



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO  
ABAD DEL CUSCO**



**ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRIA EN CIENCIAS MENCION FISICA**

**ESTUDIO DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA EN EL DISTRITO DE  
YAUQUISQUE, PROVINCIA DE PARURO, DEPARTAMENTO CUSCO.**

**TESIS**

**PRESENTADO POR:**

**Br: CARLOS ENRIQUE PINARES GAMARRA**

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS MENCION FISICA**

**ASESOR: Mgt. Pedro Fortunato Zanabria Pacheco**

**CUSCO – PERU**

**2022**

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad, realizar un estudio de la radiación solar global y ultravioleta en el distrito de Yaurisque, se trabajó con datos de radiación solar global y ultravioleta UV datos que fueron registrados en la estación meteorológica CECADE ubicado en el distrito de Yaurisque (30 km al SO de la ciudad del Cusco), provincia de Paruro, departamento Cusco. La metodología utilizada en la presente investigación es descriptiva comparativa entre la radiación ultravioleta UV y la radiación solar global, se estudió y analizó el comportamiento de la radiación UV, y radiación solar global para diferentes días del año 2016 donde se encontró que existe un comportamiento de curvas similar y de proporción directa entre estas variables, así se obtuvo que entre las 12 y 13 horas se obtienen valores de 10 a 14 índice de radiación ultravioleta y 812 a 863 W/m<sup>2</sup> de radiación solar global, estos resultados muestran valores de UV que superan altamente los mostrados por la OMS.

Además, se encontró valores altos de radiaciones UV en la estación de verano que alcanzan índices de 12, para el año 2016 extremadamente alto, en comparación a la estación de invierno donde se llega a valores máximos de índice 10, correspondiente a un nivel alto según la OMS.

Se estableció la correlación entre radiación ultravioleta y radiación solar global con datos registrados por la estación de CECADE, donde se obtuvo la ecuación lineal empírica para el año 2016, VERANO  $y = 0.0161x - 0.6018$ , con un coeficiente de correlación lineal de Pearson  $R^2 = 0.9566$ , INVIERNO  $y = 0.0146x - 0.7294$ , con un coeficiente de correlación lineal de Pearson  $R^2 = 0.948$ , verificándose en ambos casos una muy alta correlación lineal.

Se observa un comportamiento similar entre ambas curvas, validando de esta manera la ecuación empírica.

**Palabras clave :** *Radiación global, radiación directa, radiación UV.*

## Abstract

The purpose of this research work is to carry out a study of global solar and ultraviolet radiation in the Yaurisque district, working with data on global solar radiation and ultraviolet UV data that were recorded in the CECADE meteorological station located in the district of Yaurisque (30 km SW of the city of Cusco), Paruro province, Cusco department.

. The technique used in the present investigation is descriptive-comparative between UV ultraviolet radiation and global solar radiation, the behavior of UV radiation, and global solar radiation was studied and analyzed for different days of the year 2016 where it was found that there is a behavior of Similar curves and direct proportion between these variables, thus it was obtained that between 12 and 13 hours values of 10 to 14 ultraviolet radiation index and 812 to 863 W / m<sup>2</sup> of global solar radiation are obtained, these results show UV values that they highly exceed those shown by the WHO.

In addition, high values of UV radiation were found in the summer season that reach indexes of 12, for the year 2016 extremely high, compared to the winter season where maximum values of index 10 are reached, corresponding to a high level according to The WHO.

The correlation between ultraviolet radiation and global solar radiation was established with data recorded by the CECADE station, where the empirical linear equation was obtained for the year 2016, SUMMER  $y = 0.0161x - 0.6018$ , with a Pearson linear correlation coefficient  $R^2 = 0.9566$ , WINTER  $y = 0.0146x - 0.7294$ , with a Pearson linear correlation coefficient  $R^2 = 0.948$ , verifying in both cases a very high linear correlation.

A similar behavior is observed between both curves, thus validating the empirical equation.

**Keywords:** *Radiación global, radiación directa, radiación UV.*

## **DEDICATORIA**

Esta investigación va dedicada a todo ser humano interesado en hacer investigaciones en beneficio de la sociedad.

A mis hijos Carlos, Cesar y Marco por su paciencia y darme las fuerzas para seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme iluminado en todas las circunstancias de la investigación y a todos aquellos seres que con su tiempo, palabras, entusiasmo e ideas han hecho realidad esta investigación y de manera especial al **ASESOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN: Mg. Pedro Fortunato Zanabria Pacheco** por su apoyo constante.

## **PRESENTACIÓN**

Presento ante ustedes la Tesis intitulada “Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.”, con la finalidad de determinar las variaciones diarias , mensuales y estacionales del índice y la dosis de la radiación ultravioleta (UV) en la estación meteorológica CECADE para el año 2016; en cumplimiento del reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco para obtener el Grado Académico de Maestro en Ciencias – mención Física y la expectativa de que el presente trabajo sirva de base y referencia para futuras investigaciones .

El Autor.

## INTRODUCCIÓN

La radiación solar que llega a la tierra está compuesta por una gama de radiaciones distribuidas en el espectro electromagnético y constituyen los elementos más importantes para la vida terrestre, ya que modifica el clima de la Tierra y ejerce una influencia significativa sobre el medio ambiente. La vida en la Tierra, está sujeta a la radiación solar, un componente de importancia es la radiación ultravioleta (UV) que incide sobre los organismos vivientes, determina e influye en varios procesos biológicos beneficiosos para la salud en la producción de la vitamina D y a la vez perjudiciales para la naturaleza y el hombre. Así, por ejemplo, si la cantidad de radiación ultravioleta que recibe un ser vivo es elevada, se agotan los mecanismos de autoprotección de algunas especies biológicas y sus organismos pueden resultar seriamente dañados. En el caso del ser humano, la exposición continuada a altos valores de radiación ultravioleta puede derivar en envejecimiento prematuro de la piel, aparición de arrugas y aumento de la probabilidad de padecer enfermedades relacionadas con la depresión y el estrés que provocan alteraciones en el sistema inmunológico, que pueden desencadenar en cataratas oculares y cáncer de piel. La Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no ionizante (ICNIRP), han publicado la Guía Práctica, “Índice UV Solar Mundial”, con el objeto de concientizar a la población y advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección cuando se exponen a la radiación UV. Esta guía práctica está destinada a ser usada por las autoridades nacionales y locales, organizaciones no gubernamentales que realizan actividades de prevención del cáncer de piel entre otros.

El acceso a datos confiables sobre radiación solar y en particular radiación ultravioleta son escasos y no siempre están disponibles, por lo que la información proporcionada por el CECADE, es de gran importancia para el análisis de la variabilidad de la Radiación UV a lo largo del año.

La investigación está estructurada de la siguiente manera:

En el Capítulo 1. Se puntualiza el planteamiento del problema, donde se consigna la descripción, la formulación del problema, así como la justificación y los objetivos en relación de las variables de estudio.

En el Capítulo 2. Se presenta el marco teórico, donde se dan a conocer los antecedentes de la investigación, las bases teóricas y la definición de términos básicos en relación con las variables de estudio. La radiación solar, el sol, la tierra y relaciones astronómicas

Capítulo 3. Se presenta las hipótesis y variables de la investigación, así mismo se da a conocer la radiación ultravioleta, el estudio de la capa de ozono, el índice UV y los Factores que influyen en el índice UV, influencia de la atmósfera en la radiación ultravioleta en la nubosidad, altitud, la reflectancia, altura en la radiación ultravioleta.

Capítulo 4. Se presenta la Metodología de Estudio , ámbito de estudio , tipo y nivel de investigación , técnicas de análisis e interpretación de la información , así también se presentan los efectos beneficiosos para la salud sin embargo la exposición excesiva se relaciona con diferentes tipos de cáncer donde el efecto agudo más conocido es el eritema donde uno de los fenómenos es debido al adelgazamiento de la capa de ozono la cual permite el ingreso de mayores niveles de radiación UV – B que es la que produce mayor impacto solar sobre la salud. La OMS hace un esfuerzo por examinar los actuales riesgos para la salud por la exposición prolongada de la

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.



radiación solar.

Capítulo 5: Se tiene los resultados y discusión , así también el análisis y la descripción estadística de la Irradiación, Irradiancia e IUV causado principalmente por la presencia de nubes y aerosoles para distintos días y para cada periodo estacional donde se incluye una clasificación de los meses para el aprovechamiento de la energía solar recibida y se establece una relación lineal de la fracción de radiación Ultravioleta en relación a la radiación global.

Finalmente se presentan las conclusiones más relevantes de este trabajo , sugerencias , recomendaciones y la bibliografía empleada en la elaboración de la tesis.

RESUMEN  
 ABSTRACT  
 PALABRAS CLAVE  
 AGRADECIMIENTO  
 PRESENTACION  
 INTRODUCCION

## INDICE GENERAL

### Contenido

<b>I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>23</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema .....</b>	<b>24</b>
<b>1.1.1 Formulación del problema. ....</b>	<b>24</b>
<b>a) Problema general .....</b>	<b>26</b>
<b>b) Problemas específicos .....</b>	<b>26</b>
<b>1.2 Justificación de la investigación.....</b>	<b>26</b>
<b>1.3 Objetivos .....</b>	<b>27</b>
<b>1.3.1 Objetivo general .....</b>	<b>27</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>27</b>
<b>II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.....</b>	<b>28</b>
<b>2 Antecedentes del estudio .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1 Alcances y limitaciones .....</b>	<b>32</b>
<b>2.2 LA RADIACIÓN SOLAR.....</b>	<b>34</b>

<b>2.2.1</b>	<b>El Sol y la Tierra.....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.1.1</b>	<b>El Sol.....</b>	<b>34</b>
<b>2.3</b>	<b>La Tierra.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.1</b>	<b>La atmósfera terrestre:.....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Troposfera .....</b>	<b>36</b>
<b>2.3.3</b>	<b>Estratosfera .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.4</b>	<b>Mesosfera .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3.5</b>	<b>Ionosfera .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4</b>	<b>Movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol .....</b>	<b>38</b>
<b>2.5</b>	<b>Movimiento del Sol respecto al observador terrestre. ....</b>	<b>44</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Coordenadas Geográficas: .....</b>	<b>44</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Posición del sol.....</b>	<b>45</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Coordenadas ecuatoriales.....</b>	<b>45</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Coordenadas horizontales: .....</b>	<b>46</b>
<b>2.5.5</b>	<b>Coordenadas Celestes: .....</b>	<b>47</b>
<b>2.6</b>	<b>Equinoccios:.....</b>	<b>48</b>
<b>2.7</b>	<b>Solsticio de verano: .....</b>	<b>49</b>
<b>2.8</b>	<b>Solsticio de invierno: .....</b>	<b>50</b>
<b>2.8.1</b>	<b>Número de horas de sol de un día.....</b>	<b>53</b>
<b>2.8.2</b>	<b>Cálculo del azimut y altura solar.....</b>	<b>54</b>

<b>2.8.3</b>	<b>Posición relativa del Sol respecto a una superficie plana.</b>	<b>56</b>
<b>2.9</b>	<b>El espectro electromagnético.</b>	<b>57</b>
<b>2.10</b>	<b>Definición de magnitudes referentes a la radiación.</b>	<b>59</b>
<b>2.10.1</b>	<b>El radiador perfecto y sus propiedades</b>	<b>62</b>
<b>2.10.2</b>	<b>Naturaleza ondulatoria.</b>	<b>63</b>
<b>2.10.3</b>	<b>Naturaleza corpuscular.</b>	<b>63</b>
<b>2.11</b>	<b>Radiación solar.</b>	<b>64</b>
<b>2.11.1</b>	<b>La constante solar.</b>	<b>64</b>
<b>2.11</b>	<b>Radiación global difusa y directa.</b>	<b>67</b>
<b>2.12</b>	<b>Instrumentos de medida de radiación solar.</b>	<b>69</b>
<b>2.13</b>	<b>LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA</b>	<b>71</b>
<b>2.13.1</b>	<b>Radiación Solar Ultravioleta.</b>	<b>71</b>
<b>2.13.2</b>	<b>Radiación ultravioleta eritemática</b>	<b>72</b>
<b>2.14</b>	<b>La radiación UV</b>	<b>77</b>
<b>2.15</b>	<b>Subtipos de la Radiación solar ultravioleta</b>	<b>80</b>
<b>2.16</b>	<b>El índice UV</b>	<b>82</b>
<b>2.17</b>	<b>Dosis Mínima Eritémica (MED).</b>	<b>88</b>
<b>2.18</b>	<b>Cálculo del índice UV</b>	<b>89</b>
<b>2.19</b>	<b>Factores que influyen en el índice UV</b>	<b>93</b>
<b>2.20</b>	<b>IMPACTO DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA EN LA SALUD Y EL</b>	<b>99</b>

<b>MEDIO AMBIENTE .....</b>	<b>99</b>
<b>a. Efectos de la Radiación UV .....</b>	<b>99</b>
<b>b. Efectos cutáneos quemaduras solares, bronceado y envejecimiento de la piel.....</b>	<b>100</b>
<b>c. Cánceres de piel no melánicos.....</b>	<b>100</b>
<b>d. Melanoma maligno.....</b>	<b>101</b>
<b>e. Efectos oculares.....</b>	<b>102</b>
<b>f. Sistema inmunológico.....</b>	<b>103</b>
<b>g. Agotamiento de la capa de ozono y efectos sobre la salud relacionados con la radiaciónUV .....</b>	<b>104</b>
<b>h. Efecto de la radiación UV en plantas .....</b>	<b>104</b>
<b>j. Efecto de la radiación solar en el calentamiento global:.....</b>	<b>105</b>
<b>k. Organización Meteorológica mundial de la Salud .....</b>	<b>107</b>
<b>III HIPOTESIS Y VARIABLES.....</b>	<b>110</b>
<b>3.1 Hipótesis general .....</b>	<b>110</b>
<b>3.2 Hipótesis específicas.....</b>	<b>110</b>
<b>3.3 Variables.....</b>	<b>110</b>
<b>IV METODOLOGÍA .....</b>	<b>111</b>
<b>4.1 Ámbito de estudio: localización política y geográfica .....</b>	<b>111</b>
<b>. Coordenadas geográficas .....</b>	<b>111</b>
<b>4.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION .....</b>	<b>112</b>
<b>4.2.1 INVESTIGACION DESCRIPTIVA.....</b>	<b>112</b>

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

4.2.2 INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA .....	112
4.3 TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION .....	113
V. RESULTADOS Y DISCUSION .....	115
5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	115
5.1 Introducción. ....	115
. Métodos estadísticos e integración .....	115
.Promedio.....	115
.Media Aritmética.....	115
.Método de integración.....	115
.....	115
5.1.1 Promedios horarios de la Irradiancia, Irradiación e IUV para distintos días y condiciones de nubosidad 01 de Enero 2016. ....	121
5.1.2 Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016. ....	124
5.2 Fracción de radiación Ultravioleta en relación a la Radiación Global. Radiación Solar, índice Ultravioleta y relación entre ambas para los meses del año 2016.verano,inverno, primavera, otoño.....	182
5.3 Temperaturas mínimas y máximas de las estaciones meteorológicas para el distrito de Yaurisque, Paruro Cusco 2016.....	192
5.3.1 Primavera .....	192
5.3.2 Verano.....	193
5.3.3 Otoño.....	193
5.3.4 Invierno.....	194
Discusión de la variación de la dosis UV en las estaciones del año 2016.....	213

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>216</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>218</b>
<b>SUGERENCIAS .....</b>	<b>219</b>
<b>Glosario de términos .....</b>	<b>220</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>221</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>223</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura 1 Estructura del Sol. Fuente: Ciencia Gráfica .....</b>	<b>34</b>
<b>Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.</b>	

Figura 2 Espectro de radiación solar fuera de la atmósfera de la Tierra (área amarilla) y a nivel del mar para condiciones de cielo despejado (área roja) (Fuente: Phinet).....	35
Figura 3 Movimiento de la Tierra alrededor del Sol. ....	40
Figura 4 Fuente: (Ciencia Grafica).....	40
Figura 5 Intersección del plano, paralelo al del ecuador, con el plano de la eclíptica.....	42
Figura 6 (Evolución de la declinación) a lo largo del año. Fuente (Ciencia grafica).....	43
Figura 7 (Visualización de latitud y la longitud) Fuente: Ciencia gráfica. ....	44
Figura 8 Visualización de Latitud y la Longitud: Fuente: Ciencia gráfica. ....	45
Figura 9 (Sistema de coordenadas ecuatoriales) Fuente Ciencia gráfica.....	46
Figura 10 (Sistema de coordenadas horizontales) Fuente Ciencia gráfica.....	47
Figura 11 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica.....	48
Figura 12 (Recorrido aparente del sol) : Fuente Ciencia gráfica. ....	49
Figura 13 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica.....	49
Figura 14 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica. ....	50
Figura 15 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica. ....	51
Figura 16 (Sistemas de ejes ecuatorial y horizontal) Fuente: Ciencia gráfica.....	52
Figura 17 (Representación del azimut $\psi$ y de la altura solar $\alpha = A$ ).....	55
Figura 18 (representación de los ángulos $\gamma$ , orientación azimutal de la superficie y $\beta$ Inclinación).....	56
Figura 19 (Radiación y espectro electromagnético) Fuente: Ciencia gráfica.....	57
Figura 20 (Espectro electromagnético) Fuente: Ciencia grafica.....	58
Figura 21 (Espectro de la irradiancia solar incidente en la atmosfera correspondiente a una UA y su comparación con la que se recibiría si el sol fuese un cuerpo negro a 5777 K).....	66
Figura 22 (El agujero en la capa de ozono) Fuente (Ciencia gráfica). ....	76
Figura 23 Espectro electromagnético ondas ultravioleta Marduk (Ciencia 2013).....	81
Figura 24 Espectro electromagnético ondas ultravioleta Marduk (Ciencia 2013).....	81
Figura 25 Variación temporal de la radiación solar ultravioleta Paruro 19 de Diciembre 2016.....	85



Figura 26 Factores que influyen en el índice UV.(Fuente ciencia grafica).....	94
Figura 27 Efectos de la exposición a la radiación UV sobre la salud. Fuente (Ciencia grafica) .....	99
Figura 28 Mapa Distrital de Yaurisque. Fuente: <a href="http://blogdemitrabajo.blogspot.com/">http:// blogdemitrabajo.blogspot.com/</a> .....	111
Figura 29 Evaluación horaria del IUV para el 1ro de Enero del 2016. Fuente: Elaboración propia .....	120
Figura 30 Evaluación horaria de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 1ro de Enero del 2016. ....	120
Figura 31 Evaluación horaria promedio del IUV para el 1ro de enero del 2016.Fuente propia.....	123
Figura 32 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 1ro de Enero del 2016 .....	123
Figura 33 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 8 de enero del 2016. ....	127
Figura 34 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para Enero del 2016.....	128
Figura 35 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el mes de Enero del.....	128
Figura 36 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 29 de febrero .....	131
Figura 37 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 29 de febrero .....	131
Figura 38 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para febrero 2016.....	132
Figura 39 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para febrero 2016.Fuente propia ....	133
Figura 40 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 14 de marzo 2016.....	135
Figura 41 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 14 de marzo 2016.....	135
Figura 42 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para marzo 2016. ....	137
Figura 43 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para marzo 2016. Fuente .....	137
Figura 44 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 12 de abril .....	140
Figura 45 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 12 de Abril 2016. ....	140
Figura 46 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para abril 2016.....	142
Figura 47 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para abril 2016.....	142
Figura 48 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 5 de mayo .....	145
Figura 49 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 5 de mayo 2016.....	145
Figura 50 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para mayo 2016 .....	146
Figura 51 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para mayo 2016. ....	147

Figura 52 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 6 de junio .....	149
Figura 53 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 6 de junio .....	149
Figura 54 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para junio 2016.....	150
Figura 55 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para junio 2016.....	151
Figura 56 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 10 de julio 2016. ....	153
Figura 57 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 10 de julio 2016. ....	154
Figura 58 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para julio 2016.Fuente .....	155
Figura 59 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para julio 2016. Fuente .....	155
Figura 60 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 25 de agosto 2016. ....	158
Figura 61 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 25 de agosto 2016. ....	158
Figura 62 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para agosto 2016.....	159
Figura 63 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para agosto 2016.....	160
Figura 64 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 26 de setiembre 2016. ....	162
Figura 65 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 26de setiembre .....	163
Figura 66 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para setiembre .....	164
Figura 67 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para setiembre 2016.....	164
Figura 68 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 30 de octubre .....	167
Figura 69 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 30 de octubre .....	167
Figura 70 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para octubre 2016 .....	168
Figura 71 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para octubre 2016. ....	169
Figura 72 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de noviembre .....	171
Figura 73 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de noviembre .....	172
Figura 74 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para noviembre 2016 .....	173
Figura 75 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para noviembre 2016. ....	173
Figura 76 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de diciembre.....	176
Figura 77 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de Diciembre 2016 .....	176

Figura 78 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para Diciembre 2016. ....	177
Figura 79 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para diciembre 2016. ....	178
Figura 80 Valores máximos promedios UV 2016. ....	179
Figura 81 Valores UV máximos anual 2016. ....	180
Figura 82 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el año 2016. ....	181
Figura 83 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el año 2016. ....	181
Figura 84 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016.Fuente .....	185
Figura 85 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016. ....	185
Figura 86 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016. ....	186
Figura 87 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016.....	187
Figura 88 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016. ....	187
Figura 89 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016.Fuente .....	188
Figura 90 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para Invierno 2016.Fuente .....	189
Figura 91 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para invierno 2016. Fuente .....	189
Figura 92 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para invierno 2016.....	190
Figura 93 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera.....	191
Figura 94 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera.....	191
Figura 95 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera 2016. ....	192
Figura 96 Irradiancia para junio 21, 22, 23, 24,25.....	199
Figura 97 IUV para junio 21, 22, 23, 24,25. Del 2016 .....	200
Figura 98 IUV / Irradiancia para junio 21, 22, 23, 24,25 del 2016. ....	200
Figura 99 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016. ....	202
Figura 100 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016. ....	203
Figura 101 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para invierno.....	204
Figura 102 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera 2016. ....	205
Figura 103 Valores máximos de IUV 2016.....	206

Figura 104 Valores máximos de IUV 2016.Fuente propia Yaurisque 2016 .....	208
Figura 105 Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, verano. ....	209
Figura 106 Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, otoño. ....	209
Figura 107 Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, invierno. ....	210
Figura 108 Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, primavera. ....	210
Figura 109 Fuente propia en base a datos de CECADE. ....	214
Figura 110 Fuente propia en base a datos de CECADE. ....	214

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Componentes de la atmósfera.....	36
Tabla 2 Luz Visible.....	59
Tabla 3 (Sub tipos de la radiación UV) Fuente ciencia grafica .....	80
Tabla 4 Valores de la escala del IUV .....	84
Tabla 5 Valores promedio del IUV. ....	84
Tabla 6 Valores de la Irradiancia del IUV.Fuente: propia. ....	87
Tabla 7 Dosis mínima de radiación eritematica.(MED). ....	89
Tabla 8 Equivalentes en MED/hora para valores del IUV.....	91
Tabla 9 Promedio de los valores de la MED/h .Fuente propia .....	91
Tabla 10 Promedio de los valores de la MED/h x 0,5 .....	92
Tabla 11 Promedio de los valores de la MED/h x 0,5 .....	92
Tabla 12 Promedio de los valores de la MED/h x 210 .....	92
Tabla 13 La energía MED necesaria para producir eritematema de acuerdo con el tipo de piel .....	93
Tabla 14 Valores de la Irradiancia, Irradiación e IUV.....	118
Tabla 15 Valor máximo de la irradiancia, irradiación e IUV. ....	121
Tabla 16 Valores horarios promedios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 01 de Enero 2016.....	121
Tabla 17 Valores horarios promedios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 01 de Enero 2016.....	122

Tabla 18 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016.....	124
Tabla 19 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016.....	126
Tabla 20 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016.....	126
Tabla 21 Valores horarios promedio mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV, enero 2016.....	127
Tabla 22 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 29 de febrero 2016.Fuente propia.....	129
Tabla 23 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 29 de Febrero 2016. ....	130
Tabla 24 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 29 de febrero 2016. ....	130
Tabla 25 Valores horarios promedio mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV Febrero 2016 .....	132
Tabla 26 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 14 de marzo 2016. ....	133
Tabla 27 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 14 de marzo 2016. ....	134
Tabla 28 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV, marzo 2016.....	136
Tabla 29 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 12 de abril 2016.Fuente propia. ....	138
Tabla 30 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 12 de abril 2016. ....	139
Tabla 31 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 12 de abril 2016.....	139
Tabla 32 Valores horarios mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV abril 2016. ....	141
Tabla 33 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 05 de mayo 2016. ....	143
Tabla 34 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 05 de mayo 2016. ....	144
Tabla 35 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 05 de mayo 2016. ....	144
Tabla 36 Valores horarios mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV Mayo 2016. ....	146
Tabla 37 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 06 de junio 2016. ....	147
Tabla 38 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 06 de junio 2016. ....	148
Tabla 39 Valores horarios mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV junio 2016. ....	150
Tabla 40 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 10 de julio 2016. ....	151
Tabla 41 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 10 de julio 2016.....	152
Tabla 42 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 10 de julio 2016.....	153
Tabla 43 Valores horarios mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV Julio 2016. ....	154

Tabla 44 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 25 de agosto 2016.....	156
Tabla 45 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 25 de agosto 2016.....	157
Tabla 46 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 25 de agosto 2016.....	157
Tabla 47 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV agosto 2016.....	159
Tabla 48 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 26 de setiembre 2016. ....	160
Tabla 49 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 26 de setiembre 2016. ....	161
Tabla 50 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 26 de setiembre 2016. ....	162
Tabla 51 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV Setiembre 2016. ....	163
Tabla 52 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 30 de octubre 2016.....	165
Tabla 53 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 30 de octubre 2016.....	166
Tabla 54 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 30 de octubre 2016.....	166
Tabla 55 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV octubre 2016. ....	168
Tabla 56 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de noviembre 2016.....	169
Tabla 57 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de noviembre 2016.....	170
Tabla 58 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de noviembre.....	171
Tabla 59 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV noviembre 2016. ....	172
Tabla 60 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de diciembre 2016.....	174
Tabla 61 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de diciembre 2016.....	175
Tabla 62 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de diciembre 2016.....	175
Tabla 63 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV diciembre 2016. ....	177
Tabla 64 Valores Índice UV – B mensual promedio y máximo registrados en el distrito de Yaurisque. ....	179
Tabla 65 Valores horario promedio Anual de Irradiancia, Irradiación e IUV 2016.....	180
Tabla 66 Meses de las estaciones meteorológicas. ....	184
Tabla 67 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV verano 2016. ....	184
Tabla 68 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV otoño 2016.....	186
Tabla 69 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV Invierno 2016.....	188

Tabla 70 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV primavera 2016. ....	190
Tabla 71 Razón entre la radiación ultravioleta y total (Huv/HG).....	195
Tabla 72 Razón entre la radiación ultravioleta y total (Huv/HG) en promedio. ....	196
Tabla 73 Razón entre la radiación diaria ultravioleta y total ( Huv / HG), Enero 2016.....	196
Tabla 74 Razón entre la radiación diaria ultravioleta y total ( Huv / HG), 23 de Enero 2016. ....	198
Tabla 75 Dependencia entre la fracción solar.....	199
Tabla 76 Razón entre la radiación diaria ultravioleta y total para el agrupamiento basado en las condiciones de cielo en Yaurisque, siendo (HUV / HG ) m la razón promedio, Yaurisque 2016).....	199
Tabla 77 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV verano 2016. ....	201
Tabla 78 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV otoño 2016. ....	202
Tabla 79 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV invierno 2016. ....	203
Tabla 80 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV primavera 2016. ....	204
Tabla 81 Valores horario promedio mensual del IUV para las estaciones meteorológicas 2016.....	207
Tabla 82 Valores de la correlación de linealidad estacional para el año 2016. ....	211

## **I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

## **1.1 Planteamiento del problema**

### **1.1.1 Formulación del problema.**

Existe una creciente preocupación por la influencia de la radiación ultravioleta sobre la superficie terrestre, más aún por el deterioro de la capa de ozono, ello está causando daños en la salud de las personas que por diversos motivos se exponen a este tipo de radiación.

