.7	1.1
08:00:08	1	1.9	1.8	1.4	0.1	1.3	2.5	1	1.4	1.9	1	1.8	0.6	1.7	2.5
09:00:08	1.6	2.3	3.8	1.7	0.1	2.2	3.1	1.1	3.2	2.6	0.7	1.9	1.3	3.9	3.9
10:00:08	3.3	4	4.4	3.5	0.7	2.8	2	1.4	2.8	4.2	0.4	4	2.4	3.8	5
11:00:08	4.7	4.1	3.5	3.3	0.6	3.3	3.7	1.4	4.4	2.6	0.5	5.3	2.8	3.2	5.3
12:00:08	5.3	5.3	2.3	3.8	0.2	4.1	4.1	2.5	4	2.8	0.9	4.9	3.2	4	4.3
13:00:08	5.6	5.4	2	4.6	0.4	4.5	4.2	2.7	4.3	2.2	1.3	3.3	4.1	4.7	5.2
14:00:08	4.7	3.7	1.8	4.7	1	2.6	3.4	1.9	3.1	1.9	1.7	3.3	4.7	3.8	4.1
15:00:08	2.1	1.9	1.3	2.3	1.3	2.2	2.9	1.4	3	2.3	1.9	2.1	3.4	3	3.4
16:00:08	1.2	1	0.8	1.2	1.9	1.6	2.4	1.1	1.1	2.4	1	1.4	1.3	1.1	2.5
17:00:08	0.7	0.9	0.6	0.7	1.1	0.5	1.3	0.7	0.9	1.1	0.5	0.6	1	1	1.3
18:00:08	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	0.2	0.1	0	0.2	0.2	0.2

Tabla 27: Registro de UVB para el mes de diciembre del 2014

	01/12/2014	02/12/2014	03/12/2014	04/12/2014	05/12/2014	06/12/2014	07/12/2014	08/12/2014	09/12/2014	10/12/2014	11/12/2014	12/12/2014	13/12/2014	14/12/2014	15/12/2014	16/12/2014
06:00:08	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0	0.1	0
07:00:08	0	0.6	0.3	0.6	1.1	1.1	0.5	0.9	0.9	0.9	1.1	0.8	1	0.1	0.8	0.4
08:00:08	0.1	2.1	0.9	1.6	2.4	2.4	2.2	2.1	1.5	2.3	2	1.9	2.1	0.2	1.1	1
09:00:08	0.2	3.8	1.4	3	3.6	3.5	3.6	2.6	3.6	3.4	2.2	3.3	3.4	0.2	1.7	1.8
10:00:08	0.4	5.1	1.3	2.8	4.6	4.5	4.8	2.8	3.7	4.5	2.9	4.4	3.6	0.4	1	2.2
11:00:08	0.4	5.1	0.8	2.6	4.9	4.9	4.2	2.9	3.6	4.1	3.1	5.1	3.4	1.5	1.6	3.2
12:00:08	0.9	3.7	0.8	2.8	5.2	4.9	1.6	4.1	2.6	3.8	2.7	4.7	2.7	1.8	2.9	3
13:00:08	1.6	2.6	0.7	3	5.3	5.5	0.9	5.5	3.4	1.8	4.7	5.3	4.8	2.3	3	5.5
14:00:08	2.7	1.8	1.6	2.3	4.9	3.1	2.1	4.5	0.9	3.5	2.6	4.6	3.1	3.2	1.6	2.3
15:00:08	3.2	1	2.4	1.6	2.8	2.6	1.6	1.7	0.7	2.5	1.6	2.6	1.7	3.9	1.8	1.5
16:00:08	1.6	1.1	2.3	1.1	2.1	0.8	0.2	0.6	1.2	0.9	1.1	1.5	0.8	2	2.1	1.5
17:00:08	0.9	0.7	1.5	1.3	1.1	0.3	0.2	0.3	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	1.3	0.7	0.7
18:00:08	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1

Continuación

	17/12/2014	18/12/2014	19/12/2014	20/12/2014	21/12/2014	22/12/2014	23/12/2014	24/12/2014	25/12/2014	26/12/2014	27/12/2014	28/12/2014	29/12/2014	30/12/2014	31/12/2014
06:00:08	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1
07:00:08	0.5	0.4	0.8	0.9	0.5	0.8	0.4	0.8	1	0.8	1	0.4	0.7	0.8	0.7
08:00:08	1	0.9	1.4	1.9	1.4	1.8	0.5	1.6	2	2.1	2.1	0.8	2.1	1.5	1.7
09:00:08	2.6	1.4	1.7	2.7	3.3	1.2	1.4	1.9	3.4	1.8	2.7	0.8	3.7	1.9	2.6
10:00:08	1.8	2.9	2.2	2.6	3.6	2.1	1.4	2.7	3.8	2.6	3.8	0.8	4.7	1.9	2.5
11:00:08	1.2	4.6	1.8	2.3	1.1	2.1	2.4	4.4	3.7	3.3	3.1	1.8	5.6	2.6	3.2
12:00:08	0.9	1.8	1.5	3.1	0.5	2.4	2.9	3.3	3.8	5.3	2.5	1.8	5	2.7	3.3
13:00:08	2.2	1	3.7	2.9	0.9	2.3	3.5	2.1	3.6	3	1.6	2.1	5.7	2.1	3.4
14:00:08	2.7	0.7	1.8	2	1.1	2.4	3.5	2.6	3	3	1	2.3	3.1	2	3.5
15:00:08	3.8	0.7	1.6	2.2	1	2.9	3.3	1.7	2.7	3	1.7	2	2.1	1.2	1.2
16:00:08	1.2	0.4	1.2	1.7	0.3	1.1	1.5	1.3	2	1.3	1.4	1.7	1.4	0.9	0.9
17:00:08	0.3	0.5	0.4	0.8	0.2	0.9	1.1	0.9	1.2	1.1	0.4	1.1	1	0.6	0.7
18:00:08	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.3	0.4	0.3	0.4	0.3	0.1	0.4	0.5	0.4	0.3

Fuente: Datos proporcionados por el SENAMHI.