La radiación UV tiene una directa relación con la salud humana, dado que el tiempo de exposición, el lugar donde se desarrollan las actividades laborales o recreativas, el color de piel entre otras formas de recibir la incidencia de la radiación, provoca enfermedades cutáneas y sobretodo el cáncer de piel. Este hecho es una preocupación de organismos de investigación como las universidades de muchos países, así como de entidades de salud como la Organización Mundial de la salud (OMS), que nos hace conocer que desde los años 70 se viene incrementando los casos de cáncer de piel, siendo las más vulnerables las poblaciones de piel clara.

Por ello en la presente investigación se presenta los parámetros de la variación del índice UV dadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Meteorológica Mundial (OMM), etc. a fin de conocer con certeza el comportamiento de este tipo de radiación, con el propósito de sugerir a nuestra comunidad y a los cuidados para poder librarse de los peligros que representa.

Las zonas alto andinas entre los 3000 a 4500 m, presentan niveles altos de Irradiación de 0,77 a 1,5 kWh / m<sup>2</sup> comparadas a las zonas de la costa y selva de 0,4 a 0,5 kWh / m<sup>2</sup> donde se da las horas del riesgo y sus efectos contra la salud de la población en particular en los niños de edad escolar.



Las diferentes instituciones y medios que promueven campañas educativas sobre los riesgos de la radiación UV en la salud, desconocen los aspectos científicos y características de la radiación global y el espectro electromagnético.

Faltan programas de información sobre las características climáticas peculiares de la región Cusco, los niveles de radiación solar de un lugar específico, los factores que determinan su intensidad: hora del día, estación, elevación, nubosidad, etc.

La gran mayoría de la población, no ha tomado conciencia sobre el incremento de la contaminación atmosférica, de los gases de efecto invernadero que agudizan y aceleran el calentamiento global de la tierra y el cambio climático, sobre todo están contribuyendo al adelgazamiento de la capa de ozono, disminuyendo la protección natural de la atmósfera de la radiación ultravioleta (UV) del sol.

El análisis y comprensión de los fundamentos científicos de la radiación solar, sus efectos beneficiosos y riesgos contra la salud, ayudara a tomar precauciones sensatas, que nos permita disfrutar del sol y de la naturaleza reduciendo los riesgos.

La radiación ultravioleta procedente de la luz solar ejerce efectos beneficiosos sobre nuestro organismo, a través de su acción sobre la piel, como la síntesis de vitamina D, pero también es responsable de efectos adversos. Entre estos últimos, el efecto más evidente e inmediato es la aparición del eritema solar, o quemadura de primer grado, especialmente visible en las pieles del tipo I y II (*Ver tabla 13*), pero también en las de tipo III durante las primeras exposiciones (Pathak, 1996; Pinnell, 2003).

Según los tipos de piel presentados en la *tabla 13* los pobladores de Yaurisque pertenecen a los Tipos II y III, piel clara y piel morena respectivamente.

Según nuestros resultados, encontramos una variación significativa en el índice promedio de la incidencia de la radiación solar ultravioleta durante el periodo de estudio- 2016 (Ver tabla 8), las cuales podrían influenciar en la salud de las personas, no podemos afirmar con certeza que la morbilidad de personas víctimas de enfermedades de radiación ultravioleta, pueden ser una incidencia directa de los rayos del sol, pero es el principal indicador porque se da en las personas adultas las cuales ya estuvieron expuestas a largos periodos de radiación solar ultravioleta.

Estas percepciones contrastan con los hallazgos de Armstrong & Krickler (2001), quienes concluyen que los tres tipos más frecuentes de cáncer de piel, células basales (BCC), carcinomas de células escamosas (SCC) y el melanoma son causados por la exposición prolongada al sol.

Con respecto al nivel de conocimiento sobre los efectos nocivos de la radiación solar ultravioleta los resultados nos permiten plantear campañas de educación ambiental para prevenir enfermedades por efectos de la radiación solar ultravioleta.

#### **a) Problema general**

1. ¿Cómo es el comportamiento del índice de radiación solar ultravioleta (UV) en el periodo 2016 en el distrito de Yaurisque – Paruro?

#### **b) Problemas específicos**

1. ¿Cuál es el comportamiento del índice de radiación solar ultravioleta (UV) mensual en el periodo 2016, en el distrito de Yaurisque que causan efectos dañinos para la salud?

2. ¿Cuál es el comportamiento del índice de radiación solar ultravioleta (UV) estacional del tipo lineal en el periodo 2016, en el distrito de Yaurisque?

### **1.2 Justificación de la investigación**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

El presente trabajo de investigación se dio a partir del incremento de la radiación UV, datos registrados por la estación CECADE en el año 2016, la cual representa un peligro para la salud de las personas. La importancia del presente trabajo de tesis, radica en la necesidad de aportar al esclarecimiento, análisis y difusión de los datos y resultados de las distintas radiaciones que llegan al Cusco, Paruro - Yaurisque, en especial la radiación UV, sus características, los diferentes factores: clima y estaciones del año, altitud, distribución horaria, etc. Este conocimiento e información permitirá a las autoridades regionales, locales y funcionarios de los Ministerios de Salud, Educación, Agricultura, entre otros, tomar las acciones y recomendaciones preventivas para mejorar la salud de la población además de mitigar los efectos adversos de la radiación solar ultravioleta (UV). Así mismo ofrecer y difundir diariamente los pronósticos del tiempo, empleando los diferentes medios de comunicación.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

1. Estudiar el comportamiento de la radiación ultravioleta en el distrito de Yaurisque registrados por la estación meteorológica de CECADE.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Describir el comportamiento de la radiación solar ultravioleta para los efectos dañinos y no dañinos sobre la población y la naturaleza .
2. . Determinar el comportamiento del índice de la radiación solar ultravioleta (UV) del tipo lineal en función a la radiación global en periodos estacionales.

## II MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

### 2 Antecedentes del estudio

En Colombia, Sánchez, Nova & Arias (2010), realizó un trabajo de investigación denominado prácticas frente a la radiación ultravioleta y características epidemiológicas de un grupo de pacientes con carcinoma baso celular en un centro de referencia nacional en Colombia, plantea la necesidad que algunos sectores de la población deben ser priorizados en campañas de prevención del carcinoma baso celular (niños y trabajadores del campo) enfocando las estrategias educativas, principalmente, en la edad escolar. Es evidente la necesidad de explorar factores de riesgo, conocimientos y hábitos frente a la radiación ultravioleta propios de nuestra población.

En España, Aceituno & Buendía (2011), realizó la investigación denominado, Melanoma, altitud y radiación UVB, en la cual halló una tendencia al aumento en la prevalencia de melanoma al ascender en altitud, siendo más intenso a partir de los 700 m.s.n.m.

En España, Gilaberte & Aguilera (2011), ejecutó el trabajo denominado La vitamina D: evidencias y controversias, llega a la conclusión que no se debe tomar el sol como fuente primordial de vitamina D, puesto que se tiene certeza de que la radiación ultravioleta es un carcinógeno cutáneo. Lo saludable es combinar una exposición solar limitada junto a una adecuada alimentación y la administración de suplementos cuando sean necesarios.

En España, Llamas & García (2010), realizó el trabajo de investigación denominado, “Cambio climático y piel: retos diagnósticos y terapéuticos”, en la cual concluye que mayor proporción de radiación UVB que alcanza la superficie terrestre, unida a hábitos poblacionales de aumento de foto exposición, junto con una fotoprotección incorrecta, hacen esperables mayores tasas de cáncer cutáneo y de foto

envejecimiento. Además, los habitantes de diversas patologías infecciosas están cambiando. Afrontar estos problemas, en caso de que se produjesen, será un reto para el dermatólogo, que tendrá una importante labor de prevención, diagnóstico y tratamiento precoz de estas patologías.

En España, Aubin (2012), realizó el trabajo de investigación denominado, Fotoinmunología. Efectos inmunológicos de las radiaciones ultravioletas y sus implicaciones en dermatología, en el cual comprobó la participación de la radiación UV en fenómenos inmunosupresores el cual lo demostró mediante experiencias de restauración de la respuesta inmunitaria aplicando filtros solares.

En Chimbote Perú , Francisco Risco Franco, representante del Departamento Académico de Energía y Física de la Facultad de Ingeniería de la universidad Nacional del Santa - Chimbote, Perú, en el 2009, en su estudio “Estimación de la Radiación UVB con Dependencia del Ángulo Cenital para la Ciudad de Chimbote”, indica que se comprobó la dependencia de la radiación UVB con el ángulo cenital para la ciudad de Chimbote y que se encontraron los valores del índice de la radiación UVB.

En Trujillo , Perú, Hipólito Francisco Flores Urquiaga y otros colaboradores de la Escuela de Física de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú, en el año 2012, en su estudio sobre “Registro y Análisis del Tiempo Atmosférico en la Ciudad de Trujillo Durante el Año 2012”, concluyen que, en verano y otoño los índices UV extremo se presentan a partir de las 8:30 o 9:30 am hasta las 3:30 o 4:00 p.m. En invierno y primavera los índices UV extremos están presentes desde las 9:30 a. m. hasta las 6:00 o 6:30 p. m. En nuestra localidad estamos expuestos diariamente a la radiación ultravioleta con índices UV extremos durante todo el año. Así mismo confirman que, la incidencia de energía solar fue alta desde el verano de enero hasta abril del otoño para volver a incrementar desde octubre de la primavera hasta diciembre del verano. Los promedios máximos de radiación anual oscilan entre 906 y 1130 W/m<sup>2</sup>.

En el distrito de Yaurisque la asociación CECADE toma datos desde el año 2007 hasta la fecha para determinar la radiación IUV mediante el instrumento Vantage Pro 2 console manual (For Vantage Pro 2 & Vantage Pro 2 Plus), el cual mide la Irradiancia, Irradiación e UV índice directamente. (Pedro Zanabria 2007 - 2018).

Se sabe científicamente que la concentración aceptable y considerada saludable de exposición a radiación solar es aquella recibida de manera involuntaria, esto es, aquella recibida sin la disposición explícita de tomar sol. Por lo tanto, toda concentración de radiación solar recibida por más de treinta minutos continuados ya es considerada peligrosa para la salud dependiendo de la hora de exposición y otros factores meteorológicos como altitud, latitud, nubosidad entre otros.

Es bien conocido el problema del adelgazamiento de la capa de ozono, también los problemas que aparecen con el tiempo provocados por la exposición al sol. Dentro de estos problemas tenemos desde los eritemas o quemaduras de la piel hasta un cáncer cutáneo.

Dentro de los factores de riesgo de susceptibilidad a sufrir un cáncer cutáneo se considera el tipo de piel, según su pigmentación, la radiación ultravioleta (UV), entre otros factores; y se reconoce que la pigmentación de la piel parece ser un factor protector en relación a los efectos de la radiación UV.

El sol juega un rol fundamental en la cantidad de radiación UV que medimos en la superficie de la Tierra. El índice UV presenta un comportamiento cíclico, lo cual es evidente si nosotros relacionamos esto con el comportamiento solar.

A nivel internacional y nacional existen investigaciones e informes técnicos acerca de los niveles de radiación global, UV y sus efectos en la salud y bienestar de la población, por su importancia destacamos los siguientes:

La Organización Mundial de la Salud (OMS), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP), ha elaborado una recomendación conjunta sobre el INDICE UV Solar Mundial, a través de una Guía Práctica, para conocer, evaluar y medir la intensidad de la radiación UV en la superficie terrestre, con recomendaciones y estrategias para aumentar el grado de concientización de la población y advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección cuando se exponen a la radiación UV.

La National Weather Services y la Environmental Protection Agency (EPA) ([www.epa.gov/sunwise/uvindex.html](http://www.epa.gov/sunwise/uvindex.html))

Han creado el índice de luz ultravioleta, este índice proporciona a las personas una idea de cuán intensa es la radiación ultravioleta en el área donde viven en una escala de 1 al 16+. Un mayor número significa un riesgo más alto de exposición a los rayos UV, y una mayor probabilidad de quemadura solar y daño a la piel que podría en última instancia conducir a cáncer de piel.

La radiación ultravioleta (UV) del sol y de las camas de bronceado está clasificado como un carcinógeno humano por el Departamento de Salud y Servicios Humanos de EE.UU. y la Organización Mundial de la Salud. Están aumentando significativamente las siguientes enfermedades relacionadas con la exposición a la radiación UV: el cáncer de piel (melanoma y no melanoma). El envejecimiento prematuro de la piel y otros daños. Las cataratas y otras lesiones oculares. La supresión del sistema inmunológico entre otros.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

El SENAMHI del Perú ha desarrollado un Atlas de Energía Solar para el Perú y para cada una de las regiones donde se han calculado los niveles de radiación solar global para las diferentes estaciones del año. Zanabria P. (2004), ha realizado un estudio y mapeo para la Radiación Solar en el Cusco, identificando 4 zonas, donde las diferentes provincias presentan características similares de radiación solar. Estos documentos son la base para evaluar la performance anual de la radiación UV en el Cusco.

a. La Asociación Civil CECADE Qosqo Yachay Wasi ([www.cuscosolar.org](http://www.cuscosolar.org)), desde el 2007 viene registrando datos sobre radiación solar global, UVB y otras variables meteorológicas, las mismas que están siendo monitoreadas y evaluadas para crear una base de datos normalizada, que permita predecir el clima en la zona de influencia de dicha organización (Provincia de Paruro), de igual modo para mostrar la influencia del NIÑO y la NIÑA en dicha región. Dichos datos están disponibles para la ejecución del presente Trabajo de tesis.

## **2.1 Alcances y limitaciones**

En el presente trabajo de investigación se ha realizado el análisis de datos diario, mensual, anual y estacional de la radiación global, con estos datos se obtiene la radiación ultravioleta mediante una ecuación lineal, posteriormente se han realizado los promedios de irradiancia, radiación e índice ultravioleta de los 365 días del año 2016 para el Distrito de Yaurisque, Provincia de Paruro con la finalidad de dar a conocer los datos obtenidos a la comunidad científica y las autoridades pertinentes.

Asimismo, se hace un estudio y descripción de los efectos dañinos y no dañinos sobre la naturaleza y la población tomando como base de estudio los datos del Índice UV para el año 2016, respecto a las condiciones atmosféricas, meteorológicas y geográficas del lugar, habiendo una relación directa a mayor índice UV, mayor serán los efectos dañinos a la piel.



Mediante la presente investigación se pretende lograr evitar exponerse al sol en horas centrales del día (entre 10 am y 2 pm), utilizar un buen bloqueador solar, usar objetos que protejan nuestra piel (como lentes o gorras) y revisar el índice UV diario que hay en la ciudad.

El aporte que se tiene en la radiación global la cual varía con la altura del sol, la transparencia de la atmósfera y la nubosidad se destaca como fuente alternativa de energía en paneles fotovoltaicos, en la agricultura, y su dimensionamiento; en el cual la presente investigación de la irradiancia e irradiación contribuye en los diferentes aspectos mencionados destacando así el aporte científico.

Una de las limitaciones a las que se enfrentan las investigaciones de esta naturaleza es que existen limitados puntos de monitoreo que registren la incidencia de la radiación solar ultravioleta y data histórica de la morbilidad por efectos de la radiación solar ultravioleta de manera precisa, el cual permite determinar los riesgos que afectan a la salud de las personas.

Por otro lado, existe un escaso compromiso de las instituciones frente a los problemas de la salud, generados a partir de los cambios medioambientales. Todo ello limita el acceso a la información de primera mano.

## 2.2 LA RADIACIÓN SOLAR

### 2.2.1 El Sol y la Tierra

#### 2.2.1.1 El Sol



Figura 1 Estructura del Sol. Fuente: Ciencia Gráfica

La estructura del sol es la siguiente: 1. Núcleo 2. Zona radiactiva 3. Zona conectiva 4. Fotosfera 5. Cromosfera 6. Corona 7. Mancha solar 8. Granulación 9. Protuberancia.

El sol es una estrella de segunda o tercera generación, su diámetro es de  $1.39 \times 10^6$  km; la distancia media tierra-sol es de  $149.5 \times 10^6$  km. El sol es un reactor nuclear que por fusión convierte hidrógeno en helio. En su núcleo la temperatura alcanza  $4 \times 10^7$  K. La temperatura en su superficie es muy inferior, es alrededor de los 6 000 K. Se puede decir que la energía que nos llega del sol equivale a la emitida por un cuerpo negro que estuviese a una temperatura de 5 762 K. La radiación solar que llega a la tierra, emana esencialmente de la fotosfera del sol, emitiendo así hacia el espacio: "**Radiación Electromagnética**", ondas electromagnéticas que se desplazan a la misma velocidad:  $c = 2,99792458 \times 10^8$  m/s, velocidad de la luz. Lo que diferencia una de las otras es su longitud de onda ó su frecuencia. La radiación emitida por

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

el sol no tiene la misma intensidad a cualquier longitud de onda, sino que tiene una distribución espectral como indica la Fig.(3).

### Espectro de Radiación solar

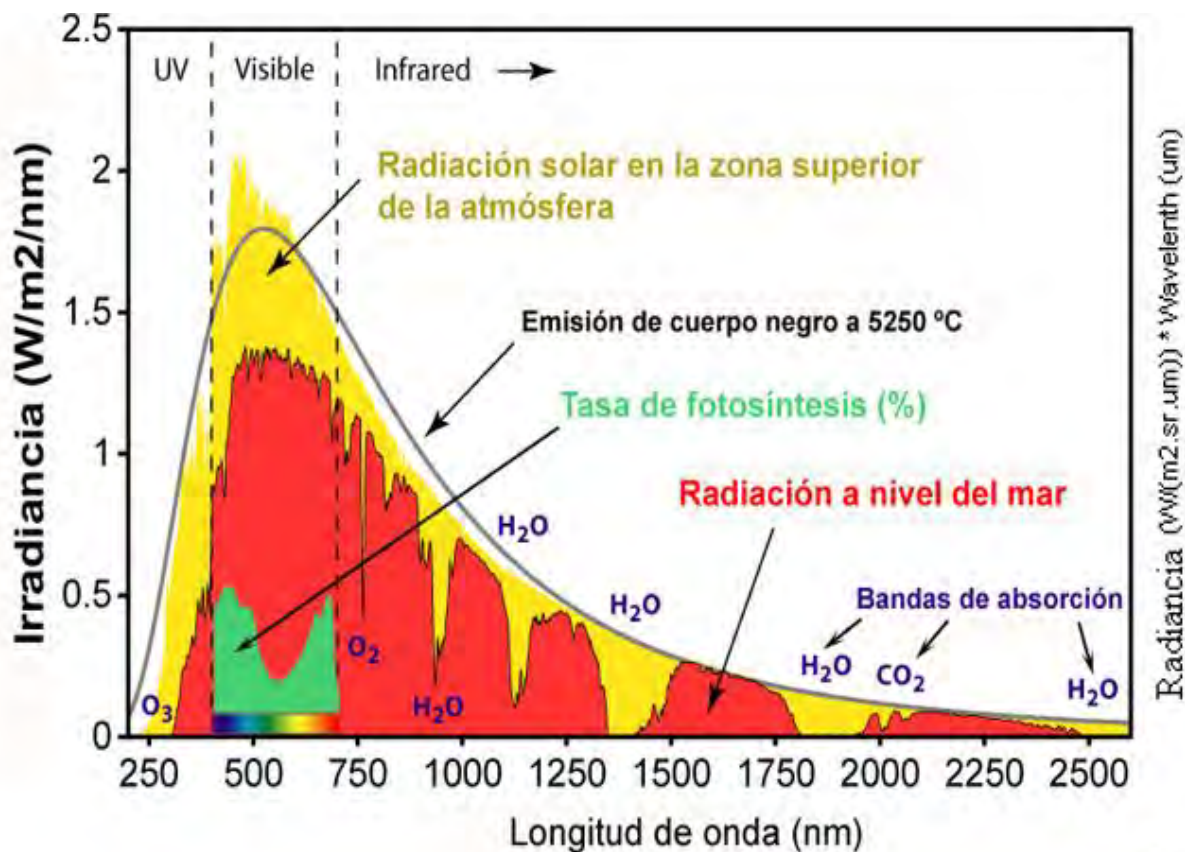


Figura 2 Espectro de radiación solar fuera de la atmósfera de la Tierra (área amarilla) y a nivel del mar para condiciones de cielo despejado (área roja) (Fuente: Phinet).

## 2.3 La Tierra.

### 2.3.1 La atmósfera terrestre:

La palabra atmósfera es un término compuesto por dos partículas: atmos, que en griego significa vapor, aire y la palabra esfera es la envoltura gaseosa que cubre a una esfera o cuerpo celeste o a un planeta. Cada cuerpo celeste tiene una atmósfera propia, de características particulares. En el caso de la Tierra, la atmósfera seca, o sea sin considerar el vapor de agua presente en ella, está compuesta por los elementos que se dan en la tabla 1.

**Tabla 1 Componentes de la atmósfera**

Nitrógeno	N 2	78,08 %
Oxígeno	O 2	20,95 %
Argón	A r	0,93 %
Anhídrido carbónico	C O 2	0,03 %

En función del comportamiento de la temperatura atmosférica con la altura, convencionalmente la atmósfera terrestre ha sido dividida en capas que, a partir de la superficie terrestre, se denominan consecutivamente: Tropósfera, Estratósfera, Mesósfera, y Ionosfera.

### 2.3.2 Troposfera

Es la zona inferior de la atmósfera que se extiende desde el nivel del mar hasta unos 16 km. Es una capa muy densa, en ella se encuentra más del 75 % del aire de la atmósfera, además contiene mucho vapor de agua condensado en forma de nubes, y gran cantidad de polvo. A ella llegan la luz

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

visible y los rayos UV que logran atravesar el resto de las capas de la atmósfera. Es la primera capa que queda en contacto con la corteza terrestre.

### **2.3.3 Estratosfera**

Tiene un espesor aproximado de 60 km y se encuentra por encima de la troposfera. Es una capa tenue donde los vapores de agua y polvo disminuyen bastante con relación a los encontrados en la troposfera. En esta zona es abundante la concentración de anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>) que tiene la propiedad de evitar el paso de las irradiaciones a la Tierra. Hacia el medio de la estratosfera se encuentra una capa de unos 15 km de espesor con abundante ozono, que algunos autores denominan ozonosfera, es la capa que absorbe casi toda la radiación ultravioleta proveniente del Sol. El ozono, O<sub>3</sub>, absorbe con gran eficacia las radiaciones comprendidas entre 200 y 330 nm, por lo que la radiación ultravioleta de menos de 300 nm que llega a la superficie de la Tierra es insignificante.

### **2.3.4 Mesosfera**

Presenta alrededor de unos 20 km de espesor. Sus capas superiores presentan abundantes concentraciones de sodio. La temperatura en esta capa se encuentra entre -70 y 90 °C. En ella se encuentra la capa D, que tiene la propiedad de reflejar las ondas largas de radio durante el día y desaparece durante la noche. Esta es la causa por la cual las ondas medias son interrumpidas durante el día y puedan reanudarse una vez que se pone el Sol. Al desaparecer la capa D, permite seguir el paso de las otras ondas hacia las capas superiores.

### 2.3.5 **Ionosfera**

Es una zona parcialmente ionizada de radiaciones solares, de gran conductividad eléctrica. En esta capa se refleja hacia la tierra las ondas de radio, por lo que es de gran utilidad en las telecomunicaciones.

La Tierra, comportándose también como un cuerpo negro a una temperatura determinada, también emite un espectro de radiación, aunque diferente al del Sol debido a que sus temperaturas son diferentes. Siguiendo la ley de Wien y considerando una temperatura media de 15 °C en la Tierra, el espectro de radiación que emite la superficie terrestre tiene su máximo cerca de los 10  $\mu\text{m}$ , que corresponde a la región del IR.

En la Tierra se tiene por un lado radiación solar incidente del sol que calienta el planeta, mientras que a su vez la Tierra emite radiación a otras longitudes de onda enfriando el planeta. El balance radiativo entre ambos espectros determina la temperatura de la Tierra y la de su atmósfera. Existen una serie de gases que absorben radiación en las longitudes de onda del espectro terrestre, pero que son transparentes a la radiación solar, por lo que incrementan la temperatura del planeta mediante el llamado “efecto invernadero”. Estos gases de efecto invernadero ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , etc.) son responsables de que la temperatura del planeta no sea más gélida, sin embargo, un incremento de estos gases en la atmósfera podría ser el responsable de un reciente aumento de la temperatura planetaria, lo que se conoce como “calentamiento global” (IPCC, 2007).

## 2.4 **Movimiento orbital de la Tierra alrededor del Sol**

La Tierra, al igual que el resto de los planetas, de acuerdo con la primera ley de Kepler, gira en torno al Sol describiendo una órbita elíptica con el Sol situado en uno de sus focos. El eje mayor

de la elipse se llama línea de los ápsides, siendo sus extremos el perihelio, o punto más próximo al Sol, y el afelio, o punto más alejado del Sol. El plano que contiene la órbita de la Tierra se denomina plano de la eclíptica.

La Tierra en su desplazamiento por la órbita solar realiza dos movimientos principales, el de rotación sobre su propio eje y el de traslación alrededor del Sol, que determinan la cantidad de luz y calor que llega a cada lugar de la superficie terrestre a lo largo del día y del año.

La distancia media de la Tierra al Sol,  $r_0$ , viene dada por el semieje mayor de la órbita terrestre y se utiliza para definir una unidad de longitud denominada unidad astronómica, UA, cuyo valor, es:

$$r_0 = 1,496 \times 10^8 \text{ km} = 1 \text{ UA} \quad (1)$$

La excentricidad de la elipse, es decir, la relación entre la distancia del centro de la elipse a un foco y el semieje mayor, es igual aproximadamente a 0.017. Esta excentricidad es tan pequeña, que la órbita terrestre puede asimilarse a una circunferencia de radio  $r_0$ . No obstante, la distancia de la Tierra al Sol,  $r$ , varía apreciablemente entre un mínimo de 0.983 UA en el paso por el perihelio, aproximadamente el día 3 de enero, y un máximo de 1.017 UA en el paso por el afelio, aproximadamente el 4 de julio. Estas variaciones originan una oscilación anual de un  $\pm 3\%$  en la cantidad de radiación solar recibida por la Tierra. La ecuación (2) describe la variación energética en función del día del año  $d_n$ , que varía entre 1 para el día 1 de enero y 365 para el día 31 de diciembre.



Figura 3 Movimiento de la Tierra alrededor del Sol.

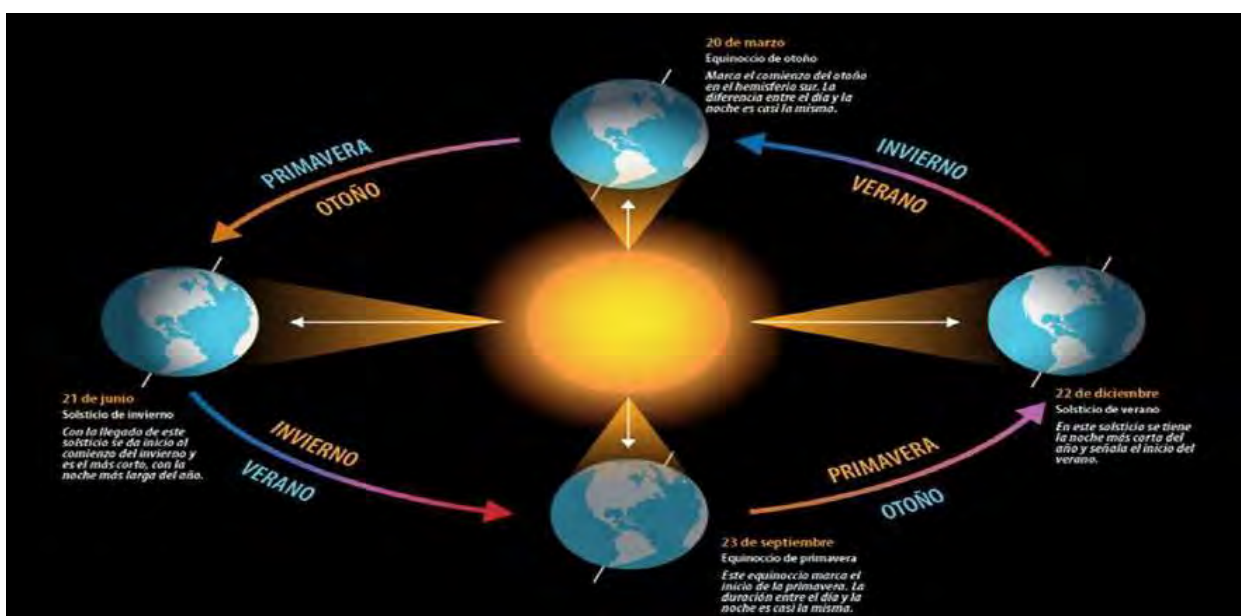


Figura 4 Fuente: (Ciencia Grafica)

$$E_0 = (r/r_0)^2 = (1 + 0,033 \cos \frac{2\pi dn}{365})^{-1} \quad (2)$$

Fuente: (Duffie y Beckman, 1980):

El período de revolución de la Tierra o intervalo de tiempo entre dos pasos consecutivos por el mismo punto de la elipse, define el denominado año sidéreo, con una duración de 365.2422 días.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.



El movimiento orbital de la Tierra no es uniforme. La velocidad lineal media es de unos 29.8 km/s, siendo máxima en el perihelio y mínima en el afelio. Este movimiento viene determinado por la segunda ley de Kepler o ley de las áreas, según la cual el radio vector que une el Sol con un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales (velocidad areolar constante).

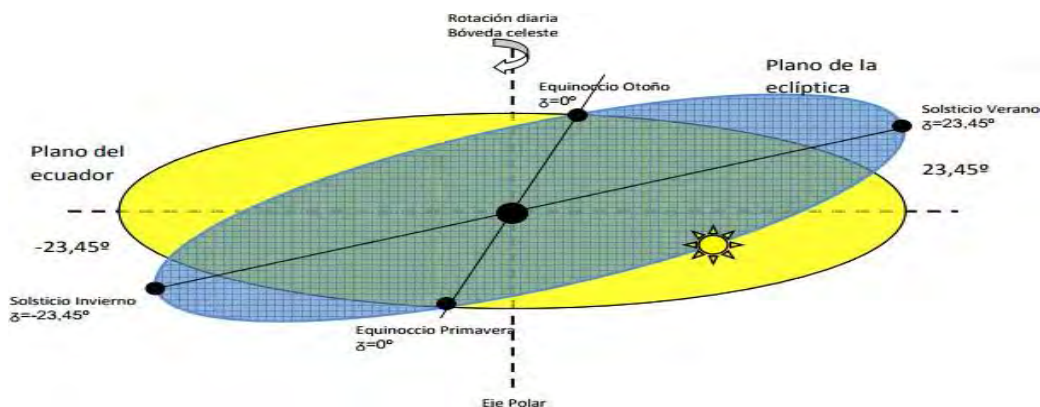
Simultáneamente a este movimiento de traslación, nuestro planeta gira sobre un eje que pasa por los polos en un movimiento de rotación, que puede suponerse perfectamente uniforme. El período de rotación de la Tierra, es decir, el tiempo que tarda en dar una vuelta completa o día sidéreo, es ligeramente inferior a 24 horas, exactamente 23 h 56 m 4.099 s. El plano normal al eje de rotación que pasa por el centro de masas de la Tierra se denomina plano ecuatorial o plano del ecuador.

El eje de rotación de la Tierra no es perpendicular al plano de la eclíptica, lo que origina las estaciones del año -invierno, primavera, verano y otoño- y la desigual duración de los días y las noches. Durante su movimiento de traslación alrededor del Sol, el eje de rotación de la Tierra se desplaza paralelamente a sí mismo, conservando prácticamente invariable su dirección en el espacio y formando siempre el mismo ángulo  $\epsilon$  con la normal al plano de la eclíptica. Este ángulo  $\epsilon$  se denomina oblicuidad de la eclíptica y su valor es  $\epsilon = 23^\circ 27'$ .

Esta oblicuidad permite definir sobre la órbita terrestre algunos puntos singulares. Para ello, consideremos un plano que pasando por el centro del Sol sea normal al eje de rotación de la Tierra. La intersección de este plano, paralelo al del ecuador, con el plano de la eclíptica recibe el nombre de línea de los equinoccios y determina sobre la órbita terrestre dos puntos conocidos como equinoccio de primavera y equinoccio de otoño. Análogamente, la perpendicular trazada en el plano de la eclíptica por el centro del Sol a la línea de los equinoccios se llama línea de los solsticios

y corta a la órbita terrestre en otros dos puntos denominados solsticio de invierno y solsticio de verano. El equinoccio de primavera, también denominado punto vernal, se utiliza frecuentemente en astronomía como punto de referencia, ya que su posición puede determinarse con gran precisión.

Cuando la Tierra está situada sobre los equinoccios (véase figura 6), lo que ocurre aproximadamente los días 21 de marzo otoño y 22 de septiembre primavera, el Sol se encuentra sobre el plano del ecuador y, por consiguiente, el número de horas de sol es igual al de horas de oscuridad en todos los lugares de la Tierra. Hacia el día 21 de junio, fecha del solsticio de invierno, el Sol ilumina más directamente el hemisferio norte de la Tierra, donde el Sol alcanza su máxima inclinación respecto al plano del ecuador. Seis meses más tarde, hacia el 22 de diciembre, fecha del solsticio de verano, la situación anterior se ha invertido. En los solsticios la diferencia entre el número de horas de sol y de oscuridad es máxima.



**Figura 5 Intersección del plano, paralelo al del ecuador, con el plano de la eclíptica.**

Con el objeto de caracterizar la localización solar respecto a la Tierra, se define el ángulo declinación solar como ángulo que forman los rayos solares con respecto al plano ecuatorial. Para su cálculo se puede utilizar, con suficiente aproximación la ecuación dada por Cooper (3)

$$\delta = 23,45 \text{sen} \left[ \frac{2\pi(dn - 284)}{365} \right] \quad (3)$$

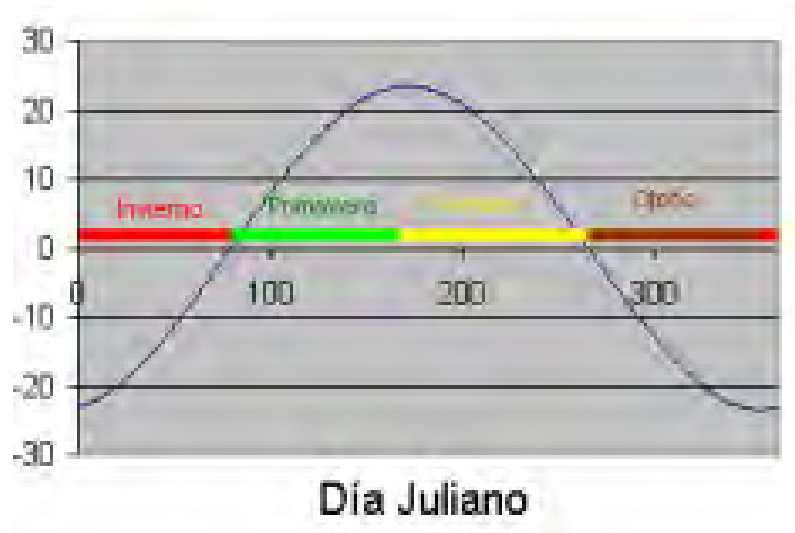
Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

Si bien, una estimación más precisa se alcanza con la expresión (4), ecuación que utiliza el valor del ángulo diario  $\Gamma$ , definido en la ecuación (5)

$$\delta = 0,3963 - 22,9132 \cos \Gamma + 4,0254 \sin \Gamma - 0,3872 \cos 2\Gamma + 0,0519 \sin 2\Gamma - 0,1545 \cos 3\Gamma + 0,0847 \sin 3\Gamma \quad (4)$$

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365} \quad (5)$$

Donde  $d_n$  corresponde al número del día juliano del año  $01 \leq d_n \leq 365$ , variando desde 1 para el 1 de enero, hasta 365 para el 31 de diciembre.



**Figura 6 (Evolución de la declinación) a lo largo del año. Fuente (Ciencia grafica)**

En la caracterización del movimiento Sol-Tierra se asumen como hipótesis: Los años duran 365 días, prescindiendo sin más del día 29 de febrero, que es ignorado. Este método conlleva un pequeño error, que sin embargo este resulta despreciable en los balances meteorológicos, pero tiene la ventaja de considerar todos los años idénticos, en lo que a posición y distancia solar se refiere. Se considera durante un determinado día del año la declinación solar es constante, de modo que la trayectoria recorrida por el Sol ese día sea exactamente un arco de paralelo celeste.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

## 2.5 Movimiento del Sol respecto al observador terrestre.

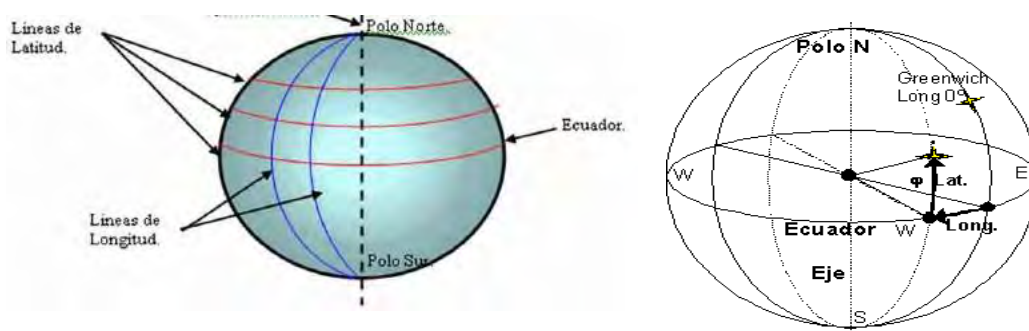
### 2.5.1 Coordenadas Geográficas:

Las coordenadas geográficas: son tres puntos que nos permiten localizar los hechos y fenómenos geográficos sobre la superficie terrestre:

i. Latitud

ii. Longitud

iii. Altitud

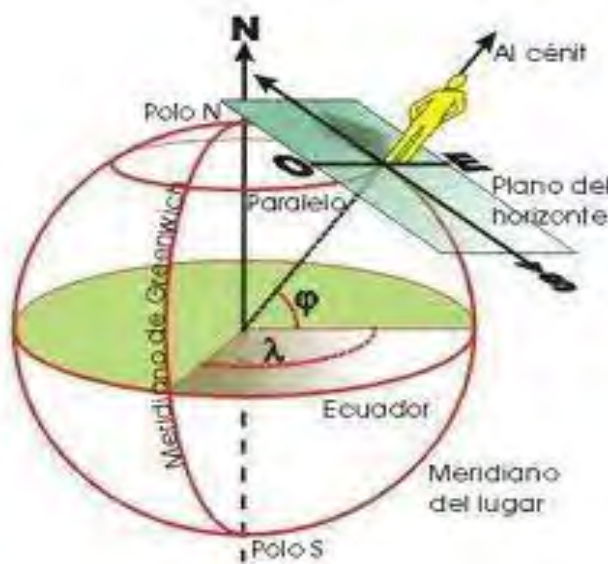


**Figura 7 (Visualización de latitud y la longitud) Fuente: Ciencia gráfica.**

La localización de un observador situado sobre la superficie terrestre vendrá dada por sus coordenadas geográficas, esto es latitud y longitud.

- a) Por latitud se define el ángulo formado por la plomada en el lugar con el plano del Ecuador.
- b) Por longitud se define como el ángulo diedro formado por el plano meridiano del lugar y el que pasa por el meridiano de Greenwich.

Para caracterizar el movimiento solar respecto a un observador situado en la superficie terrestre, consideraremos el movimiento del Sol respecto a un sistema de referencia solidario con la Tierra. Consideraremos el sistema cartesiano cuyo plano OXY coincida con el plano ecuatorial, por tanto, el eje Oz con el de rotación, y tal que el plano OZY con el plano meridiano del lugar.



**Figura 8 Visualización de Latitud y la Longitud: Fuente: Ciencia gráfica.**

### 2.5.2 Posición del sol.

La posición del sol puede determinarse mediante coordenadas ecuatoriales o mediante coordenadas horizontales.

### 2.5.3 Coordenadas ecuatoriales.

Son la declinación y el ángulo horario.

i. La declinación solar  $\delta$ , es el ángulo que forma la línea Sol – Tierra, con su proyección sobre el plano ecuatorial. En los equinoccios de primavera y otoño su valor es cero, siendo de  $-23,5^\circ$  en el solsticio de verano y de  $+23,5^\circ$  en el de invierno.



Figura 9 (Sistema de coordenadas ecuatoriales) Fuente Ciencia gráfica

#### 2.5.4 Coordenadas horizontales:

Están dadas por: el ángulo acimutal y altura sobre el horizonte o el complementario de esta, el ángulo cenital que refieren la posición del Sol al plano horizontal.



**Figura 10 (Sistema de coordenadas horizontales) Fuente Ciencia gráfica**

- i. El ángulo acimutal es el formado por la proyección sobre el plano horizontal de la línea Sol – Tierra con la línea norte- sur.
- ii. El ángulo cenital es el ángulo formado por la dirección Sol- Tierra con la vertical de lugar.
- iii. La altura Solar, es el ángulo formado por la dirección Sol – Tierra con el plano horizontal dellugar y su complementaria del anterior,  $- Z + A = 90^\circ$

### 2.5.5 Coordenadas Celestes:

Los puntos singulares de la bóveda o hemisferio celeste serían el punto más altoo **cenit** (*nadir* sería el punto opuesto), y el plano del horizonte con las orientaciones principales (**N,S, E y O**).

Las coordenadas celestes permiten localizar cualquier punto del hemisferio por su **Altura (A)** sobre el horizonte y su **Azimut (Z)** o desviación al este u oeste del Sur:

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

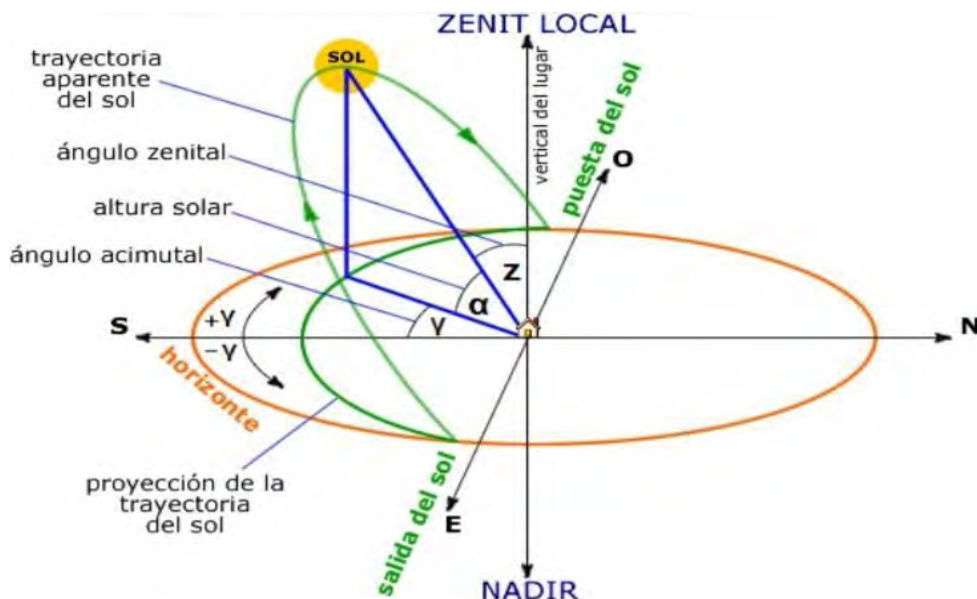


Figura 11 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica

## 2.6 Equinoccios:

El recorrido solar, el 21 de marzo y septiembre, se caracteriza porque el **Orto**(Amanecer) coincide con el **Este**, a las 6:00 horas, y el **Ocaso** (puesta de sol) con el **Oeste**, a las 18:00 horas, con una duración total de 12 horas (equi-noccio = igual-noche).

Otro dato fundamental es que al **mediodía** (12:00 hora solar) el sol se halla sobre el **Sur**, con **Azimut  $Z = 0$** , y formando con el **Cenit** un ángulo igual a la Latitud  $\varphi$ , de manera que se puede calcular la **altura solar** como  $A = 90 + \varphi$ .

Los recorridos solares diurnos son arcos de **círculo** perfectos, cuyo eje coincide con el de la tierra. El sol recorre  $360^\circ$  en 24 horas, correspondiendo a cada hora un ángulo horario  $w = 15^\circ$ . Los equinoccios son los únicos días que el recorrido diurno es de **12 horas** exactas, como se verá a continuación.  $A = 90^\circ + \varphi - \delta$

Como ejemplo para Yaurisque, con una latitud de  $13^\circ 39' 37,24''$  S

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.



, el 21 de marzo y septiembre al mediodía la altura del sol será  $A = 90 + 13^{\circ} 39' 37,24'' S$

=  $103^{\circ} 39' 37,24''$  .

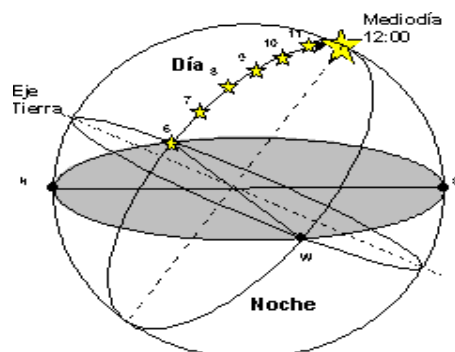


Figura 12 (Recorrido aparente del sol) : Fuente Ciencia gráfica.

## 2.7 Solsticio de verano:

El recorrido solar del 21 de Diciembre se caracteriza porque al **mediodía** (12:00 hora solar), cuando el sol se halla sobre el **Sur**, se forma con el **Cenit** un ángulo igual a **la Latitud  $\phi$  más la declinación ( $\delta = -23,5^{\circ}$ )**, de manera que se puede calcular la **altura solar** como  $A = 90 + \phi - 23,5^{\circ}$ . Como ejemplo para Yaurisque, con una latitud de  $13^{\circ} 39' 37,24'' S$ , el 21 de Diciembre al mediodía la altura del sol será  $A = 90 + 13^{\circ} 39' 37,24'' - 23,5^{\circ} = 80^{\circ} 9' 37,24''$ .

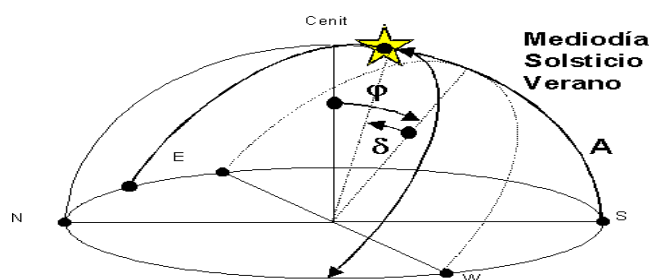


Figura 13 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica

## 2.8 Solsticio de invierno:

El recorrido solar del 21 de Junio se caracteriza porque al **mediodía** (12:00 hora solar), cuando el sol se halla sobre el Norte, se forma con el **Cenit** un ángulo igual a **la Latitud  $\varphi$  - la declinación** ( $\delta = -23,5^\circ$ ), de manera que se puede calcular la **altura solar** como  $A = 90 + \varphi + 23,5^\circ$ . Como ejemplo para Yaurisque, con una latitud de  $13^\circ 39' 37,24''$  S, el 21 de junio al mediodía la altura del sol será  $A = 90 + 13^\circ 39' 37,24'' + 23,5 = 150^\circ 44' 24''$  S más cerca del horizonte que del cenit.

El recorrido solar diurno es un arco de círculo paralelo al recorrido equinoccial, pero más próximo al horizonte, provocando que **el día dure más de 12 horas**.

Por último, el azimut del **Orto** (Amanecer) se produce entre el Oeste y el **Sudoeste**.

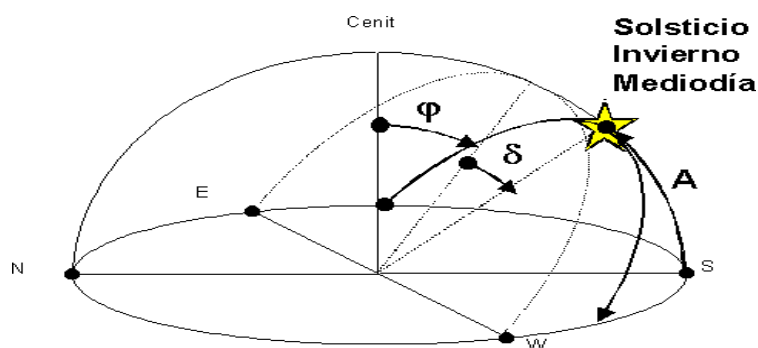


Figura 14 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica.

La posición solar en un instante determinado viene dada, en coordenadas horarias, por el ángulo horario  $\omega$  y la declinación  $\delta$  del centro del Sol. El ángulo horario es evidentemente

$$\omega = \Omega t \quad (6)$$

Donde  $t$  se refiere al tiempo solar y  $\Omega$  la velocidad angular de giro de la Tierra, que viene dada por la expresión (7). Como se refleja en la figura 16, en el tiempo solar el instante  $t=0h$  hace referencia al momento en que el Sol pasa por el plano meridiano del lugar o medio día solar. Por tanto, valores positivos hacen referencia a momentos posteriores al medio día mientras que los negativos hacen referencia a momentos anteriores.

$$\Omega = \frac{2\pi}{24} \text{ rad/h} \quad (7)$$

Se define vector de posición solar,  $\vec{PS}$  como aquel vector libre, adimensional y unitario que permanentemente se encuentre dirigido hacia el Sol.

Respecto al sistema de referencia anteriormente descrito, el vector de posición solar rotará en sentido levógiro alrededor del eje OZ, manteniéndose constante e igual a la declinación el ángulo formado con el plano OXY.

$$\vec{PS} = \text{sen}\Omega t \text{cos}\delta \, i + \text{cos}\Omega t \text{cos}\delta \, j + \text{sen}\delta \, k \quad (8)$$

$$\vec{PS} = (\text{sen}\Omega t \text{cos}\delta \quad \text{cos}\Omega t \text{cos}\delta \quad \text{sen}\delta) \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} \quad (9)$$



**Figura 15 (Recorrido aparente del sol) Fuente Ciencia gráfica.**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

(Visualización del vector de posición solar respecto de un sistema ecuatorial) Fuente: Ciencia Grafica

El observador situado en la superficie terrestre preferirá utilizar un sistema de referencia  $Ox'y'z'$ , como se representa en la figura (17) en el que los ejes vengán dados por:

$Ox'$ : Dirección Oeste,

$Oy'$ : Dirección Sur,

$Oz'$ : Dirección cenital.

Los respectivos versores asociados, vendrán dados por

$$i' = i \quad (10)$$

$$j' = \text{sen}Lj - \text{cos}Lk \quad (11)$$

$$k' = \text{cos}Lj + \text{sen}Lk \quad (12)$$



**Figura 16 (Sistemas de ejes ecuatorial y horizontal) Fuente: Ciencia gráfica**

Las ecuaciones (10), (11) y (12) en notación matricial equivalen a

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen}L & -\text{cos}L \\ 0 & \text{cos}L & \text{sen}L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} \quad (13)$$

o bien

$$\begin{bmatrix} i \\ j \\ k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen}L & \text{cos}L \\ 0 & -\text{cos}L & \text{sen}L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i' \\ j' \\ k' \end{bmatrix} \quad (14)$$

Teniendo en cuenta las expresiones (9) y (14) resulta

$$\vec{PS} = (\text{sen}\Omega\text{tcos}\delta \quad \text{cos}\Omega\text{tcos}\delta \quad \text{sen}\delta) \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \text{sen}L & \text{cos}L \\ 0 & -\text{cos}L & \text{sen}L \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i' \\ j' \\ k' \end{bmatrix} \quad (15)$$

Y esta será equivalente a:

$$\vec{PS} = \text{sen}\Omega\text{tcos}\delta \ i' + (\text{cos}\Omega\text{tcos}\delta\text{sen}L - \text{sen}\delta\text{cos}L) j' + (\text{cos}\Omega\text{tcos}\delta\text{cos}L + \text{sen}\delta\text{sen}L) k' \quad (16)$$

La expresión (16) es de gran utilidad en todos los cálculos relacionados con la astronomía solar.

Los siguientes enunciados muestran.

### 2.8.1 Número de horas de sol de un día.

A la vista de la expresión del vector de posición solar resulta fácil discriminar, para un lugar los momentos del día y de la noche. Será de día siempre que el sol se encuentre por encima del plano de horizonte, y por tanto la componente z del vector de posición sea positiva. Esto es lo que se expresa en la ecuación (17)

$$\cos\Omega t \cos\delta \cos L + \sin\delta \sin L > 0 \quad (17)$$

Y esta desigualdad se cumple siempre que

$$t \in \left(-\frac{1}{\Omega} \arccos(-tg\delta tgL), \frac{1}{\Omega} \arccos(-tg\delta tgL)\right) \quad (18)$$

Lo que implica que el instante de orto,  $t_o$  en el que amanece en un determinado día y  $t_s$ , correspondiente al ocaso o instante en el que anochece, se pueden determinar mediante las expresiones (19) y (20).

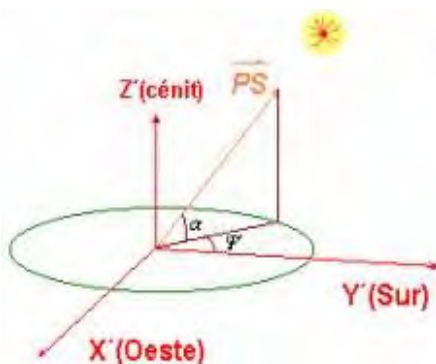
$$t_o = -\frac{1}{\Omega} \arccos(-tg\delta tgL) \quad (19)$$

$$t_s = \frac{1}{\Omega} \arccos(-tg\delta tgL) \quad (20)$$

Es evidente la imposibilidad de aplicar (19) y (20) en los casos en que  $tg\delta tgL > 1$ , estos casos corresponden a días polares o a noches polares, en ambos casos de 24 horas de duración. Podemos afirmar que  $tg\delta tgL > 1$  corresponde a días polares y  $tg\delta tgL < 1$  corresponde a las noches polares.

### 2.8.2 Cálculo del azimut y altura solar.

La figura (18) muestra la representación de los mencionados ángulos y nos permite recordar su definición.



**Figura 17**(Representación del azimut  $\psi$  y de la altura solar  $\alpha = A$ )

De este modo definimos:

**Azimut ( $\psi$ ):** ángulo determinado la proyección del vector solar sobre el plano horizontal y la dirección Sur. El azimut crece en la dirección Este. Por tanto, tendremos valores positivos del azimut en los momentos anteriores al medio día solar, y negativos tras el medio día solar. Equivale al ángulo que forma la sombra de un poste vertical con la dirección Norte.

**Altura solar (A).** Ángulo que forman los rayos solares con el plano horizontal La expresión obtenida en (16) para el vector solar permite obtener expresiones analíticas para los ángulos azimutal  $\psi$  y de altura A.

$$\Psi = \arctg\left(-\frac{\cos\Omega t \cos\delta \sin L - \sin\delta \cos L}{\sin\Omega t \cos\delta}\right) \quad (21)$$

$$A = \arcsen(\cos\Omega t \cos\delta \cos L + \sin\delta \sin L) \quad (22)$$

### 2.8.3 Posición relativa del Sol respecto a una superficie plana.

Es evidente que en numerosas ocasiones interesará conocer el ángulo con que los rayos solares inciden sobre una superficie plana con una orientación arbitraria. Con este objeto utilizaremos la expresión del vector solar dada en (16) así como la expresión del vector  $\vec{n}$ , unitario y perpendicular a la superficie. Este último puede ser expresado en función de los ángulos  $\gamma$  (orientación azimutal de la superficie) y  $\beta$  (inclinación), representados en la figura (19), tal como indica la expresión (23).

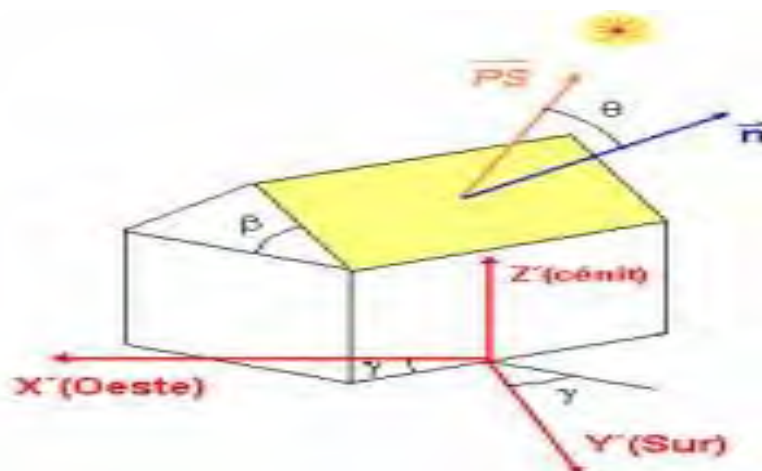


Figura 18 (representación de los ángulos  $\gamma$ , orientación azimutal de la superficie y  $\beta$  Inclinación)

$$\vec{n} = -\text{sen}\beta\text{sen}\gamma \vec{i}' + \text{sen}\beta\text{cos}\gamma \vec{j}' + \text{cos}\beta \vec{k}' \quad (23)$$

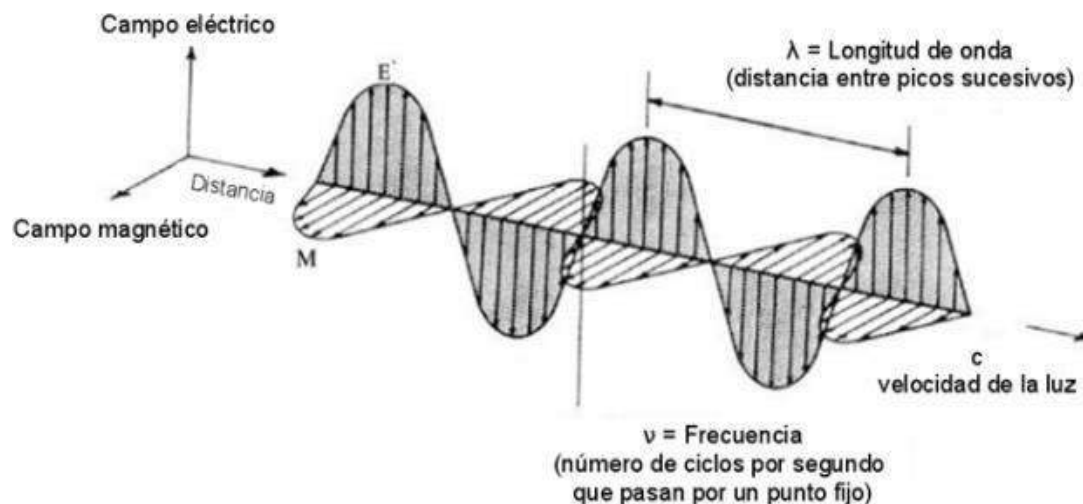
A partir de la ecuación (24), donde se realiza el producto escalar de los vectores unitarios  $\vec{n}$  y  $\vec{PS}$ , podemos obtener el valor del ángulo  $\theta$ . Es evidente que para que se dé insolación sobre la superficie, es necesario que el mencionado producto escalar sea positivo, pues esto implicará que  $\theta$  está comprendido entre  $0^\circ$  y  $90^\circ$ .

$$\cos\theta = \vec{PS} \cdot \vec{n} \quad (24)$$



$$\cos\Theta = -\sin\Omega t \cos\delta \sin\beta \sin\gamma + \cos\Omega t \cos\delta \sin L \sin\beta \cos\gamma - \sin\delta \cos L \sin\beta \cos\gamma + \cos\Omega t \cos\delta \cos L \cos\beta + \sin\delta \sin L \cos\beta \quad (25)$$

## 2.9 El espectro electromagnético



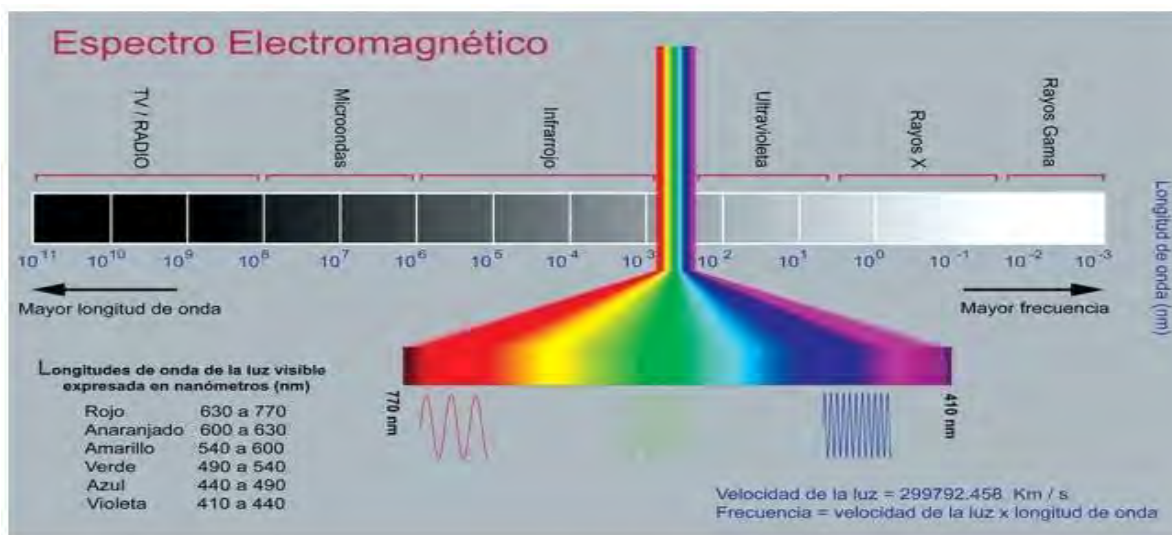
**Figura 19 (Radiación y espectro electromagnético) Fuente: Ciencia gráfica**

La energía emitida por el sol viaja en forma de ondas electromagnéticas que no necesitan de un medio material para su propagación. Su velocidad de propagación en el vacío es la misma para todas las longitudes de onda, siendo  $c = 300,000 \text{ km/s}$ , con lo cual, para una distancia media Tierra – Sol de 150 millones de kilómetros, el tiempo que tarda en llegarnos la luz solar es de unos 8,3 minutos.

Las ondas electromagnéticas se caracterizan por su longitud de onda,  $\lambda$ , o por su frecuencia,  $\nu$ , las cuales están directamente relacionadas por la expresión:

$$c = \lambda \nu$$

Se define la radiación como el modo de transmisión de energía en el espacio sin soporte de material. Esta característica distingue la radiación de la conducción molecular y turbulenta, de la convección y de la advección que es transporte de una propiedad, procesos todos que requieren el concurso de un medio material.



*Espectro electromagnético, donde se evidencia la relación entre color y longitud de onda.*

**Figura 20 (Espectro electromagnético) Fuente: Ciencia grafica**

La energía radiante es, como se sabe, de naturaleza electromagnética, y la diferencia entre los efectos producidos por distintas clases de radiaciones en sus diversas longitudes de onda. Para referencia, se da en la figura (21) un esquema del espectro electromagnético. Estas ondas se propagan a la velocidad de la luz  $c$  y se caracterizan por su longitud de onda  $\lambda$  y la frecuencia  $\nu$ , estando ambas magnitudes relacionadas por la ecuación (26)

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (26)$$

Luz visible. Es la zona más estrecha del espectro electromagnético. Su nombre procede del hecho de que es la única zona que resulta visible para el ser humano. Cubre las longitudes de onda entre 750 nm y 400 nm aproximadamente, lo que corresponde a frecuencias que van desde  $4 \times 10^{14}$  hasta  $7,5 \times 10^{14}$  Hz. La energía de los fotones va desde 1,6 eV a 3,2 eV. La radiación visible se produce por átomos y moléculas, como consecuencia del reajuste interno de los electrones. Las diferentes sensaciones que produce la luz sobre la retina, y que son transmitidas al cerebro, dan lugar a colores que dependen de la frecuencia (o longitud de onda) de la radiación electromagnética y que, para una persona promedio, corresponden ordenadamente a los siguientes intervalos (de mayor a menor longitud de onda)

**Tabla 2 Luz Visible**

Color	Longitud de Onda
Rojo	622 a 750 nm
Anaranjado	597 a 622 nm
Amarillo	577 a 597 nm
Verde	492 a 577 nm
Azul	450 a 490 nm
Añil	420 a 450 nm
Violeta	400 a 420 nm

### 2.10 Definición de magnitudes referentes a la radiación.

Para la formulación cuantitativa de las leyes de la radiación es preciso definir ciertas magnitudes pertinentes. No existe uniformidad en la notación ni nomenclatura. En lo que sigue se han adoptado las normas de la OMN y la UIFPA. Se definen:

Flujo radiante  $\Phi$ . Es la potencia emitida por una fuente, transportada por un haz o recibida por una superficie.

$$\Phi = \frac{dw}{dt} \quad (27)$$

En el Sistema Internacional se mide en vatios (W).

**Densidad de flujo radiante.** Es el flujo por unidad de superficie, o bien la densidad de energía radiante por unidad de tiempo. Cuando se considera la densidad de flujo radiante recibida por una superficie, se llama irradiancia  $I = E$ ; si se trata de la emitida por una superficie, recibe el nombre de emitancia  $M$ . Se tiene:

$$E = \frac{d\phi}{ds} \quad (28)$$

$$M = \frac{d\phi}{ds} \quad (29)$$

Se mide en  $W/m^2$ , pero aún es frecuente encontrarlo en langley (ly) por minuto ( $1 \text{ ly} = 1 \text{ cal/cm}^2$ ).

La energía radiante recibida por unidad de superficie durante un tiempo dado se llama irradiación  $H$ . Será:

$$H = \int E dt \quad (30)$$

Y se mide en  $J/m^2$ .

Magnitudes monocromáticas. Muestra la experiencia que las magnitudes anteriormente definidas reciben distintas contribuciones de las diferentes longitudes de onda, es decir, no son constantes en todo el espectro. Para precisar la contribución de cada componente espectral se definen las magnitudes monocromáticas homólogas a veces llamadas densidades espectrales, en la forma:

$$E_{\lambda} = \frac{dE}{d\lambda} \quad (31)$$

$$M_{\lambda} = \frac{dM}{d\lambda} \quad (32)$$

Con estas definiciones se cumple; evidentemente:

$$E = \int_0^{\infty} E_{\lambda} d\lambda \quad (33)$$

$$M = \int_0^{\infty} M_{\lambda} d\lambda \quad (34)$$

La absorbancia o poder absorbente,  $\alpha = d\phi_a / d\phi$  es la relación entre el flujo radiante  $\phi_a$  absorbido por el cuerpo y el que llega a la superficie del mismo; es pues, un número adimensional inferior a la unidad. Si se considera el flujo, tanto el absorbido como el que llega en un intervalo espectral  $\lambda, \lambda + d\lambda$  podemos definir la absorbancia monocromática  $\alpha_{\lambda}$ . La reflectancia o poder reflector,  $\rho = d\phi_r / d\phi$ , es la relación entre el flujo radiante  $\phi_r$  reflejado por la superficie de un cuerpo y el que llega a la misma. Es un número adimensional que cumple,  $\rho < 1$ .

La transmitancia o poder transmisor  $\tau = d\phi_t / d\phi$ , es la relación entre el flujo radiante  $\phi_t$  que se transmite a través de un cuerpo y el que incide sobre el mismo.

Dónde:

$$\alpha + \rho + \tau = 1$$

## 2.5. Ley de Kirchhoff

La emitancia monocromática  $M_\lambda$  y la absorbanza monocromática  $\alpha_\lambda$  dependen de la temperatura, de la superficie del cuerpo y de la longitud de ondas. En 1859, Gustav Kirchhoff, por consideraciones teóricas demostró que la relación entre la emitancia monocromática y la absorbanza es igual a la radiancia monocromática. O sea,

$$\frac{M_\lambda}{\alpha_\lambda} = E_\lambda \quad (35)$$

### 2.10.1 El radiador perfecto y sus propiedades

Las magnitudes características de la radiación, dependen además de la longitud de onda y de la temperatura, de la naturaleza de la superficie emisora (o receptora) del cuerpo radiante emisor (o absorbente). Con objeto de simplificar el estudio de las leyes de radiación o absorción, podemos imaginar un cuerpo ideal, al que llamamos cuerpo negro, que presenta determinadas propiedades. Puede definirse como el cuerpo que absorbe plenamente todo el flujo de energía que llega a su superficie, por tanto  $(\alpha_\lambda)_n=1$ , y teniendo en cuenta la ley de Kirchhoff, resulta

$$(M_\lambda)_n = E_\lambda \quad (36)$$

La emitancia del cuerpo negro es igual a la radiancia. Teniendo simultáneamente en cuenta las ecuaciones (35) y (36), podremos relacionar la emitancia de cualquier cuerpo con la del cuerpo negro del modo:

$$\frac{M_\lambda}{\alpha_\lambda} = (M_\lambda)_n \quad (37)$$

### 2.10.2 Naturaleza ondulatoria.

La radiación solar se propaga por el espacio como ondas electromagnéticas planas en el espacio libre. Por lo que se pueden aplicar las ecuaciones de Maxwell a partir de las cuales se obtiene que la velocidad de propagación  $c$  de cualquier onda electromagnética en un medio de permitividad  $\varepsilon = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$  y permeabilidad  $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$ , como es el caso del espacio libre, tiene valor

$$c = 1/\sqrt{\mu\varepsilon} = 2.99 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

### 2.10.3 Naturaleza corpuscular.

Desde el punto de vista corpuscular, la radiación solar puede ser considerada de acuerdo a la teoría de los fotones o de los “cuantos de energía”, como un conjunto formado por un elevadísimo número de “agrupamientos” energéticos discretos denominados fotones o cuantos (unidades naturales de transporte de energía), que únicamente se diferencian entre sí por el valor de su longitud de onda. Así, la energía de la radiación será igual a la suma de la energía de los fotones de distinta longitud de onda que la forman, dada por la ecuación

$$E = hf = hc/\lambda$$

Donde  $f$  es la frecuencia,  $h$  la constante de Planck y  $c$  la velocidad de la luz.

## 2.11 Radiación solar.

### 2.11.1 La constante solar.

Se denomina así a la cantidad de energía que nos llega del sol en la unidad de tiempo, por unidad de superficie normal a la dirección de la radiación incidente, en la superficie exterior de nuestra atmósfera.

La distribución espectral de la radiación incidente sobre la atmósfera terrestre influye en gran medida sobre la mayoría de procesos que, en ésta, al igual que en la biosfera, tienen lugar. Su medición, por métodos indirectos basados en medidas terrestres, fue abordada desde principios del siglo XX. Sin embargo, no fue hasta la llegada de la era espacial cuando se dispuso de medidas fiables. La figura (3) muestra el espectro adoptado por la Organización Meteorológica Mundial en 1981 para una distancia Sol-Tierra igual a una Unidad Astronómica. La radiancia global media incidente sobre la atmósfera Isc, magnitud que se define como constante solar. Su valor viene dado por.

$$I_{sc} = 1,367 \text{ W/m}^2$$

El valor obtenido por la NASA fue  $1353 \text{ W.m}^{-2}$ , frente al de  $1367 \text{ W.m}^{-2}$  obtenido por el WRC, siendo este segundo valor el más aceptado actualmente.

Distribución espectral como indica la Fig. (3). Muestra tres zonas, la zona amarilla corresponde al espectro de irradiancia solar extraterrestre para las diferentes longitudes de onda de los componentes del espectro. En esta zona se define la constante solar como la razón entre la energía solar total de todas las longitudes de onda incidentes sobre una unidad de área expuesta



normalmente a los rayos del sol solar. La Nasa luego de numerosas mediciones, ha establecido como valor de esta constante:

$$I_{sc} = 1353 \text{ W m}^{-2}$$

La WRC luego de mediciones realizadas entre 1969 a 1980 ( Iqbal 1983), ha propuesto el siguiente valor:

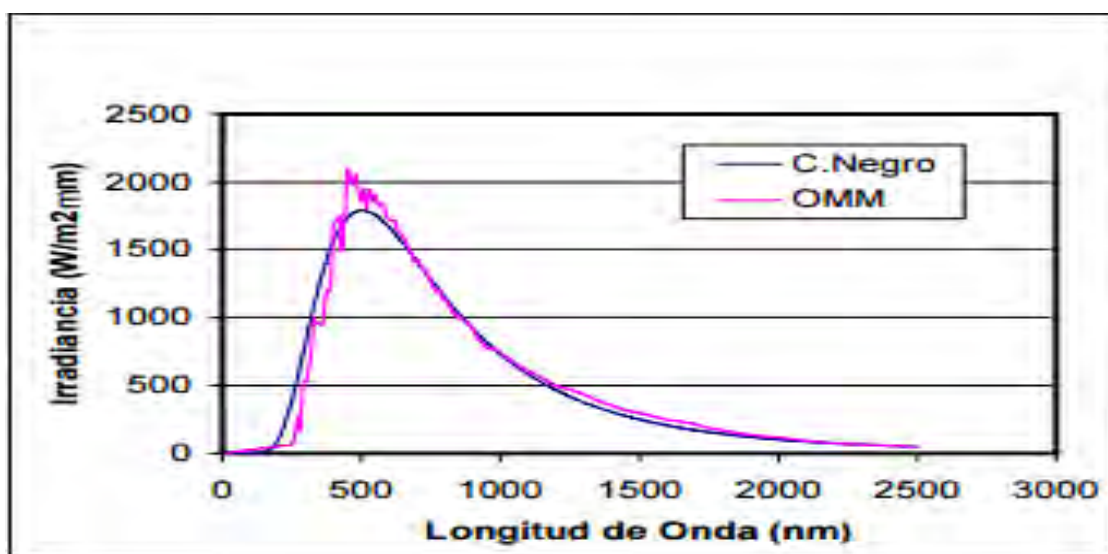
$$I_{sc} = 1367 \text{ W m}^{-2}$$

Este valor es aceptado internacionalmente, con una desviación estándar de  $1,6 \text{ W m}^{-2}$ . La curva continua de la gráfica, corresponde al espectro de irradiancia de un cuerpo negro de 5250 K.

La tercera zona (roja) corresponde a la radiación que llega a la superficie de la tierra (atmósfera clara, masa aire =1), donde la radiación solar es reflejada, dispersada y absorbida por los diferentes componentes que constituyen la atmósfera. Dichos componentes básicamente son  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y partículas de polvo. La radiación solar que sufre dispersión y absorción es la que tiene una longitud de onda entre 290 y 2500 nm, ya que casi toda la radiación fuera de este intervalo es dispersada y absorbida de inmediato. La radiación de onda corta (ultravioleta) se absorbe fundamentalmente por  $\text{O}_3$  (ozono), este fenómeno ocurre principalmente en la capa superior de la atmósfera. La absorción por Ozono decrece a partir de los 290 nm, hasta los 3500 nm donde ya no hay absorción. Se tiene una ligera absorción cercana a la banda de 600 nm. Por otra parte, la radiación de onda larga se absorbe por vapor de agua, con bandas fuertes de absorción a 1.0, 1.4 y 1.8  $\mu\text{m}$  (partes por millón). Más allá de los 2.5 $\mu\text{m}$ , la transmisión atmosférica es muy baja debido a la absorción por  $\text{H}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$ . La energía en el espectro extraterrestre para  $\lambda > 2500 \text{ nm}$  es menor al 5% del total del espectro solar y la energía recibida en Tierra a  $\lambda > 2500 \text{ nm}$  es muy pequeña.

La zona espectral con longitudes de onda menores que  $0,38 \mu\text{m}$  corresponde a la radiación ultravioleta, aquella entre  $0,38$  y  $0,78 \mu\text{m}$  es la radiación visible, y aquella superior a  $0,78 \mu\text{m}$  es la radiación infrarroja. El máximo de intensidad de la radiación solar ocurre aproximadamente a  $0,50 \mu\text{m}$ , lo que corresponde al color verde.

Es posible calcular la cantidad de energía que está asociada a cada una de las bandas espectrales, resultando así: un 7 % corresponde a UV, 47 % al visible y 46 % al infrarrojo. La radiación que sale del sol no es idéntica a la que llega a la superficie de la tierra puesto que debe atravesar la atmósfera. En esta se difunde por las moléculas que constituyen el aire, por el polvo y el vapor de agua. Se absorbe en forma selectiva, por el ozono (UV corto), vapor de agua (IR largo) y el  $\text{O}_2$  y  $\text{CO}_2$ , cuyas concentraciones varían con el tiempo. La cantidad de radiación absorbida o difundida depende de la trayectoria óptica de la radiación a través de la atmósfera. Cuando el sol está en el punto más alto (medio día solar) llega mucha más radiación, y con distinta calidad espectral, que cuando está cerca del horizonte.



**Figura 21** (Espectro de la irradiancia solar incidente en la atmósfera correspondiente a una UA y su comparación con la que se recibiría si el sol fuese un cuerpo negro a 5777 K)

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

La irradiancia sobre un plano horizontal y situado en el límite superior de la atmósfera vendrá dada por:

$$I_0 = I_{sc}E_0 \cos\Theta \quad (38)$$

Ecuación en la que  $\theta$ , representa el ángulo formado por los rayos solares con el plano horizontal y teniendo en cuenta la ecuación (16), se deduce que  $\cos\theta$  es igual a la componente vertical del vector de posición solar y  $L$  es el ángulo entre el eje Y y el cenit. De donde

$$I_0 = I_{sc}E_0(\cos\Omega t \cos\delta \cos L + \text{sen}\delta \text{sen}L) \quad (39)$$

La irradiación global extraterrestre  $H_0$ , o cantidad total de energía recibida durante un periodo de tiempo  $[t_1, t_2]$ , se obtiene integrando la irradiancia para ese periodo.

$$H_0 = \int_{t_{orto}}^{t_{ocaso}} I_{sc}E_0(\cos\Omega t \cos\delta \cos L + \text{sen}\delta \text{sen}L) dt \quad (40)$$

De donde se obtiene

$$H_0 = \frac{I_{sc}E_0}{\Omega} [(\Omega t_2 - \Omega t_1) \text{sen}\delta \text{sen}L + (\text{sen}\Omega t_1 - \text{sen}\Omega t_2) \cos\delta \cos L] \quad (41)$$

## 2.11 Radiación global difusa y directa

La Radiación solar, en su trayecto hacia la superficie terrestre, es parcialmente absorbida, reflejada y difundida por los distintos constituyentes de la atmósfera. Para los efectos prácticos que nos interesan, estos fenómenos de absorción, reflexión y difusión, dan origen a una descomposición de la radiación en la superficie terrestre de dos componentes: La directa y la difusa, la primera es la que proviene directamente del disco solar (aquella capaz de proyectar sombras), y la segunda es la que llega difundida de todas direcciones de la bóveda celeste. La suma de estos dos componentes

se llama Radiación global o hemisférica. La Radiación global se mide normalmente con un aparato llamado piranómetro. La radiación difusa también se puede medir usando los piranómetros, pero teniendo cuidado de bloquear la radiación directa. Los instrumentos para medir la radiación directa se llaman pirheliómetros. Una definición práctica de la radiación directa: es aquella que se mide por un pirheliómetro o la capaz de proyectar sombra.

Una parte de la radiación que llega a la superficie de la tierra es reflejada, siendo esta fracción conocida como reflectividad o albedo ( $r$ ). Por tanto, de la radiación solar que llega a la tierra, los captadores pueden emplear tres componentes: la directa, la difusa y la reflejada.

La parte restante de la radiación solar que incide sobre la atmósfera se refleja de nuevo hacia el espacio o bien es absorbida por las masas de nubes. Hay que decir que la fracción absorbida puede llegar a la superficie de la tierra de forma indirecta (lluvias, radiación calorífica de las nubes), pero en un nivel de degradación energético no apto para su aprovechamiento. Uno de los instrumentos más comunes en las estaciones meteorológicas, son los heliógrafos, no miden directamente la radiación solar. Estos instrumentos se usan para determinar el número de horas de sol directo que hay en un cierto período.

En cuanto a la nomenclatura de estas magnitudes, se emplean las letras ( $E = I$ ) para denominar a potencia solar incidente en una superficie por unidad de área, en  $W/m^2$ , a esta magnitud se le denomina Irradiancia. De igual modo la letra  $H$  para la Energía Solar incidente en una superficie por unidad de área, en  $J/m^2$  ( $Wh /m^2$ ), esta magnitud recibe el nombre de Irradiación. Se emplean los sub índices  $h$ ,  $b$  y  $d$ , para identificar a la radiación global, directa y difusa respectivamente, así por ejemplo:

$$E_h = E_d + E_b$$

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

$$H_h = H_d + H_b$$

Dónde:  $E_h$ ,  $E_d$ ,  $E_b$ , son valores instantáneos de irradiancia en  $W/m^2$ , en el plano horizontal, los subíndices h: para la global, d: para la directa y b: para la difusa.

## 2.12 Instrumentos de medida de radiación solar.

**Biometer:** es uno de los instrumentos que miden la radiación ultravioleta el cual se utiliza para el registro continuo de la radiación UV. La frecuencia de las mediciones es al minuto durante las 24 horas y durante los 365 días del año.

Los sensores de radiación están basados en diferentes efectos, pudiendo ser:

**Calorimétricos:** Miden el incremento térmico de una placa metálica de alta conductividad térmica, recubierta de un absorbente no selectivo.

**Termoeléctricos:** Están basadas en la medición de la fuerza electromotriz generada entre dos puntos de soldadura entre diferentes metales, cuando estos puntos están sometidos a distinta temperatura.

**Bimetálicos:** Su sensor es un grupo de tiras bimetálicas de las que unas están pintadas de negro absorbente y otras de blanco reflector. La dilatación diferencial de las tiras se convierte en movimiento de una palanca que acciona una aguja inscriptora. El registro mecánico y las dimensiones del sensor hacen este tipo menos preciso y estable. En el lenguaje corriente es frecuente llamar solarímetros a los Piranómetros.

**Fotoeléctricos:** Basados en la medición de la intensidad de cortocircuito que se genera al exponer una unión p-n a la radiación solar.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.

Al considerar el tipo de radiación que miden surge la división:

**Piranómetros:** Son instrumentos para la medida de la radiación solar y difusa procedente de la totalidad de la bóveda celeste. En general se instalan con la superficie censorsa horizontal.

**Pirheliómetros:** Son instrumentos para la medida de la intensidad de la radiación solar a incidencia normal. Ello se consigue colocando el sensor normalmente al haz solar, bien manualmente o sobre un montaje ecuatorial.

Si es necesario medir la insolación total por hora o por día, tendrán que utilizarse los dataloggers para almacenar y agregar las mediciones instantáneas. Los dataloggers son costosos, por lo que solo se utilizan para monitoreos detallados de sistemas grandes, o para estudiar sistemas experimentales.

Data logger & software for vantage pro2, marca Davis, ubicada en las instalaciones del Centro de Capacitación para el desarrollo (CECADE) Qosqo Yachay Wasi ([www.cuscosolar.org](http://www.cuscosolar.org)) ubicado en el distrito de Yaurisque (30 km al SO de la ciudad del Cusco), provincia de Paruro, departamento Cusco.

## **2.13 LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

### **2.13.1 Radiación Solar Ultravioleta.**

La radiación solar UV es la más energética que alcanza la superficie terrestre, abarca las longitudes de onda más cortas del espectro solar y es responsable de diferentes procesos biológicos en los seres vivos y físico-químicos en la atmósfera (UNEP, 2003). Algunos de los efectos son los siguientes:

En los seres humanos la radiación UV puede producir: daños en la piel como quemaduras solares (McKinlay y Diffey, 1987), cataratas en los ojos (Pitts et al., 1977), e incluso alteración del ADN (Setlow, 1974). El efecto dañino en la piel es acumulativo (Bais y Lubin, 2007) y varía dependiendo de cada persona y su tipo su piel. Como efecto positivo la exposición a la radiación UV activa la vitamina D en el cuerpo humano, previniendo enfermedades óseas como el raquitismo (Webb, 2006). La radiación UV también produce daños en el mundo vegetal, afectando al crecimiento de las plantas (Diffey, 1991). Entre otros efectos se encuentra la alteración del ADN de la alfalfa (Quaite et al., 1992). En los ecosistemas acuáticos la radiación UV produce diversos efectos sobre el fitoplancton como la inhibición de la fotosíntesis, estudiada por Cullen et al. (1992). También se ha relacionado la radiación UV con la producción de agua oxigenada en medios de agua dulce (Cooper et al., 1988).

La radiación UV también es capaz de disociar componentes atmosféricos como el ozono. Algunas reacciones fotoquímicas de la radiación UV fueron estudiadas por de More et al. (1997). Finalmente, la radiación UV también produce degradación en ciertos materiales, como en el

polivinilo de cloro (más conocido como PVC) en el que la radiación UV es capaz de inducir una degradación amarillenta (Andrady et al., 1991).

Están definidas tres bandas dentro de la radiación UV según los efectos que producen (Koepke et al., 2002; Román et al., 2013): La radiación UV-C (200-280 nm) que es la más energética y nociva para los organismos vivos, pero que no alcanza la superficie de la Tierra debido a que es completamente absorbida por el ozono, el oxígeno molecular y otros gases de la atmósfera; la radiación UV-B (280-315 nm) que es la radiación solar de mayor frecuencia que llega a la superficie, ya que solamente es absorbida y dispersada parcialmente por la atmósfera; y la radiación UV-A (315-400 nm), débilmente afectada por el ozono, la cual es también peligrosa para la piel humana, pero el efecto que produce por  $W/m^2$  es del orden de mil veces menor que el producido por la UV-B (Serrano et al., 2006). La irradiancia UV-B y UV-A extraterrestre son aproximadamente  $17.76 W/m^2$  y  $86.91 W/m^2$ , que corresponden a un 1.3% y un 6.4% de la irradiancia solar total, respectivamente.

### **2.13.2 Radiación ultravioleta eritemática**

Un espectro de acción describe la efectividad relativa de distintas longitudes de onda en la generación de una respuesta biológica o efecto. Estos espectros son diseñados para efectos concretos, por ejemplo, el espectro de activación de la vitamina D, o el de producción de cataratas. Madronich et al. (1998).

Uno de los efectos de la radiación UV sobre la piel de un ser humano es la quemadura solar o eritema. El espectro de acción de esta respuesta biológica fue definido por McKinlay y Diffey (1987) Si la irradiancia UV espectral se integra desde 280 a 400 nm se obtiene la irradiancia solar UV integrada según la siguiente ecuación:

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de provincia de Paruro, departamento Cusco.



El  $I_{uv}$  es adimensional y se define mediante la siguiente fórmula:

$$I_{UV} = K_{er} \cdot \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I_{\lambda} \cdot S_{er}(\lambda) d\lambda$$

Donde  $I_{\lambda}$  es la irradiancia espectral solar expresada en  $W/m^2 \cdot nm$  a la longitud de onda  $\lambda$  y  $d\lambda$  es el diferencial de longitud de onda utilizado en la integración.  $S_{er}(\lambda)$  es el espectro de acción de referencia para el eritema o coeficiente de acción eritemico y  $K_{er}$  es una constante igual a  $40 m^2 / W$ .

### . La capa de ozono

Formación de ozono: La molécula de oxígeno  $O_2$  es bastante estable, pero la banda de longitud de onda inferior a 200 nm es capaz de absorber la luz ultravioleta. El pico de absorción es 185 nm. Esta absorción produce la ruptura de la unión de la molécula formando el radical libre  $O_1$  (oxígeno atómico) que inmediatamente busca estabilizarse uniéndose a otra molécula de oxígeno formando ozono,  $O_3$ . Este ozono, si bien es también un potente germicida, en concentraciones relativamente altas es tóxico e irritante (su concentración en el aire no debe superar las 0,05 ppm) así como altamente corrosivo para los metales (tanto hierro, como cobre y aluminio)

### . Radiación UV y procesos fisicoquímicos al ozono estratosférico.

El ozono es un gas cuyas moléculas están constituidas por tres átomos de oxígeno. Se forma en la estratosfera media y superior, mediante la disociación fotoquímica del oxígeno molecular, generada por radiación UV de longitud de onda inferior a 242 nm, tal como lo establece la siguiente reacción:



El átomo de oxígeno se recombina con una molécula de oxígeno para formar ozono:



Este proceso está determinado por la cantidad de radiación UV incidente. En consecuencia, la tasa de producción de ozono es más alta sobre el ecuador que a latitudes mayores, puesto que los niveles de radiación UV en la zona ecuatorial son más elevados.

La radiación UV-B genera la foto disociación del ozono estratosférico e invierte la reacción (3.2):



El ozono es sumamente reactivo y es destruido al reaccionar con el oxígeno atómico, tal como se establece en la siguiente ecuación:



Las reacciones (3.1), (3.2) y (3.4), que describen los procesos de producción fotoquímica y de pérdida de ozono se denominan ciclo de Chapman. Este ciclo es mucho menos eficiente que los ciclos catalíticos representados en las reacciones siguientes:



Donde el catalizador X puede ser uno de los radicales estratosféricos OH, H, NO, Cl, Br. En el caso del; cloro, liberado en la estratosfera por los clorofluorocarbonos (CFC), el ciclo catalítico anterior, asume la forma siguiente:

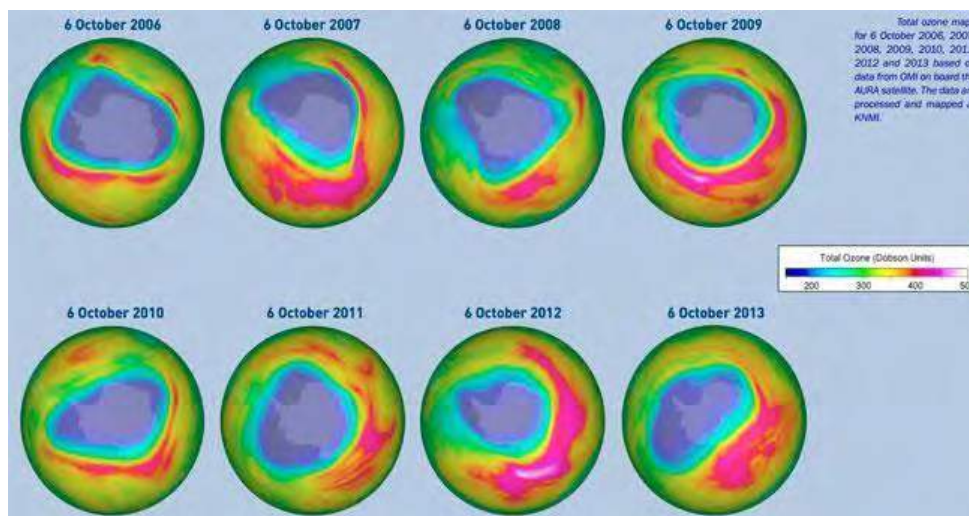


Después de la absorción descrita por la reacción (3.3), la cual se verifica en la estratosfera media y superior, la radiación UV-B remanente sufre un proceso de difusión en la atmósfera inferior. Dicho proceso, causado por partículas de aerosoles y gotas de agua en las nubes, determina cuánta radiación UV-B llega finalmente a la superficie del planeta.

La radiación UV incide sobre moléculas y partículas, las cuales la difunden de manera tal que una parte es devuelta, nuevamente, al espacio. Como consecuencia de este hecho, un porcentaje significativo de la radiación UV que se recibe en la superficie terrestre, está constituida por radiación difusa.

Los procesos foto químicos responden de manera distinta a diferentes zonas del espectro UV. Usualmente, dicha respuesta se determina experimentalmente y se representa como un espectro de acción. Este no es más que la respuesta relativa correspondiente a diferentes longitudes de onda. Para la mayoría de las plantas y animales, el espectro de acción muestra mayor sensibilidad a las longitudes de onda más corta de la radiación en el rango UV-B.

El agujero en la capa de ozono:



**Figura 22 (El agujero en la capa de ozono) Fuente (Ciencia gráfica).**

Se denomina agujero de la capa de ozono a la zona de la atmósfera terrestre donde se Producen reducciones anormales de la capa de ozono, fenómeno observado durante la primavera en las regiones polares y que es seguido de una recuperación durante el verano.

El contenido en ozono se mide en unidades Dobson.

En las mediciones realizadas en tiempos recientes se descubrieron importantes reducciones de las concentraciones de ozono en dicha capa, con especial incidencia en la zona de la Antártida. Se culpó de este fenómeno al aumento de la concentración de cloro y de bromo en la estratosfera. Investigaciones posteriores acerca de las variaciones en la densidad del ozono y sus causas generaron temores sobre el futuro de la capa de ozono: entre otras cosas, se descubrieron “agujeros” en la capa sobre los dos polos del planeta y un adelgazamiento de la capa alrededor de todo el globo. El ozono es una sustancia, la cual su molécula está compuesta por 3 átomos de oxígeno, la cual se forma al disociarse los 3 átomos que componen el gas de oxígeno. Cada átomo de oxígeno

se une a otra molécula de oxígeno formando moléculas de ozono  $O_3$ . Se le denomina Capa de Ozono a la estratosfera terrestre la cual concentra más del 90% de todo el ozono existente en nuestro planeta. Esta capa tiene una gran importancia dentro de nuestra vida ya que sirve para depurar el aire y sobretodo sirve para filtrar los rayos ultravioletas procedentes del espacio. Sin ese filtro la existencia de vida en la tierra sería imposible.

Esta capa se ha visto dañada por diferentes motivos los cuales todos conocemos como aerosoles y todo tipo de contaminación

En septiembre de 1987 varios países firmaron el Protocolo de Montreal, en el que se comprometían a reducir a la mitad la producción de CFC's en un periodo de 10 años. En la actualidad el problema se considera solucionado, debido a la prohibición de los productos causantes, que han sido substituidos por otros.

Casi el 99 % de la radiación ultravioleta del Sol que alcanza la estratosfera se convierte en calor mediante una reacción química que continuamente recicla moléculas de ozono ( $O_3$ ). Cuando la radiación ultravioleta impacta en una molécula de ozono, la energía rompe a la molécula en átomos de oxígeno altamente reactivos; casi de inmediato, estos átomos se recombinan formando ozono una vez más y liberando energía en forma de calor.

## **2.14 La radiación UV**

### **. Descubrimiento de los rayos ultra violeta.**

El descubrimiento de la radiación ultravioleta está asociado a la observación del oscurecimiento de las sales de plata al ser expuestas a la luz solar. En 1801 el físico alemán Johann Wilhelm Ritter descubrió que los rayos invisibles situados justo detrás del extremo violeta del espectro visible eran

especialmente efectivos oscureciendo el papel impregnado con cloruro de plata. Denominó a estos rayos "rayos desoxidantes" para enfatizar su reactividad química y para distinguirlos de los "rayos calóricos" (descubiertos por William Herschel) que se encontraban al otro lado del espectro visible. Poco después se adoptó el término "rayos químicos". Estos dos términos, "rayos calóricos" y "rayos químicos" permanecieron siendo bastante populares a lo largo del siglo XIX. Finalmente, estos términos fueron dando paso a los más modernos de radiación infrarroja y ultravioleta respectivamente.

#### **. Bases científicas de la radiación ultravioleta.**

En 1982 - Los laboratorios australianos miden la Radiación Ultravioleta TIPO B, y la difunden, como dosis eritematogena mínima en las principales ciudades.

En 1992 - El Atmospheric Environmental Service (AES) de Canadá comienza a emplear el índice UV TIPO B, en una escala de 1 a 10. Este esfuerzo y la educación pública mostraron su eficacia para aumentar la atención sobre la exposición solar y modificar los hábitos de exposición.

En 1992 - La Environmental Protection Agency (EPA) colabora con la National Weather Service (NWS) para desarrollar un índice UV similar a la canadiense. La EPA y el Center for Disease Control and Prevention (CDC) se proponen realizar una campaña informativa sobre los riesgos de la radiación UV TIPO B.

### **. Breve reseña histórica sobre usos de radiación ultravioleta.**

En Grecia, la luz solar fue empleada en el tratamiento de afecciones diversas, como artritis, edema, ictericia y trastornos cutáneos.

En la Edad Media se usó en la fototerapia, a finales del siglo XV se difundieron los beneficios del aire puro y la luz solar, la cual se recomendó su uso para el tratamiento de úlceras, tuberculosis, raquitismo y depresión. Investigando la descomposición del cloruro de plata por la luz, el físico y fisiológico alemán Ritter descubrió la radiación UV en 1801.

A finales del siglo XIX se tuvo la evidencia de que la luz del sol, poseía efectos bactericidas. Los trabajos de Ward demostraron que el máximo de la acción bactericida se encuentra en la franja ultravioleta del espectro solar. Finsen, utilizando un aparato que producía radiación UV artificial, basado en el carbón, trató numerosas afecciones de tuberculosis cutánea, lo que le valió la concesión del Premio Nobel de Medicina en 1903 y la consideración del creador de la terapia ultravioleta, a la que pusieron el nombre de "Finsenterapia". Gracias a este médico danés, se multiplicaron los sistemas de producción como la lámpara de mercurio.

En 1919, Hulshisky demostró las propiedades antirraquíticas de la luz ultravioleta, que hoy en día suponen que es uno de los principales efectos terapéuticos.

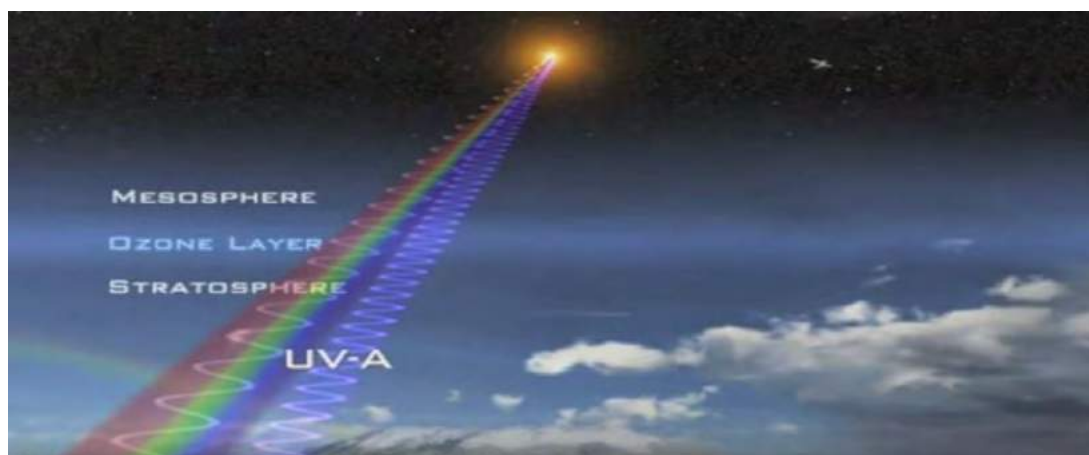
## 2.15 Subtipos de la Radiación solar ultravioleta

Tabla 3 (Sub tipos de la radiación UV) Fuente ciencia grafica

Subtipos de la radiación UV			
Nombre	Abreviación	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón (eV)
Ultravioleta cercano	NUV	400-200	3,10-6,20
Onda larga	UVA	400-320	3,10
Onda medía	UVB	320-280	3,87-4,43
Onda corta	uve	280-200	4,43-6,20
Ultravioleta lejano	FUV, VUV	200-10	6,20-124
Ultravioleta extremo	EUV, XUV	31-1	40-1240 L

Cuyos límites aproximados son:

UV-A:  $320(315) < \lambda < 400 \text{ nm}$ , denominada luz negra o ultravioleta larga. Es la continuación de la región visible y es la menos energética; sin embargo, debido a su gran intensidad (es la que llega en mayor cantidad a la Tierra puesto que casi todos los rayos UV-A atraviesan la capa de ozono), ejerce una gran influencia en la Tierra.



Espectro electromagnético ondas ultravioleta Marduk (Ciencia 2013)

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



UV-B:  $280 < \lambda < 320$  (315) nm, radiación ultravioleta media. Llega a la Tierra muy atenuada por la capa de ozono y es muy sensible a las condiciones meteorológicas y cambios en la concentración de ozono. Puede resultar muy nociva para la vida en general por lo que, el actual deterioro de la capa de ozono que absorbe la mayor parte de los rayos UV-B provenientes del Sol, aumenta la amenaza de este tipo de radiación contra la salud.



**Figura 23** Espectro electromagnético ondas ultravioleta Marduk (Ciencia 2013)

UV-C:  $200 < \lambda < 280$  nm, radiación ultravioleta corta o germicida. Es la más peligrosa para el hombre debido a su gran energía. Afortunadamente, el oxígeno y el ozono de la estratosfera absorben todos estos rayos UV-C



**Figura 24** Espectro electromagnético ondas ultravioleta Marduk (Ciencia 2013)

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

Actualmente, debido a la importancia del estudio de los efectos biológicos de la radiación ultravioleta, se considera una nueva región, que equivale a la banda de la radiación UV-B, incluyendo también una parte de la banda UV-A y que representaría la respuesta relativa de la piel humana a la radiación ultravioleta. Recibe el nombre de banda eritemática, ya que una reacción eritemática es un enrojecimiento o quemadura solar. Que equivale a la energía de  $2,5 \times 10^5 \text{ erg.cm}^2$  a 300 nm o el MED/h (Minimum Erythema Dose por hora), que representa la cantidad de energía necesaria para producir una reacción de eritema sobre la unidad de superficie de piel humana. Como sucede en otros casos, se trata también de una medida indirecta de tiempo de irradiación.

Como resulta lógico, la radiación ultravioleta observada en la superficie está condicionada por la atenuación de la radiación extraterrestre en esas longitudes en su camino a través de la atmósfera. Concretamente, las mayores influencias causadas sobre la radiación ultravioleta que alcanza la superficie terrestre son debidas al ozono atmosférico, la turbiedad atmosférica, las nubes, la altitud y el albedo de las superficies (Stamnes, 1997).

## **2.16 El índice UV**

El índice UV: Es una medida de la cantidad de radiación (fotones) que llega a la superficie terrestre, ponderada por el efecto que ellas provocan para producir enrojecimiento de la piel, (eritema) conocido comúnmente como quemadura solar. Los valores del Índice UV establecido por la Organización Mundial de la Salud, en conjunto con la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente (UNEP), originalmente estableció valores hasta 11, pero ellos no contaban con la información que sobre la Cordillera de los Andes

se obtienen valores de Índice UV que alcanzan 20 o más. Por ejemplo, en el lago Chungará, en Cusco (Perú) y La Paz (Bolivia) son normales los valores de 22 - 24 como máximos diarios.

El índice UV solar mundial es una medida de la intensidad de radiación ultravioleta en la superficie terrestre. El índice se expresa como un valor mayor a cero y cuanto más alto, mayor es la probabilidad de lesiones cutáneas y oculares.

La cantidad de radiación solar ultravioleta que recibe la superficie de la tierra es mayor a medio día y depende de los siguientes factores. 1) Latitud 2) día del año 3) cantidad total de ozono sobre la zona 4) elevación sobre el nivel del mar 5) cantidad de masa nubosa.

El índice de radiación ultravioleta (IUV) es un indicador de la intensidad de la radiación ultravioleta relacionado con el riesgo a la salud. El índice UV solar mundial es una estimación del promedio de la radiación ultravioleta (UV) solar máxima en la superficie de la tierra, aunque la intensidad de la radiación UV que llega al suelo varía a lo largo del día, tiene el valor más alto al medio día y en ausencia de nubes. (Algaba, 2010)

La siguiente escala presenta los valores del Índice UV, se definen en una escala de 0 a 16+ y el nivel de riesgo correspondiente. El nivel de riesgo tiene que ver con la cantidad de radiación ultravioleta que se recibe en la superficie de la tierra. Esta radiación ha sido dividida en seis niveles de riesgo (mínimo, bajo, moderado, alto, muy alto y extremo) de acuerdo con recomendaciones efectuadas por las instituciones dermatológicas. (Cora, 2006). Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

**Tabla 4 Valores de la escala del IUV**

Nivel de Riesgo	Intervalo de valores IUV-B
Mínimo	1-2
Bajo	3 - 5
Moderado	6 - 8
Alto	9 - 11
Muy Alto	12 - 14
Extremo	15 - 16

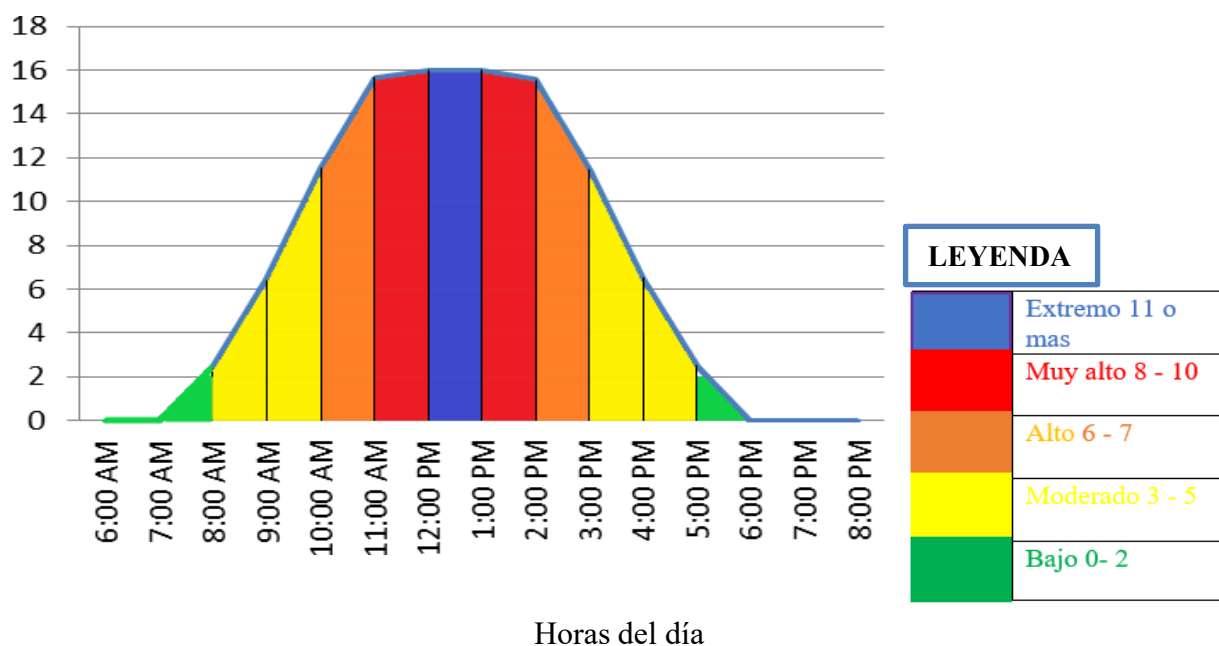
Fuente: SENAMHI, 2015

**Tabla 5 Valores promedio del IUV.**

19/12/2016		UV
Datos	Tiempo	Inde x
	6:00 AM	0
	7:00 AM	0
	8:00 AM	2,45
	9:00 AM	6,4
	10:00 AM	11,5
	11:00 AM	15,65
	12:00 PM	16
	1:00 PM	16
	2:00 PM	15,55
	3:00 PM	11,45
	4:00 PM	6,5
	5:00 PM	2,5
	6:00 PM	0
	7:00 PM	0
	8:00 PM	0

Fuente: Elaboración propia.

Rad UV max = 16



**Figura 25 Variación temporal de la radiación solar ultravioleta Paruro 19 de Diciembre 2016**

La formulación del índice UV solar mundial se basa en el espectro de acción de referencia de la Comisión Internacional sobre Iluminación (CIE) para el eritema inducido por la radiación UV en la piel humana (ISO 17166:1999/CIE S 007/E-1998). Dicho índice es una medida de la radiación UV aplicable y definida para una superficie horizontal. El IUV es adimensional.

El índice de radiación ultravioleta (IUV) es un indicador de la intensidad de RUV recibida. Está recomendado como un medio para hacer que la población tome conciencia sobre los efectos negativos que tiene la radiación solar ultravioleta (RUV) en la salud y para alertar a la población sobre la necesidad de adoptar medidas de protección. Existen variables medioambientales, como las nubes o los aerosoles en suspensión, que son factores modificadores.

El IUV se define para una superficie horizontal, sin embargo, las condiciones para una superficie inclinada son más importantes para la exposición humana a la (RUV).

En un inicio el IUV se formuló independientemente en varios países, pero finalmente su definición se ha estandarizado y se ha publicado como una recomendación conjunta de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP) y la Comisión Internacional de Radiación No-ionizante bajo los siguientes criterios.

1. Utilizar el espectro de acción de la Comisión Internacional de Iluminación (CIE, por sus siglas en francés).
2. Se requiere que al menos se reporten valores de irradiancia efectiva a la hora del mediodía solar local.
3. El IUV se estimará multiplicando el valor de la irradiancia efectiva, en  $W/m^2$  por  $1 / 40$ , y se propone que el valor de la irradiancia efectiva sea el valor máximo del día, obtenido del promedio de mediciones realizadas en periodos de 10 a 30 minutos.

Así si el IUV es 1 (uno), éste tiene una equivalencia de  $1/40 W/m^2$ , si es dos la equivalencia será

$2/40 W/m^2$  es decir:

$$I_{UV} = K_{er} \cdot \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I_{\lambda} \cdot S_{er}(\lambda) d\lambda$$

$$I_{UV} / K_{er} = E(\lambda)$$

$E(\lambda)$  = Irradiancia Eritematica a nivel de la superficie

Y se propone que el valor de la Irradiancia efectiva sea el valor máximo del día ejemplo para el índice ultravioleta de valor 16 se tiene una irradiancia de  $0.4 \text{ w} / \text{m}^2$

Equivalencia del IUV en la Irradiancia

**Tabla 6 Valores de la Irradiancia del IUV.Fuente: propia.**

IUV	valor W/m <sup>2</sup>
0	0
1	0,025
2	0,05
3	0,075
4	0,1
5	0,125
6	0,15
7	0,175
8	0,2
9	0,225
10	0,25
11	0,275
12	0,3
13	0,325
14	0,35
15	0,375
16	0,4

Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, es importante determinar cuál es la reacción sobre la piel; es decir, cuánto tiempo una persona puede exponerse al sol de manera «segura», se entiende por manera «segura» cuando no se produce un eritema, se denomina eritema al primer enrojecimiento de la piel que es debido a  
 Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro,  
 departamento Cusco.

una excesiva exposición a la radiación solar ultravioleta.

Cuando una persona se expone a la radiación solar recibe energía que en el transcurso del tiempo se acumula hasta producir el eritema.

Debido a este motivo debemos distinguir entre los términos de irradiancia y dosis recibida. Entendemos la irradiancia como la cantidad de energía que incide sobre una superficie de  $1\text{m}^2$  por unidad de tiempo. Sus unidades son  $\text{W}/\text{m}^2$ , cómo podemos ver, se trata de unidades de potencia por unidad de superficie. Por otro lado, la dosis es la cantidad de energía (total o acumulada) que incide sobre una superficie unitaria, las unidades son de energía por unidad de superficie  $\text{J}/\text{m}^2$ . Según el tiempo de exposición, se habla de dosis diaria, horaria, etc.

### **2.17 Dosis Mínima Eritémica (MED).**

Al constituir las quemaduras un efecto negativo frecuente en la piel humana, el espectro de acción CIE eritémico es el que más se recomienda utilizar a la hora de cuantificar el efecto dañino de la radiación UV sobre la piel. La "Dosis Mínima Eritémica" MED se usa para describir el potencial eritémico de la radiación UV, y 1 MED se define como la dosis efectiva de radiación UV que produce un enrojecimiento observable de la piel humana sin exposición previa, en otras palabras, es la cantidad necesaria para "sentir" la acción del sol sobre la piel. Sin embargo, los diferentes individuos no presentan la misma sensibilidad a la radiación UV debido a la protección propia de la piel (pigmentación), 1 MED varía en la población europea entre 200 y 500  $\text{J}/\text{m}^2$ . Si no existen estudios disponibles sobre la sensibilidad de la población en una región dada se pueden consultar los valores de MED para diferentes tipos de piel mostrados en la tabla 7. Índices UV –B y tiempos de exposición según el tipo de piel.



**Tabla 7 Dosis mínima de radiación eritemática.(MED).**

IUV-B	Nivel de Riesgo	Piel I y II	Piel III y IV	Piel V y VI	Acciones de Protección
1 - 2	MÍNIMO	MED > 1 hora	MED > 2 hora	MED > 2 horas	Ninguna
3 - 5	BAJO	MED 40 min	MED > 1 hora	MED > 1 hora	Aplicar factor de protección solar
6 - 8	MODERADO	MED 25 min	MED 40 min	MED 50 min	Aplicar factor de protección solar, uso de sombrero
9 - 11	ALTO	MED 15-20 min	MED 25-30 min	MED 35-40 min	Aplicar factor de protección solar, uso de sombrero y gafas con filtro UV-A y B
12 - 14	MUY ALTO	MED 10-15 min	MED 15-20 min	MED 20-30 min	Aplicar factor de protección solar, uso de sombrero y gafas con filtro UV-A y B
14+	EXTREMO	MED < 10 min	MED < 15 min	MED < 20 min	Aplicar factor de protección solar, uso de sombrero y gafas con filtro UV-A y B. Exposiciones al sol por un tiempo limitado

Fuente: SENAMHI, 2007

## 2.18 Cálculo del índice UV.

El índice ultravioleta IUV es formulado utilizando el espectro de acción eritemática inducido por radiación UV sobre la piel humana, Se trata, en definitiva, de un parámetro adimensional que da cuenta de la radiación UV relevante para las personas, su ecuación es dada a continuación:

$$I_{UV} = K_{er} \cdot \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I_{\lambda} \cdot S_{er}(\lambda) d\lambda$$

Se define la MED (Dosis Eritemática Mínima) como la mínima irradiación necesaria para producir enrojecimiento en la piel, tras un determinado tiempo de exposición a la radiación. A pesar de que el enrojecimiento se produce antes en personas con escasa pigmentación en la piel que en otras más oscura (o sea depende del foto tipo del individuo), se toma como unidad de referencia individuos con piel blanca ligeramente pigmentada. Para este foto tipo la dosis eritemática mínima de exposición de 10 minutos tiene el valor de:

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

$$1 \text{ MED} = 210 \text{ J/m}^2$$

En las tablas siguientes se presenta el equivalente en MED/hora para los 16 valores de Índice UV y el equivalente de MED a unidades de energía radiante para cada tipo de piel en Joules por metro cuadrado ( $\text{J/m}^2$ ).

Dónde:

Los valores del coeficiente de acción eritemática  $S_{er}(\lambda) = \varepsilon(\lambda)$  vienen dados por Madronich et al., 1977

$$\lambda < 0,298 \mu\text{m} \quad , \varepsilon(\lambda) = 1$$

$$0,328 \mu\text{m} < \lambda < 0,298 \mu\text{m} \quad , \varepsilon(\lambda) = 10^{0,094(298 - \lambda \cdot 1000)}$$

$$0,400 \mu\text{m} < \lambda < 0,328 \mu\text{m} \quad , \varepsilon(\lambda) = 10^{0,015(139 - \lambda \cdot 1000)}$$

$$\lambda > 400 \mu\text{m} \quad , \varepsilon(\lambda) = 0$$

$1000 \text{ w/m}^2$  es la irradiancia respecto a la superficie

$$I_{UV} = K_{er} \cdot \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} I_{\lambda} \cdot S_{er}(\lambda) d\lambda$$

$$\text{Para: } \varepsilon(\lambda) = 10^{0,094(298 - \lambda \cdot 1000)}$$

$$I_{UV} = 236,16 I(\lambda)$$

$$I(\lambda) = I_{UV} / 236.16$$

**Tabla 8 Equivalentes en MED/hora para valores del IUV.**

IUV	MED/h
0	0
1	0,423
2	0,846
3	1,269
4	1,692
5	2,115
6	2,538
7	2,961
8	3,384
9	3,807
10	4,230
11	4,653
12	5,076
13	5,499
14	5,922
15	6,345
16	6,768

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 9 Promedio de los valores de la MED/h .Fuente propia**

datos	promedio	
0	0,6345	1,6345
0,423		1
0,846		1
1,269	1,4805	2,4805
1,692		1
2,115	2,538	3,538
2,538		1
2,961		1
3,384	3,5955	4,5955
3,807		1
4,23	4,4415	5,4415
4,653		1
5,076	5,499	6,499
5,499		1
5,922		1
6,345	6,5565	7,5565
6,768		1

**Tabla 10 Promedio de los valores de la MED/h x 0,5**

datos		
1,6345	0,81725	0,5
2,4805	1,24025	
3,538	1,769	
4,5955	2,29775	
5,4415	2,72075	
6,499	3,2495	
7,5565	3,77825	

Datos calculados, Fuente Elaboración propia

**Tabla 11 Promedio de los valores de la MED/h x 0,5**

promedio
1,504625
2,50925
3,513875

Datos calculados, Fuente propia

**Tabla 12 Promedio de los valores de la MED/h x 210**

MED	J/m <sup>2</sup>	
0,81725	171,6225	210
1	210	
1,504625	315,97125	
2,50925	526,9425	
3,513875	737,91375	

Datos calculados, Fuente propia

**Tabla 13 La energía MED necesaria para producir eritematema de acuerdo con el tipo de piel**

tipos de piel	MED	J/m <sup>2</sup>
(I)piel muy clara	0,81725	171,6225
(II)piel clara	1	210
(III)piel morena	1,504625	315,97125
(IV)piel morena oscura normal	2,50925	526,9425
(V)piel oscura	3,513875	737,91375

Datos calculados, Fuente propia

## 2.19 Factores que influyen en el índice UV

Los factores que influyen en el índice UV son:

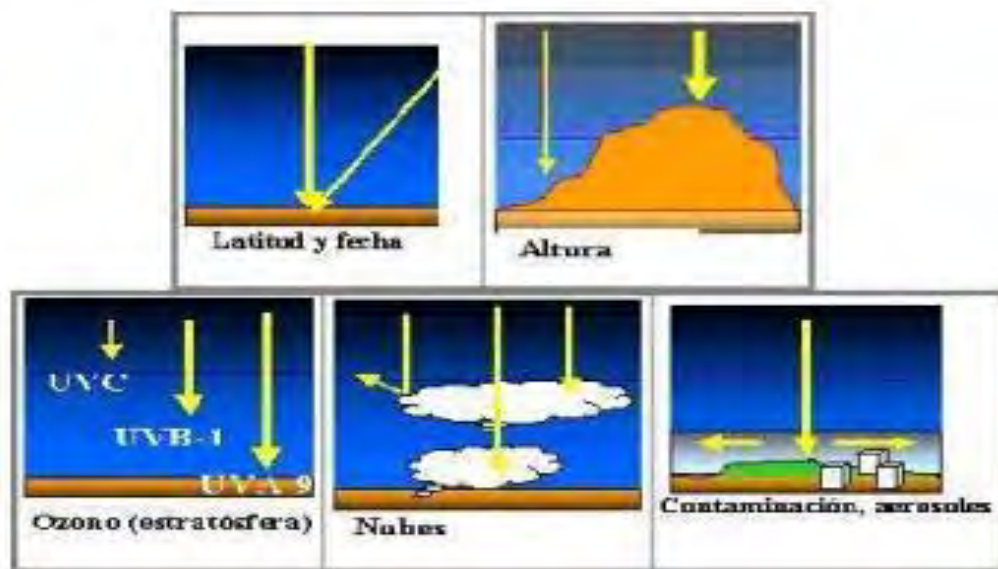
Latitud: Donde el sol se encuentra sobre la vertical es máximo y esto se da entre los trópicos.

Altitud: +6-10% más cada 330 m ascendidos.

Nubosidad.

Cantidad de ozono en las capas altas de la atmósfera.

El índice\_de\_reflexión\_del\_suelo: en general no afecta mucho, pero la arena, la hierba y sobre todo la nieve, reflejan muchos rayos UV. El índice UV puede ser 2 y 3 veces mayor en una zona nevada.



**Figura 26 Factores que influyen en el índice UV.(Fuente ciencia grafica)**

Por descontado, los rayos que atraviesan la capa de ozono son solamente los UVA y los UVB ya que los UVC no tienen la capacidad de atravesar dicha capa que es la que realmente nos protege de los dañinos UVC

### **.Influencia de la atmósfera en la radiación ultravioleta**

La atmósfera ejerce una gran influencia sobre la radiación solar, determinando en gran medida la cantidad de radiación que alcanza la superficie terrestre.

Por lo que respecta a la componente ultravioleta, el gas atmosférico con mayor influencia es el ozono que, como se ha citado, se acumula principalmente en la estratosfera, entre 25 y 30 km de altura. No obstante, la atenuación provocada por esta capa se produce, sobre todo en las bandas B y C, en las que la radiación ultravioleta tiene mayores efectos sobre los seres vivos. Es especialmente importante, la absorción de radiación ultravioleta por el ozono para longitudes de onda menores que 330 nm, donde los valores del coeficiente de absorción de ozono se incrementan

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

rápidamente a medida que decrece la longitud de onda, hasta el punto que, junto con la acción de otros gases atmosféricos, como el oxígeno, la radiación con longitud de onda inferior a 295nm, y en particular, la UV-C, es absorbida completamente en su camino hacia la superficie terrestre.

Asimismo, el ozono también bloquea gran parte de la radiación UV-B y, aunque en menor medida, la radiación UV-A. Medidas espectrales de ultravioleta demuestran que, a diferencia de la radiación total, para la que la turbiedad ejerce una mayor influencia que la capa de ozono y la distancia Tierra-Sol, los cambios en la cantidad de ozono total son el factor dominante en la radiación UV-B recibida en Tierra. En este sentido, parece existir una clara evidencia de que la disminución de la concentración de ozono estratosférico produce un aumento de la radiación ultravioleta solar que alcanza el suelo, si bien, los efectos de la disminución de la capa de ozono son menos apreciables en la región UV-A, debido a la baja sección eficaz de absorción que tiene el ozono en ese intervalo de longitud de onda. Y es que la práctica totalidad de la atenuación de la radiación UV-A se debe a dispersión de Rayleigh y a la absorción por aerosoles.

#### • **Influencia de la nubosidad en la radiación ultravioleta**

La atenuación más importante de la radiación solar total es producida por las nubes, de forma que la componente difusa de la radiación solar representa de un 10% al 20% de la radiación total para cielos claros y un 100% para cielos totalmente cubiertos. Por lo que respecta a la radiación ultravioleta, medidas espectrales realizadas en superficie muestran que las nubes pueden reducir esta componente del espectro solar hasta un 80% y que las nubes atenúan por igual en la banda de longitud de onda entre 290 y 325 nm, sin importar la longitud de onda. La transmisividad de las nubes es aproximadamente independiente de la longitud de onda, al menos en los intervalos UV-A y UV-B. De esta forma, se asume a menudo que las nubes producen una extinción en el

ultravioleta y en el visible que es independiente de la longitud de onda, mientras que en el infrarrojo cercano causan una absorción que sí es dependiente de la longitud de onda y que se incrementa a medida que lo hacen el vapor de agua y el agua líquida. Sin embargo, no siempre el efecto neto es una reducción de la radiación. En ocasiones, las nubes cubren gran parte del cielo, pero no ocultan el disco solar. En estas circunstancias, la radiación solar reflejada por la superficie terrestre hacia arriba, es reflejada a su vez por las nubes nuevamente hacia la Tierra, quedando confinada entre las nubes y el terreno y aumentando, como consecuencia, el nivel de radiación en la superficie.

Por otra parte, son muchos los aspectos referentes a la nubosidad a tener en cuenta. El espesor de la capa de nubes, su altura, la distribución del tamaño de las gotas y el albedo de las superficies influyen sobre la transmisividad de la radiación ultravioleta.

### **. Influencia de la altitud en la radiación ultravioleta**

Una evaluación realista de los efectos fotobiológicos y ecológicos producidos por la radiación ultravioleta requiere de la consideración del efecto producido por la altitud.

El aumento del flujo de radiación solar con la altitud es consecuencia de la menor masa de aire atravesada a mayor altura. Si la altitud va asociada con la presencia de nieve, se produce, además, un incremento del flujo de radiación ultravioleta debido al aumento del albedo del terreno y a los efectos de dispersión múltiple con la atmósfera.

Además, este efecto de la altitud también depende del contenido específico en el lugar de la columna atmosférica: moléculas de aire, agua y aerosoles.

Si se realiza un análisis teórico de los diferentes parámetros que inciden en la variación de la radiación solar desde el tope de la atmósfera hasta el nivel del suelo, se puede observar que el agua



que se encuentra en suspensión en la atmósfera, los aerosoles, el ozono y la mezcla de gases son los factores atmosféricos que más inciden en la variación de la radiación con la altura.

Por otra parte, el estudio revela que, para cada 1000 m, el efecto de la altitud en el aumento de la radiación es aproximadamente del entre el 8 y el 10% para la banda UV-B y del 15-7% para la UV-A.

### **. Influencia del albedo en la radiación ultravioleta**

Las reflexiones procedentes de agua, Tierra, vegetación u otras superficies pueden incrementar la radiación ultravioleta recibida por una superficie, bien directamente o indirectamente, al iluminar la parte inferior de la atmósfera, que puede difundir parte de la radiación hacia la superficie.

El albedo de una superficie se define como la razón de la irradiancia reflejada frente a la irradiancia incidente, siendo función del tipo y textura de superficie, y de la longitud de onda.

### **. Influencia de la altura solar en la radiación ultravioleta**

La influencia de la altura solar en la magnitud de la irradiancia ultravioleta recibida es relevante puesto que resulta determinante en su variación diurna y estacional, así como con la latitud. En todos los casos, la influencia de la altura solar sobre la irradiancia ultravioleta está íntimamente relacionada con la masa de aire atravesada por ésta, encontrando que la radiación ultravioleta es más efectivamente atenuada cuando decrece la altura solar que los flujos de radiación de longitudes más largas. (Blumthaler, 1993).

## **. Influencia de las fluctuaciones naturales en la radiación ultravioleta**

La variación de la actividad solar tiene influencia en el flujo de radiación procedente del Sol. Sin embargo, estas fluctuaciones afectan sobre todo al intervalo UV-C que, tal y como se ha visto, no alcanza la superficie terrestre como consecuencia de los procesos de absorción por parte del ozono y el oxígeno, mientras que el efecto para longitudes de onda mayores que 300 nm es menor del 1% . (Lean, 1987).

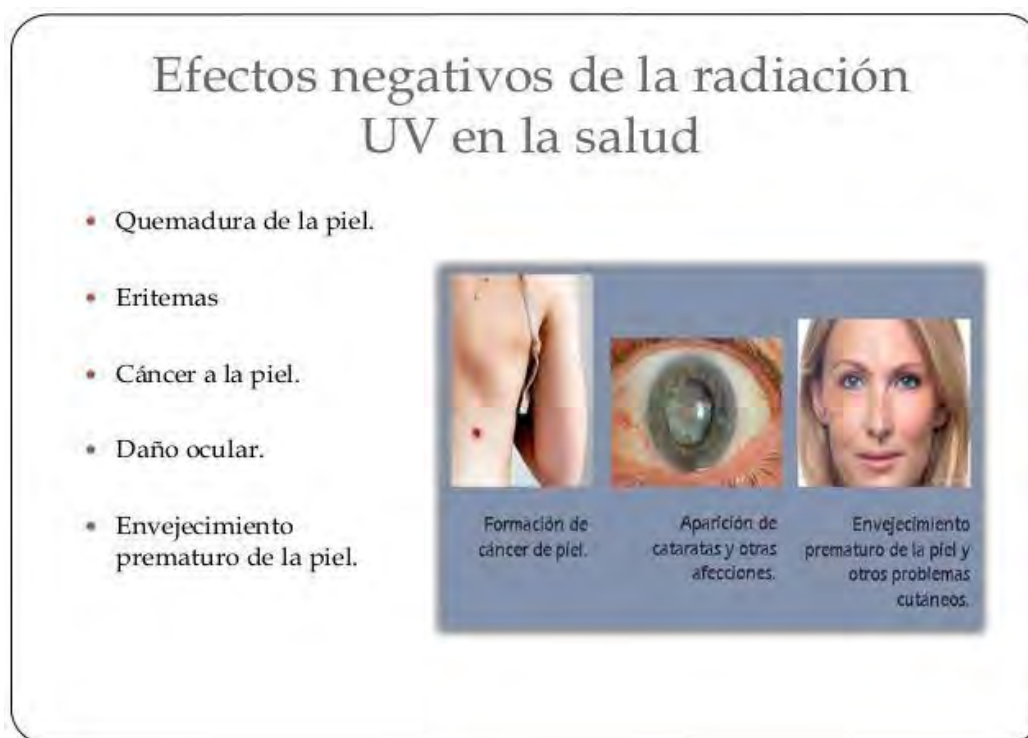
Por otra parte, la intensidad de radiación ultravioleta producida por el Sol tiene leves variaciones, asociadas a su periodo de rotación aparente (27 días) y a la aparición de protuberancias y explosiones en la fotosfera. Estas fluctuaciones afectan sobre todo a las componentes más energéticas del espectro, que no llegan a la superficie terrestre.

Sin embargo, pueden afectar al ciclo de producción y destrucción de ozono en la alta atmósfera y, en consecuencia, a la transmisión atmosférica de otras porciones del espectro ultravioleta. (Ciencia Hoy, 1998).

## 2.20 IMPACTO DE LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA EN LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE

### a. Efectos de la Radiación UV

Las radiaciones ultravioletas (UV) son radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda entre 100 y 400 nm. En cantidades pequeñas, las radiaciones ultravioletas son beneficiosas para la salud y desempeñan una función esencial en la producción de vitamina D. Sin embargo, la exposición excesiva a ellas se relaciona con diferentes tipos de cáncer cutáneo, quemaduras de sol, envejecimiento acelerado de la piel, cataratas y otras enfermedades oculares. También se ha comprobado que estas radiaciones aminoran la eficacia del sistema inmunitario.



**Figura 27 Efectos de la exposición a la radiación UV sobre la salud. Fuente (Ciencia grafica)**

### **b. Efectos cutáneos quemaduras solares, bronceado y envejecimiento de la piel**

El efecto agudo más conocido de la exposición excesiva a la radiación UV es el eritema, el familiar enrojecimiento de la piel que se conoce como quemadura solar. Además, la mayoría de las personas adquirirán un bronceado como resultado de la estimulación de la producción de melanina que tiene lugar tras unos pocos días de exposición a la radiación UV. Otro efecto de adaptación menos evidente es el engrosamiento de las capas más externas de la piel, que atenúa la penetración de la radiación UV a las capas más profundas. Ambos efectos son señal de que la piel ha sufrido daños. El tiempo de eritema y la capacidad de adaptación a la exposición a la radiación UV varían mucho de unas personas a otras, dependiendo de su tipo de piel. La exposición crónica a la radiación UV ocasiona también varios cambios de tipo degenerativo en las células, el tejido fibroso y los vasos sanguíneos de la piel, como las pecas y zonas pigmentadas de la piel, y las zonas de pigmentación parda difusa. La radiación UV acelera el envejecimiento de la piel y la pérdida gradual de su elasticidad produce arrugas y una piel seca y áspera.

### **c. Cánceres de piel no melánicos**

Los cánceres de piel no melánicos (CPNM) comprenden los carcinomas de células basales y los carcinomas de células escamosas. Aunque raramente son mortales, el tratamiento quirúrgico es doloroso y a menudo desfigurante. Es difícil determinar la evolución en el tiempo de la incidencia de los CPNM porque no se ha logrado un registro fiable de estos tipos de cáncer. No obstante, estudios específicos realizados en Australia, Canadá y los Estados Unidos indican que entre los años sesenta y los ochenta la prevalencia de CPNM se multiplicó por más de dos. Se ha examinado el riesgo de CPNM en relación con la exposición personal y pueden extraerse las siguientes conclusiones: • Los CPNM son más frecuentes en las partes del cuerpo expuestas normalmente al

sol, como las orejas, la cara, el cuello y los antebrazos. Por consiguiente, la exposición a largo plazo, de forma repetida, a la radiación UV es un importante factor causal de CPNM. • En algunos países existe una relación clara entre el aumento de la incidencia de CPNM y la disminución de la latitud, esto es, una mayor intensidad de la radiación UV.

#### **d. Melanoma maligno**

El melanoma maligno (MM), aunque mucho menos frecuente que los CPNM, es la principal causa de muerte por cáncer de piel y su notificación y diagnóstico correcto es más probable que en los CPNM. Desde comienzos de los años setenta, la incidencia de MM ha aumentado significativamente; por ejemplo, en los Estados Unidos ha aumentado por término medio un 4% anual. Numerosos estudios indican que existe una asociación estadística entre el riesgo de MM y características genéticas y personales, así como con los hábitos personales de exposición a la radiación UV. Se resumen a continuación los principales factores de riesgo en seres humanos: • El principal factor de riesgo de MM en poblaciones de piel clara es la presencia de numerosos nevos (lunares) atípicos. • Los MM son más frecuentes en las personas de tez clara, ojos azules y pelo rubio o pelirrojo. Se ha comprobado en estudios experimentales que los pacientes con melanoma presentan un menor tiempo de eritema y un enrojecimiento de la piel más prolongada que los controles. • Al parecer, un importante factor de riesgo de sufrir MM es la exposición alta e intermitente a la radiación UV solar. • La incidencia de MM en la población blanca generalmente aumenta conforme disminuye la latitud, siendo la incidencia más alta la registrada en Australia, donde las tasas anuales de mujeres y hombres son, respectivamente, 10 y más de 20 veces superiores a las registradas en Europa.: • Varios estudios epidemiológicos demuestran la existencia de una asociación positiva con los antecedentes de quemaduras solares, particularmente en edades tempranas. • No está claro qué papel desempeña la exposición solar acumulada en el desarrollo del

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

MM. No obstante, el riesgo de MM es mayor en personas con antecedentes de CPNM o queratosis actínica, indicadores ambos de la exposición acumulada a la radiación UV.

#### **e. Efectos oculares**

Los ojos están hundidos en las órbitas y protegidos por el arco superciliar, las cejas y las pestañas. La luz intensa activa la constricción pupilar y el reflejo de cierre parcial de los párpados para minimizar la penetración de los rayos del sol en el ojo. Sin embargo, en condiciones extremas, como las de una cama solar o una gran reflexión por la arena, el agua o la nieve, la eficacia de estas defensas naturales contra los peligros de la radiación UV es limitada. La foto queratitis y la foto conjuntivitis son efectos agudos de la exposición a la radiación UV. Estas reacciones inflamatorias de los tejidos “seudocutáneos” extremadamente sensibles del globo ocular y de los párpados son parecidas a las de una quemadura solar y habitualmente aparecen pocas horas después de la exposición. Ambas reacciones pueden ser muy dolorosas, pero son reversibles y no ocasionan daños a largo plazo en el ojo ni en la visión. La “queratitis por soldadura al arco” y la “ceguera de la nieve” son formas extremas de foto queratitis. Las cataratas son la principal causa de ceguera en todo el mundo. Se produce una desnaturalización de las proteínas del cristalino, que se disgregan y acumulan pigmentos, aumentando la opacidad del cristalino y acabando por producir ceguera. Aunque la mayoría de las personas presentan un mayor o menor grado de cataratas al envejecer, la exposición al sol, particularmente la exposición a la radiación UVB, es al parecer uno de los principales factores de riesgo de padecer cataratas.

**f. Sistema inmunológico**

El sistema inmunitario es el mecanismo de defensa del organismo contra las infecciones y el cáncer, y normalmente reconoce y responde de forma muy eficaz a los microorganismos invasores o a la aparición de un tumor. Aunque los datos son aún preliminares, hay cada vez más pruebas de la existencia de un efecto inmunodepresor sistemático por la exposición a la radiación UV, tanto aguda como de dosis baja. Experimentos con animales han demostrado que la radiación UV puede modificar el curso y la gravedad de los tumores cutáneos. Además, las personas tratadas con medicamentos inmunodepresores presentan una mayor incidencia de carcinoma de células escamosas que la población normal. En consecuencia, además de su papel iniciador del cáncer de piel, la exposición al sol puede reducir las defensas del organismo que normalmente limitan el desarrollo progresivo de los tumores cutáneos. Varios estudios han demostrado que la exposición a niveles medioambientales de radiación UV altera la actividad y distribución de algunas de las células responsables de desencadenar las respuestas inmunitarias en el ser humano. En consecuencia, la exposición al sol puede aumentar el riesgo de infecciones víricas, bacterianas, parasitarias o fúngicas, según se ha comprobado en diversos experimentos con animales. Asimismo, especialmente en los países en desarrollo, niveles altos de radiación UV pueden reducir la eficacia de las vacunas. Dado que muchas enfermedades prevenibles por vacunación son extremadamente infecciosas, cualquier factor que disminuya, aunque sea levemente, la eficacia de las vacunas puede tener un gran impacto en la salud pública.

### **g. Agotamiento de la capa de ozono y efectos sobre la salud relacionados con la radiación UV**

El agotamiento de la capa de ozono probablemente empeorará los efectos sobre la salud ocasionados actualmente por la exposición a la radiación UV, ya que el ozono estratosférico absorbe la radiación UV de forma particularmente eficaz. Conforme se hace menos densa la capa de ozono, disminuye progresivamente el filtro protector de la atmósfera. Por consiguiente, las personas y el medio ambiente se ven expuestas a mayores niveles de radiación UV y, en particular, a mayores niveles de radiación UVB, que es la que produce un mayor impacto sobre la salud de las personas, mamíferos, organismos marinos y plantas. Según predicciones de modelos computacionales, una disminución de la densidad del ozono estratosférico en un 10% podría aumentar en 300 000 los casos de cáncer de piel no melánico, en 4 500 los de cáncer de piel melánico y en 1,6 a 1,75 millones los casos de cataratas en todo el mundo cada año.

### **h. Efecto de la radiación UV en plantas**

La influencia de la radiación UV en las plantas ha sido un claro objetivo de estudio en las últimas décadas, en el que se han utilizado gran variedad de especies, distintos estudios de desarrollo, diversas condiciones de crecimiento y, sobre todo, diferentes estrategias para determinar la forma más precisa en la que se pueda medir cómo estas especies absorben dicha radiación. Distintos autores han escrito sobre los posibles efectos del UV en las plantas y varias de las conclusiones a las que se han llegado incluyen desde cambios en la composición genética, que pueden provocar, a niveles altos de radiación, daños celulares directos al ADN, proteínas y lípidos, y de inhibición de las reacciones de fotosíntesis, procesos de la membrana celular, etc. (Berli, F, 2013) ó a través de la sobreproducción de radicales libres, llamadas especies reactivas de oxígeno (ROS), causar



daños oxidativos a diferentes macromoléculas (Berli, F, 2013). A niveles moderados, por otro lado, pueden promover mecanismos de protección, estimulando la transcripción de genes que promueven la biosíntesis de metabolitos secundarios, en particular de compuestos fenólicos, responsables de la absorción de UV, que se acumulan en las vacuolas de las células epidérmicas, (Berli, F, 2013), reduciendo así el daño por UV-B.

**i. Pérdida de cosechas.**

Las alteraciones que provoca el cambio del clima sobre la flora son especialmente graves en lo referente a la producción de alimentos, principalmente cuando la agricultura es de temporal. El informe comportamiento en la superficie potencialmente apta para el cultivo de maíz de temporal ante un cambio climático global concluye que la superficie apta para el cultivo del maíz experimentará una reducción mayor al 50 %, problema que se agravará con el crecimiento poblacional.

**j. Efecto de la radiación solar en el calentamiento global:**

La cantidad de radiación que emite el Sol durante los momentos de baja actividad se incrementó desde los años 70 en casi un 0,05 por ciento por década, según un estudio realizado por científicos de la NASA, que auguraron que la Tierra podría afrontar un sustancial cambio climático de continuar esta tendencia.

Estos resultados no son sorprendidos, ya que los registros históricos indican que la radiación solar se ha incrementado desde finales del siglo XIX", explicó Richard Willson, del Goddard Institute for Space Studies y de la Columbia University, en un artículo presentado en la página de Internet del Goddard Space Flight Center (GSFC) de la NASA.

"Si una tendencia comparable a la mencionada en el estudio hubiera estado presente durante todo el siglo XX, sería un componente significativo en el calentamiento global, ya sugerido en otros informes que se produjeron durante los últimos 100 años", puntualizó el científico. El sol observa ciclos de aproximadamente 11 años. Cuando atraviesa su "máximo solar", la actividad magnética y las manchas solares alcanzan su punto álgido. En estos períodos aumentan las manchas sobre su superficie y esto genera un flujo intenso de radiación y partículas que, lanzadas hacia el espacio, terminan lloviendo también sobre la Tierra. En la fase de tranquilidad, el río de energía es más reducido. Las mediciones muestran un incremento preocupante.

La diferencia encontrada en la radiación solar durante los últimos 24 años "fue del 0,1 por ciento. Ello no es suficiente para causar un notable cambio climático, pero sí lo sería si la tendencia se prolongara durante un siglo o más. Fue necesario un período de un cuarto de siglo de observaciones satelitales para poder detectar con precisión este efecto", afirma Willson.

La Irradiación Solar Total (TSI) es la energía que recibe la Tierra procedente del Sol, en todas las longitudes de onda, fuera de la atmósfera. La interacción de la TSI con la atmósfera, los océanos y las tierras que emergen es el principal factor en la determinación del clima de la Tierra.

Los científicos explicaron que "se puede producir un descenso de un 0,2 por ciento en la TSI durante el paso de un gran grupo de manchas solares a través del hemisferio visible del Sol, algo que precisa de una semana".

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro,  
departamento Cusco.

"La cantidad de energía introducida en el ambiente de este modo por el sol sería, de hecho, cerca del doble de aquella que ahora descarga en forma artificial la actividad humana", explica Guillermo Visconti, físico de la Universidad de LŽAquila.

La radiación solar es otro problema que va de la mano con el calentamiento global, los agujeros en la capa de ozono permiten mayor penetración de rayos UV en el planeta, ayudando a calentar el este.

Cooperemos a calmar el calentamiento acerca de la radiación lamentablemente no podemos hacer nada sin embargo podemos cooperar con medidas para ahorrar energía, en nuestro hogar.

#### **k. Organización Meteorológica mundial de la Salud**

La Oficina Conjunta para el Clima y la Salud de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha elaborado un documento informativo sobre la salud y el niño oscilación del Sur (ENOS) como parte de un esfuerzo más amplio de la OMS por examinar los actuales riesgos para la salud y las respuestas del episodio del Niño en países de alto riesgo.

El actual episodio del Niño es uno de los tres más intensos registrados desde 1950, y el más intenso desde 1996-1998, según la OMM. Está contribuyendo a que se den condiciones meteorológicas extremas en todo el mundo, y, en combinación con un cambio climático a largo plazo, a que las temperaturas globales en superficie registradas en 2015 hayan batido récords.

El Niño de 2015-2016, con los consiguientes fenómenos meteorológicos y climáticos extremos, incluidas sequías e inundaciones, está afectando a la salud de millones de personas. Las consecuencias de el Niño para la salud se seguirán haciendo sentir incluso después de que el

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

episodio haya alcanzado su máxima intensidad y es probable que se prolonguen todo el año. La OMS estima que la salud de 60 millones de personas puede verse afectada por las anomalías meteorológicas y climáticas relacionadas con el Niño de este año, lo que se traduciría en unos costos onerosos para los sistemas de salud.

La incidencia local de las enfermedades transmitidas por el agua, la exposición al humo de los incendios forestales, y los efectos sanitarios y nutricionales relacionados con las inundaciones y sequías son sensibles al clima y el tiempo y se ha observado que se ven influenciadas por factores relacionados con los episodios del ENOS, según el documento de la OMS y la OMM.

Se ha constatado la existencia de indicios que relacionan al fenómeno de el Niño con brotes de malaria en África meridional, Asia meridional y América del Sur, y con brotes de fiebre en el valle del Rift (Cuerno de África).

Hay estudios que demuestran que los episodios de el Niño han agravado los incendios forestales en Brasil, Indonesia y Malasia. En 2015 la calidad del aire llegó a ser peligrosa en seis países del sureste de Asia debido a que los incendios forestales empeoraron con las sequías relacionadas con el Niño, y en Indonesia se decretó el estado de emergencia por la peligrosidad de la calidad del aire, se evacuaron poblaciones y hubo que prestar atención médica a miles de personas.

Los anteriores episodios de el Niño tuvieron consecuencias drásticas para la salud, en particular en el ámbito de la seguridad alimentaria de África. En 1991-1992 El Niño desencadenó una sequía en África meridional que afectó a casi 100 millones de personas. La crisis mundial de alimentos de 1982-84, la más grave jamás registrada, estuvo relacionada con un episodio de El Niño, incluidas hambrunas que afectaron a numerosas poblaciones de África.

Sin embargo, el mundo está mejor preparado para afrontar el actual episodio de El Niño que cualquier otro episodio anterior, teniendo en cuenta las lecciones aprendidas del intenso episodio de El Niño de 1997-98 y los enfoques proactivos adoptados por la OMM, sus Miembros y asociados para la vigilancia y la alerta temprana del ENOS.

Las previsiones regionales y nacionales de los servicios meteorológicos predijeron la llegada y la evolución de este episodio de El Niño con muchos meses de antelación. Los últimos avances en predicción del ENOS y la mayor predictibilidad de los fenómenos climáticos de escalas estacionales a interanuales durante los episodios del ENOS pueden ayudar a los profesionales de la salud a anticipar de forma fiable la ubicación y el momento de riesgos para la salud en relación con el ENOS. El acceso a estos conocimientos sobre el clima ha permitido a la OMS concienciar de forma proactiva a sus oficinas regionales y nacionales y prestarles apoyo para movilizar los recursos necesarios y propiciar las medidas de preparación adecuadas.

La Ley N° 30102 dispone medidas preventivas contra los efectos nocivos para la salud por la exposición prolongada de la radiación solar.

- La norma, que rige desde el 2013, dispone que las instituciones y entidades públicas y privadas, cuyos empleados estén expuestos a la radiación UV, otorguen bloqueadores, lentes, gorros, entre otros instrumentos de protección

### III HIPOTESIS Y VARIABLES

#### 3.1 Hipótesis general

1. Existen niveles altos de radiación solar ultravioleta medidas en la estación meteorológica CECADE en el distrito de Yaurisque dentro de los parámetros de la OMS.

#### 3.2 Hipótesis específicas

1. El nivel de radiación UV variable en las estaciones del año originará la presencia de mayores enfermedades de piel causados por eritemas solares en los pobladores de Yaurisque.
- 2.- Se establecerá un modelo lineal para la obtención de valores de radiación ultravioleta a partir de datos de radiación global en los periodos estacionales mediante ecuación que superará el índice de la OMS en el Distrito de Yaurisque para el año 2016.

#### 3.3 Variables

Variable independiente

- Comportamiento del índice de radiación solar ultravioleta (UV)

## IV METODOLOGÍA

### 4.1 Ámbito de estudio: localización política y geográfica

El Distrito peruano de Yaurisque es uno de los nueve distritos de la Provincia de Paruro, ubicada en el Departamento de Cusco, bajo la administración el Gobierno regional del Cuzco.

La Provincia de Paruro desde el punto de vista de la jerarquía eclesiástica está comprendida en la Arquidiócesis del Cusco.



Figura 28 Mapa Distrital de Yaurisque. Fuente: <http://blogdemitrabajo.blogspot.com/>

#### . Coordenadas geográficas

Latitud: 13° 39' 56" Sur

Longitud: 71° 55' 14" Oeste

Altitud Media 3 328 m s. n. m.

#### Superficie

- Total 90.8 km<sup>2</sup>

#### Población

- Total 2605 hab.

- Densidad 21,19 hab/km<sup>2</sup>

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

## **4.2 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION**

### **4.2.1 INVESTIGACION DESCRIPTIVA**

El propósito del investigador es describir situaciones y eventos. Esto es, decir cómo es y se manifiesta determinado fenómeno. Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que sea sometido a análisis miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno o fenómenos a investigar. Desde el punto de vista científico, describir es medir. Esto es, en un estudio descriptivo se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente, para así -y valga la redundancia-- describir lo que se investiga.

El proceso de la descripción no es exclusivamente la obtención y la acumulación de datos y su tabulación correspondiente, sino que se relaciona con condiciones y conexiones existentes, prácticas que tienen validez, opiniones de las personas, puntos de vista, actitudes que se mantienen y procesos en marcha. Los estudios descriptivos se centran en medir los explicativos en descubrir. El investigador debe definir que va a medir y a quienes va a involucrar en esta medición

### **4.2.2 INVESTIGACIÓN EXPLICATIVA**

La Teoría, es la que constituye el conjunto organizado de principios, inferencias, creencias, descubrimientos y afirmaciones, por medio del cual se interpreta una realidad.

Una teoría o explicación, contiene un conjunto de definiciones y de suposiciones relacionados entre sí de manera organizada sistemática; estos supuestos deben ser coherentes a los hechos relacionados con el tema de estudio. *(Extraído de : Metodología de la Investigación – Hernandez Sampieri, Fernandez Collado y Baptista Lucio, 2014 )* (Sampieri, Fernandez , & Baptista , 2014)



La metodología descriptiva y explicativa utilizada para el desarrollo del presente trabajo de investigación es realizar un estudio y análisis de los datos de la actividad solar de la radiación solar global y radiación ultravioleta, donde los datos son registradas por Data logger & software for vantage pro2, marca Davis (CECADE) con los cuales se realizaron graficas con la finalidad de encontrar la influencia de la actividad solar sobre la radiación en especial UV.

La parte teórica trata de un estudio general de la radiación ultra violeta y su incidencia en la salud del hombre.

Se toman datos de la estación experimental meteorológica CECADE - YAURISQUE, así como para el procesamiento de los datos obtenidos. Se presentan los resultados del estudio estadístico y las distribuciones de curvas. En torno a la relación entre la Irradiancia, Irradiación e IUUV

### **4.3 TECNICA DE RECOLECCION DE INFORMACION**

La información empleada en la presente tesis fue recopilada a través de la red del monitoreo de la radiación ultravioleta B , en el distrito de Yaurisque generada en la estación meteorológica CECADE , registrado y almacenada automáticamente a nivel horario para el periodo 2016.

La información recopilada de radiación UV- B se ha realizado mediante el Data logger & software for vantage pro2, marca Davis.

La tabulación a nivel horario, diario y mensual se realizo con ayuda de la hoja de cálculo del programa Excel, las figuras utilizadas para esta representación de datos son figuras de curvas, barras, histogramas.

La Irradiancia, Irradiación e UV índice se mide directamente, con el instrumento Vantage Pro 2 console manual (For Vantage Pro 2 & Vantage Pro 2 Plus)Weather Stations

Variable	Required sensor	Resolución	Range	Nominal accuracy (+/-)
Solar radiacion	Solar sensor	1 W / m <sup>2</sup>	0 a 1800 w/ m <sup>2</sup>	5 %
Time date	Included in console	1 min	24 horas	8 sec / mon
		1 day	Month/day	8 sec / mon
UV index	UV Radiación	0,1 index	0 a 16	5 %
UV dose	UV Radiación	0,1 MED < 20 1MED > 20	0 a 199 MED	5 %

El valor registrado por Weatherlink es el promedio de radiación solar media durante el intervalo de archivo.

La radiación solar actual, es técnicamente conocido radiación solar mundial, una medida de la intensidad de la radiación del sol alcanzar una superficie horizontal, esto incluye tanto la Irradiancia componente directa del sol y refleja el comportamiento del resto del cielo. La radiación solar lectura da una medida de la cantidad de radiación solar golpeando el sensor de radiación solar en un momento dado, expresado en W / m<sup>2</sup> . el valor registrado por Weatherlink es el promedio de radiación solar medida durante el intervalo de archivo.

Vantage Pro 2 consolas con firmware Rev A solo muestran el promedio de radiación solar de alto valor, RevB del firmware permite a la consola Vantage Pro 2 también acceder a la alta radiación solar para cada periodo del archivo.

La energía acumulada durante un periodo de tiempo se mide en langleys.

$$1 \text{ Langley} = 11,622 \text{ W / m}^2 = 41,84 \text{ kJ / m}^2$$

## V. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA RADIACIÓN SOLAR

#### 5.1 Introducción.

##### . Métodos estadísticos e integración

##### .Promedio

Según Murray & Spiegel, (1970), valor típico o representativo de un conjunto de datos. Como tales valores tienden a situarse en el centro el conjunto de datos ordenados según magnitud, se conocen como medida de centralización y la más usada es:

##### .Media Aritmética

Para Murray & Spiegel, (1970), para un conjunto de N datos  $X_1, X_2, X_3 \dots X_N$  la media aritmética se define como:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_N}{N} = \sum_{j=1}^N X_j$$

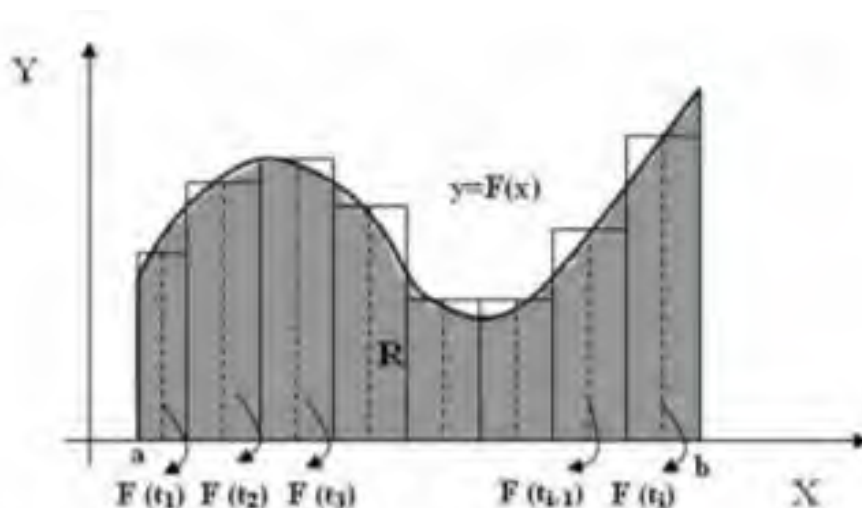
##### .Método de integración

Según Tylor-Wade, (1980), para definir el área de una región plana “R” nos podría conducir a una suma de tipo especial, Supóngase que F es una función cuyo dominio es el intervalo cerrado [a; b] y que tiene la propiedad de que  $F(x) \geq 0$ . El área del i-ésimo rectángulo es:

$$F(t_i)\Delta X_i$$

La suma:

$$R = \sum_{i=1}^n F(t_i)\Delta X_i$$



Descripción del área que se desea determinar bajo una curva cualquiera.

**Fuente: Murray, & Spiegel,R. (1970), Estadística**

La estación meteorológica del CECADE Ubicada en el distrito de Yaurisque provincia de Paruro tiene una data registrada desde el año 2008 al 2019 tiene instalado una estación Davis, Weatherlink y procesados mediante data logger & software for vantage pro2,

De donde las mediciones han sido registradas cada 15 minutos las 24 horas del día. En el presente estudio se desarrolla una metodología para evaluar los datos de las siguientes variables.

1. Irradiancia (Intensidad solar) expresado en  $W/m^2$ .
2. Irradiación (Energía Solar) expresado en Langley (Ly). Cuya equivalencia al S.I está dada por:

$$1 \text{ Langley} = 11,622 \text{ Wh} / \text{m}^2 = 41,84 \text{ KJ} / \text{m}^2.$$

3. Índice UV en la escala de 0 - 20.

La tabla 14, muestra la data base registrada por los diferentes sensores de la estación correspondiente al 1° de enero del 2016 y presenta las medidas de las variables a evaluarse.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

4. Referencialmente se ha tomado los promedios diarios mensuales del año 2016 de las variables meteorológicas: temperatura, radiación, irradiancia, índice ultravioleta.

La organización mundial de la salud (OMS), la organización meteorológica mundial (OMM), el programa medio ambiental de las naciones unidas (UNEP) y la comisión Internacional de radiación no Ionizante, recomiendan que para la presentación de los datos UV se toma los criterios que reúne a continuación.

a) Se requiere que al menos se reporten valores de irradiancia efectiva al medio día solar lo cual para ello se deberá utilizar el valor medio de 30 minutos, así mismo como para los datos registrados manejaremos los valores medios de periodos registrados cada 15 minutos para mostrar los cambios a corto plazo, así mismo las predicciones del UV deben considerar la nubosidad.

b) Una equivalencia del índice UV en la irradiancia es multiplicando el IUV por una constante  $1/40 \text{ W/m}^2$  tal como se expresa en la tabla 5.

En el presente trabajo se presenta una metodología de cálculo, evaluación diaria, mensual y anual y estacional del IUV y su relación con la correspondiente Irradiancia e irradiación y los demás datos meteorológicos, para ilustrar este procedimiento se han tomado los datos registrados a lo largo del año 2016 pues este año presenta características climáticas especiales vinculadas al niño 2016 - 2017.

Este periodo garantiza que se ha cubierto varias condiciones estacionales y nos permite conocer los resultados obtenidos con el objetivo de facilitar su análisis e interpretación y cuyos resultados son presentados en tablas distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 14 Valores de la Irradiancia, Irradiación e IUV.**

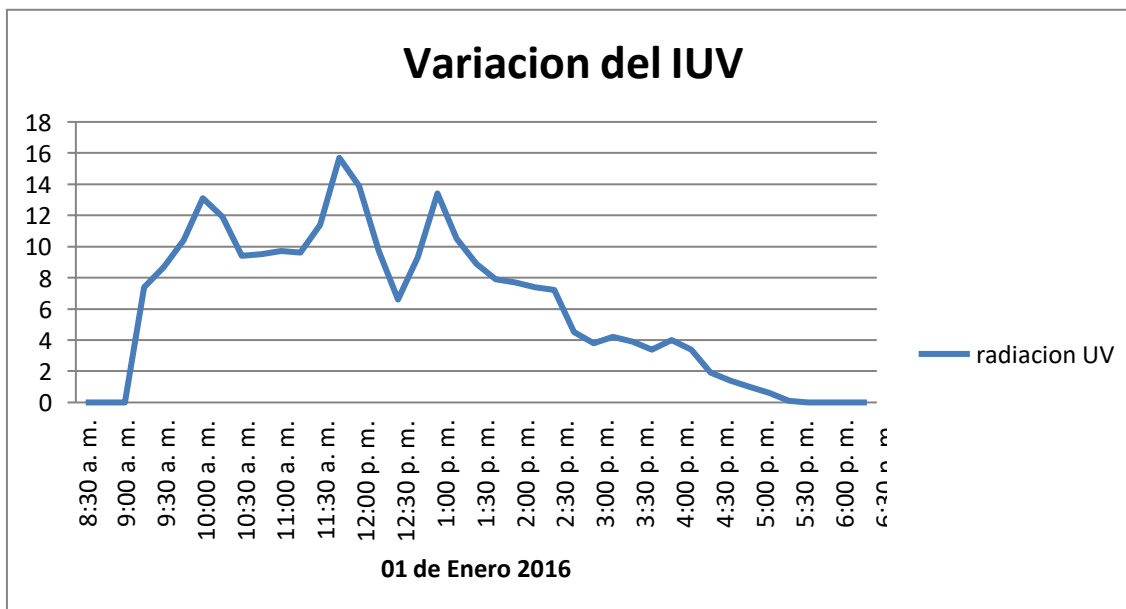
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
01/01/2016	12:15 AM	---	---	---
01/01/2016	12:30 AM	---	---	---
01/01/2016	12:45 AM	---	---	---
01/01/2016	1:00 AM	---	---	---
01/01/2016	1:15 AM	---	---	---
01/01/2016	1:30 AM	---	---	---
01/01/2016	1:45 AM	---	---	---
01/01/2016	2:00 AM	---	---	---
01/01/2016	2:15 AM	---	---	---
01/01/2016	2:30 AM	---	---	---
01/01/2016	2:45 AM	---	---	---
01/01/2016	3:00 AM	---	---	---
01/01/2016	3:15 AM	---	---	---
01/01/2016	3:30 AM	---	---	---
01/01/2016	3:45 AM	---	---	---
01/01/2016	4:00 AM	---	---	---
01/01/2016	4:15 AM	---	---	---
01/01/2016	4:30 AM	---	---	---
01/01/2016	4:45 AM	---	---	---
01/01/2016	5:00 AM	---	---	---
01/01/2016	5:15 AM	---	---	---
01/01/2016	5:30 AM	---	---	---
01/01/2016	5:45 AM	---	---	---
01/01/2016	6:00 AM	---	---	---
01/01/2016	6:15 AM	---	---	---
01/01/2016	6:30 AM	---	---	---
01/01/2016	6:45 AM	---	---	---
01/01/2016	7:00 AM	---	---	---
01/01/2016	7:15 AM	---	---	---
01/01/2016	7:30 AM	---	---	---
01/01/2016	7:45 AM	---	---	---
01/01/2016	8:00 AM	---	---	---
01/01/2016	8:15 AM	---	---	---
01/01/2016	8:30 AM	---	---	---
01/01/2016	8:45 AM	613	13,18	6,9
01/01/2016	9:00 AM	560	12,04	6,8
01/01/2016	9:15 AM	579	12,45	7,4
01/01/2016	9:30 AM	651	14	8,7
01/01/2016	9:45 AM	722	15,53	10,4
01/01/2016	10:00 AM	892	19,18	13,1

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

01/01/2016	10:15 AM	779	16,75	11,9
01/01/2016	10:30 AM	606	13,03	9,4
01/01/2016	10:45 AM	663	14,26	9,5
01/01/2016	11:00 AM	658	14,15	9,7
01/01/2016	11:15 AM	589	12,67	9,6
01/01/2016	11:30 AM	776	16,69	11,4
01/01/2016	11:45 AM	926	19,91	15,7
01/01/2016	12:00 PM	798	17,16	13,9
01/01/2016	12:15 PM	530	11,4	9,7
01/01/2016	12:30 PM	354	7,61	6,6
01/01/2016	12:45 PM	506	10,88	9,3
01/01/2016	1:00 PM	737	15,85	13,4
01/01/2016	1:15 PM	606	13,03	10,5
01/01/2016	1:30 PM	521	11,2	8,9
01/01/2016	1:45 PM	476	10,24	7,9
01/01/2016	2:00 PM	493	10,6	7,7
01/01/2016	2:15 PM	481	10,34	7,4
01/01/2016	2:30 PM	519	11,16	7,2
01/01/2016	2:45 PM	315	6,77	4,5
01/01/2016	3:00 PM	285	6,13	3,8
01/01/2016	3:15 PM	340	7,31	4,2
01/01/2016	3:30 PM	330	7,1	3,9
01/01/2016	3:45 PM	332	7,14	3,4
01/01/2016	4:00 PM	517	11,12	4
01/01/2016	4:15 PM	509	10,94	3,4
01/01/2016	4:30 PM	238	5,12	1,9
01/01/2016	4:45 PM	193	4,15	1,4
01/01/2016	5:00 PM	132	2,84	1
01/01/2016	5:15 PM	92	1,98	0,6
01/01/2016	5:30 PM	60	1,29	0,1
01/01/2016	5:45 PM	43	0,92	0
01/01/2016	6:00 PM	35	0,75	0
01/01/2016	6:15 PM	24	0,52	0
01/01/2016	6:30 PM	0	0	0
01/01/2016	6:45 PM	0	0	0
01/01/2016	7:00 PM	0	0	0
01/01/2016	7:15 PM	0	0	0
01/01/2016	7:30 PM	0	0	0
01/01/2016	7:45 PM	0	0	0
01/01/2016	8:00 PM	0	0	0
01/01/2016	8:15 PM	0	0	0
01/01/2016	8:30 PM	0	0	0
01/01/2016	8:45 PM	0	0	0

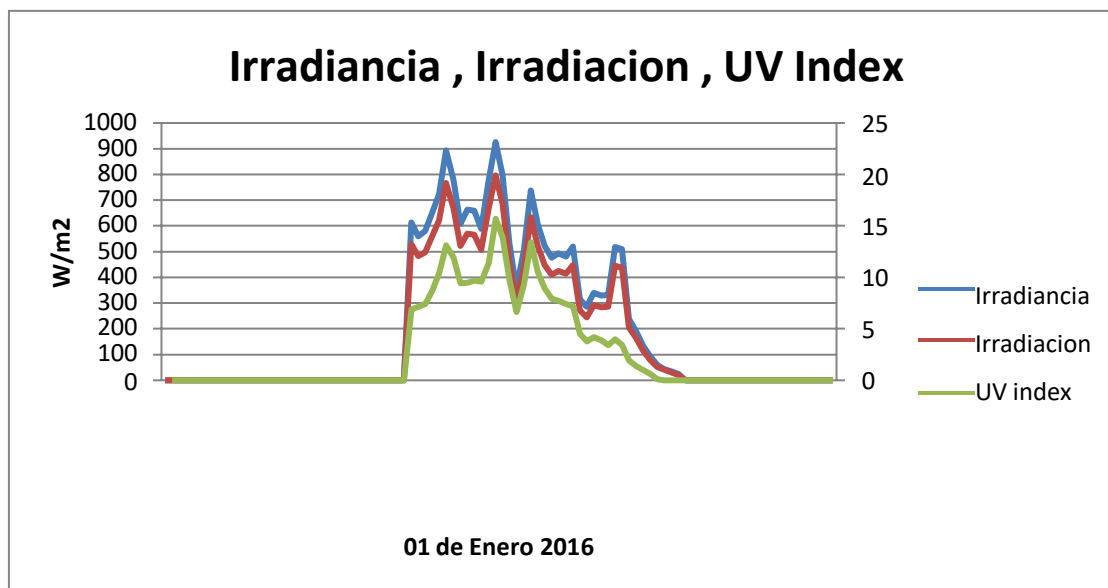
Fuente; CECADE

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 29** Evaluación horaria del IUV para el 1ro de Enero del 2016. Fuente: Elaboración propia

Datos registrados por la estación meteorológica CECADE, con el prototipo marca Davis, Weatherlink y procesados mediante data logger & software for vantage pro2.



**Figura 30** Evaluación horaria de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 1ro de Enero del 2016.

La figura 31 muestra la dependencia del IUV con la irradiancia e irradiación a lo largo del día donde los picos corresponden a valores registrados con cielo claro y los valles a cielo nublado, pues Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



la intermitencia del sol es permanente para el primero de enero que corresponde a un día del verano lluvioso que presento un pico de 16 de índice de radiación ultravioleta UV – B que está en el rango de extremadamente alto que esta exposición a los rayos solares produce enfermedades graves así como males superficiales en la piel, ojos y otros organismos del cuerpo humano. El índice de la radiación ultravioleta IUV es un indicador que mide la intensidad de radiación solar y el área bajo la curva es la energía en Ly.

**Tabla 15 Valor máximo de la irradiancia, irradiación e IUV.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV index
		W/m <sup>2</sup>	Ly	
01/01/2016	11:45 AM	926	19,91	16

### 5.1.1 Promedios horarios de la Irradiancia, Irradiación e IUV para distintos días y condiciones de nubosidad 01 de Enero 2016.

**Tabla 16 Valores horarios promedios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 01 de Enero 2016.**

Fecha promedio	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV Index
		W/m <sup>2</sup>	Ly	
	6:00 AM	0	0	0
	7:00 AM	0	0	0
	8:00 AM	613	13,18	7
	9:00 AM	628	54,02	8
	10:00 AM	735	63,22	11
	11:00 AM	737,25	63,42	12
	12:00 PM	547	47,05	10
	1:00 PM	585	50,32	10
	2:00 PM	452	38,87	7

	3:00 PM	321,75	27,68	4
	4:00 PM	364,25	31,33	3
	5:00 PM	81,75	7,03	0
	6:00 PM	29,5	1,27	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

1 Langley =  $11,622 \text{ Wh} / \text{m}^2 = 41,84 \text{ KJ} / \text{m}^2$ .

**Tabla 17 Valores horarios promedios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 01 de Enero 2016**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
01/01/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
	6:00 AM	0	0	0
	7:00 AM	0	0	0
	8:00 AM	613	153,17796	7
	9:00 AM	628	627,82044	8
	10:00 AM	735	734,74284	11
	11:00 AM	737,25	737,06724	12
	12:00 PM	547	546,8151	10
	1:00 PM	585	584,81904	10
	2:00 PM	452	451,74714	7
	3:00 PM	321,75	321,69696	4
	4:00 PM	364,25	364,11726	3
	5:00 PM	81,75	81,70266	0
	6:00 PM	29,5	14,75994	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Fuente: Elaboración propia.**

Tomando los valores horarios promedios de la tabla 17 se ha graficado las variables de la irradiancia, irradiación e IUV para el 1<sup>o</sup> de enero del 2016 que se muestran en las figuras 32 y 33.

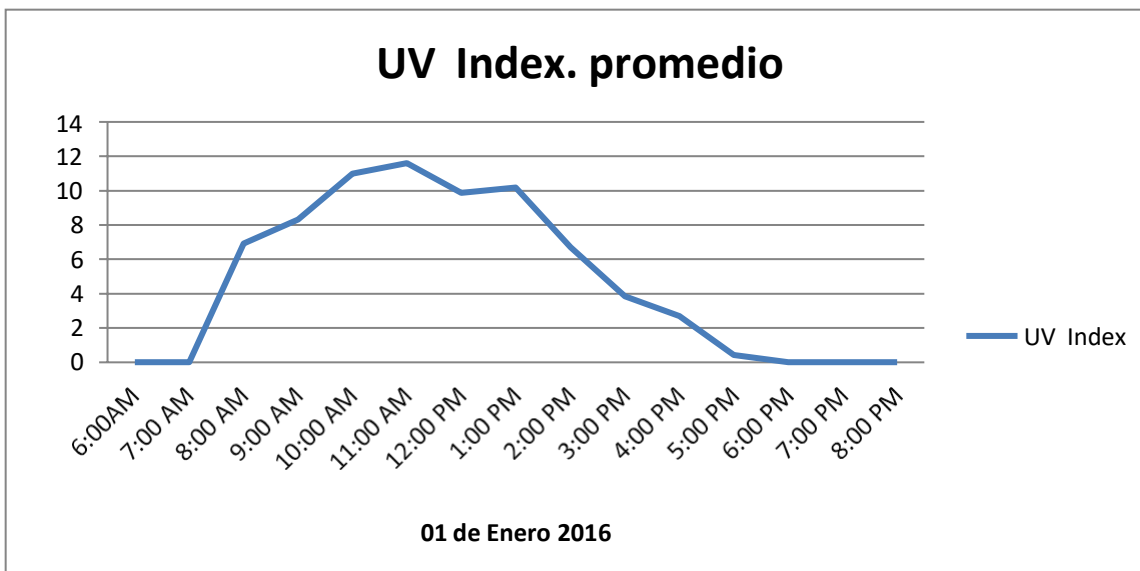


Figura 31 Evaluación horaria promedio del IUV para el 1ro de enero del 2016. Fuente propia.

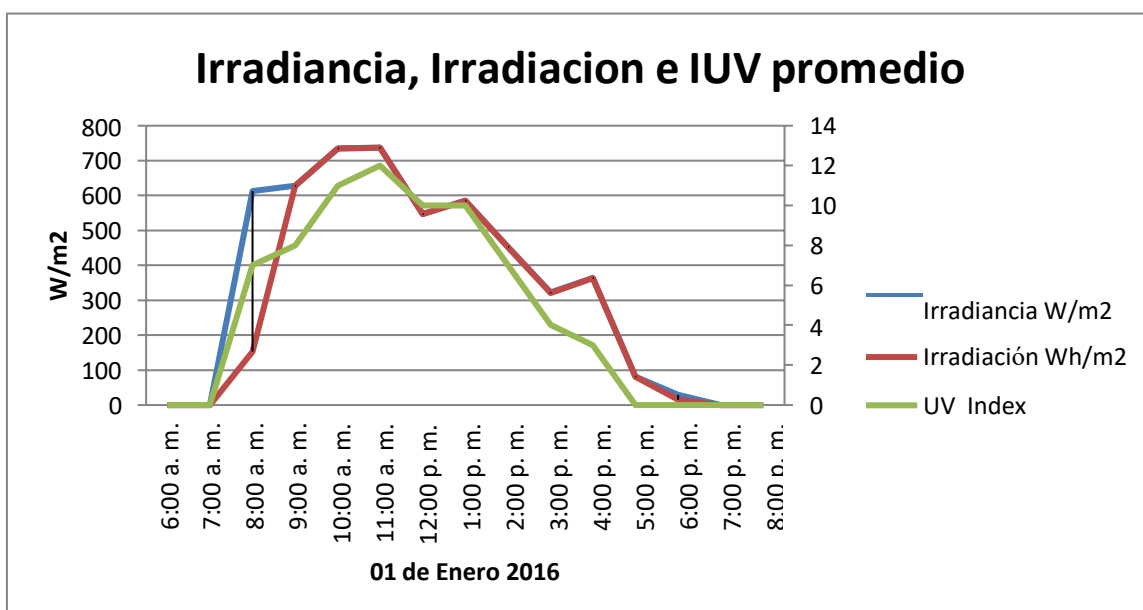


Figura 32 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 1ro de Enero del 2016

Un dato interesante obtenido de la tabla 17 es el presentado para las 11.am donde se observa el mayor valor del IUV = 12 que está en el rango de radiación más alto.

### 5.1.2 Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016.

Donde se ha considerado como día típico dado que en la base de datos se registra y se observa los mayores valores del IUV del mes de enero 2016.

**Tabla 18 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
08/01/2016	6:00 AM	---	---	---
08/01/2016	6:15 AM	---	---	---
08/01/2016	6:30 AM	---	---	---
08/01/2016	6:45 AM	---	---	---
08/01/2016	7:00 AM	---	---	---
08/01/2016	7:15 AM	---	---	---
08/01/2016	7:30 AM	---	---	---
08/01/2016	7:45 AM	---	---	---
08/01/2016	8:00 AM	---	---	---
08/01/2016	8:15 AM	---	---	---
08/01/2016	8:30 AM	---	---	---
08/01/2016	8:45 AM	---	---	---
08/01/2016	9:00 AM	---	---	---
08/01/2016	9:15 AM	---	---	---
08/01/2016	9:30 AM	---	---	---
08/01/2016	9:45 AM	---	---	---
08/01/2016	10:00 AM	---	---	---
08/01/2016	10:15 AM	---	---	---
08/01/2016	10:30 AM	---	---	---
08/01/2016	10:45 AM	---	---	---
08/01/2016	11:00 AM	1191	25,61	9,6
08/01/2016	11:15 AM	1200	25,8	9,8
08/01/2016	11:30 AM	1233	26,51	10,5

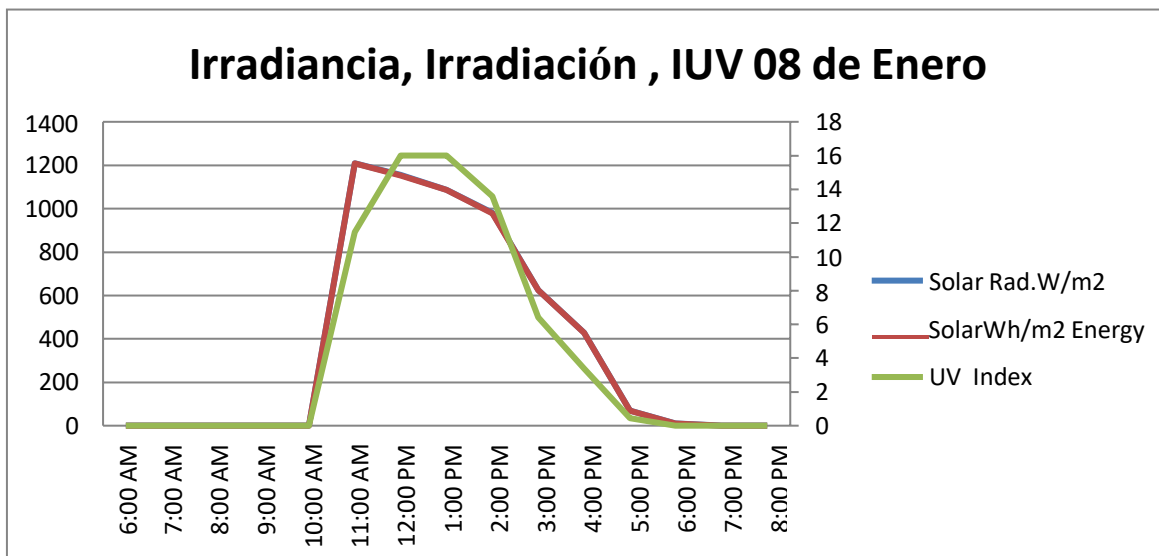
08/01/2016	11:45 AM	1211	26,04	16
08/01/2016	12:00 PM	1192	25,63	16
08/01/2016	12:15 PM	1147	24,66	16
08/01/2016	12:30 PM	1146	24,64	16
08/01/2016	12:45 PM	1131	24,32	16
08/01/2016	1:00 PM	1112	23,91	16
08/01/2016	1:15 PM	1100	23,65	16
08/01/2016	1:30 PM	1083	23,29	16
08/01/2016	1:45 PM	1050	22,58	16
08/01/2016	2:00 PM	971	20,88	15,2
08/01/2016	2:15 PM	1000	21,5	14,6
08/01/2016	2:30 PM	990	21,29	13,1
08/01/2016	2:45 PM	957	20,58	11,5
08/01/2016	3:00 PM	915	19,68	9,2
08/01/2016	3:15 PM	562	12,08	6,1
08/01/2016	3:30 PM	343	7,38	4,7
08/01/2016	3:45 PM	676	14,54	5,7
08/01/2016	4:00 PM	612	13,16	5
08/01/2016	4:15 PM	595	12,79	4,1
08/01/2016	4:30 PM	428	9,2	2,9
08/01/2016	4:45 PM	78	1,68	1,5
08/01/2016	5:00 PM	114	2,45	1,1
08/01/2016	5:15 PM	75	1,61	0,7
08/01/2016	5:30 PM	42	0,9	0
08/01/2016	5:45 PM	46	0,99	0
08/01/2016	6:00 PM	28	0,6	0
08/01/2016	6:15 PM	9	0,19	0
08/01/2016	6:30 PM	1	0,02	0
08/01/2016	6:45 PM	0	0	0
08/01/2016	7:00 PM	0	0	0
08/01/2016	7:15 PM	0	0	0
08/01/2016	7:30 PM	0	0	0
08/01/2016	7:45 PM	0	0	0
08/01/2016	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 19 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
08/01/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	0	0	0
	7:00 AM	0	0	0
	8:00 AM	0	0	0
	9:00 AM	0	0	0
	10:00 AM	0	0	0
	11:00 AM	1208,75	103,96	11,475
	12:00 PM	1154	99,25	16
	1:00 PM	1086,25	93,43	16
	2:00 PM	979,5	84,25	13,6
	3:00 PM	624	53,68	6,425
	4:00 PM	428,25	36,83	3,375
	5:00 PM	69,25	5,95	0,45
	6:00 PM	9,5	0,81	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 20 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 08 de enero 2016.**

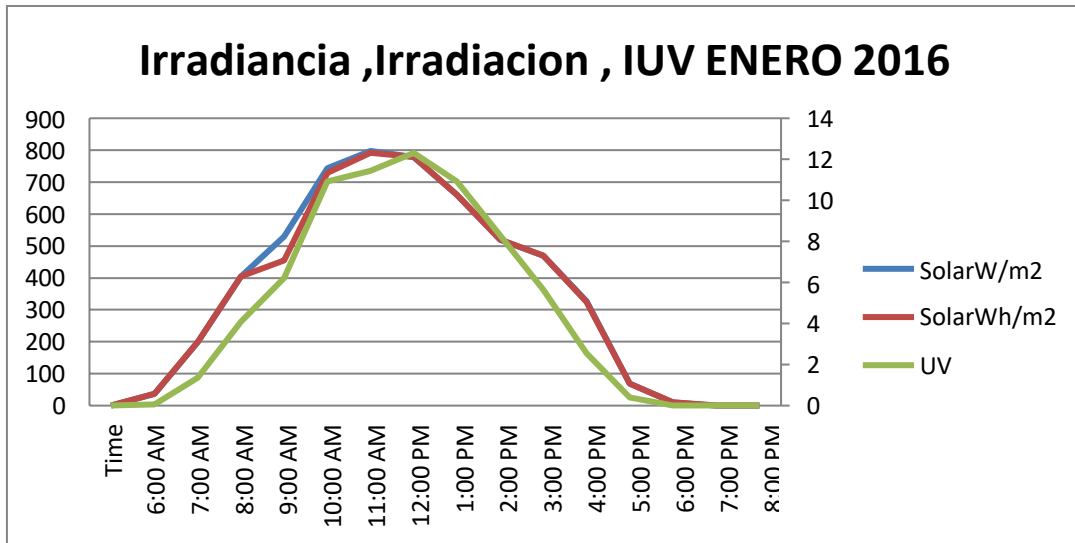
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
08/01/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
PROMEDIO	6:00 AM	0	0	0
	7:00 AM	0	0	0
	8:00 AM	0	0	0
	9:00 AM	0	0	0
	10:00 AM	0	0	0
	11:00 AM	1208,75	1208,22312	11,475
	12:00 PM	1154	1153,4835	16
	1:00 PM	1086,25	1085,84346	16
	2:00 PM	979,5	979,1535	13,6
	3:00 PM	624	623,86896	6,425
	4:00 PM	428,25	428,03826	3,375
	5:00 PM	69,25	69,1509	0,45
	6:00 PM	9,5	9,41382	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



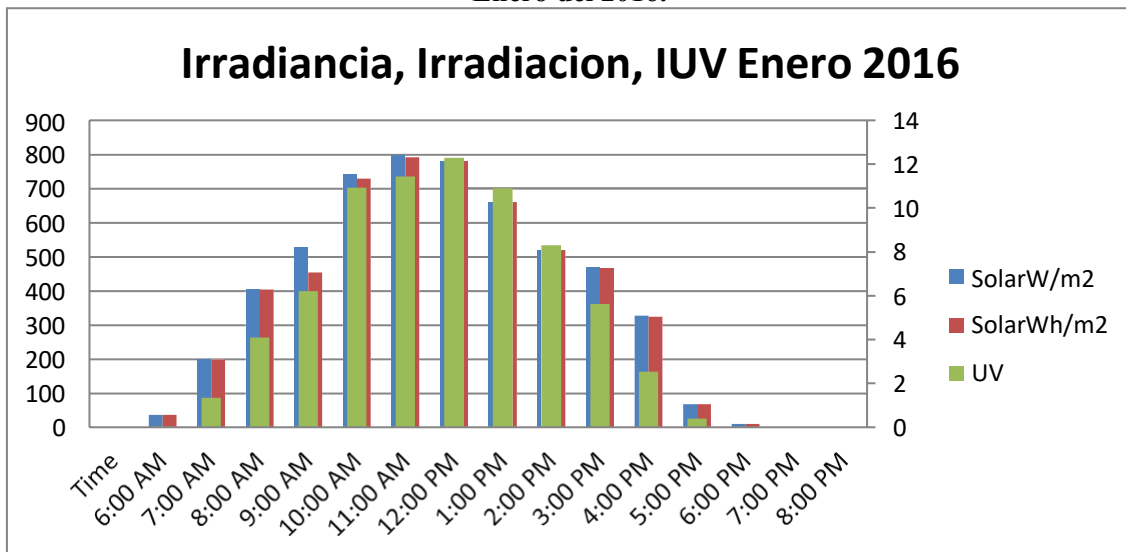
**Figura 33** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 8 de enero del 2016.

**Tabla 21** Valores horarios promedio mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV, enero 2016

Enero mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	36,0263158	36,07713474	0,04583333
	7:00 AM	199,657895	199,6170253	1,35789474
	8:00 AM	404,210526	404,0418884	4,09342105
	9:00 AM	529,435484	454,184011	6,20241935
	10:00 AM	743,056452	728,8831026	10,9274194
	11:00 AM	797,66129	791,5856671	11,4443548
	12:00 PM	779	778,6927452	12,3056452
	1:00 PM	660,282258	660,0321252	10,9129032
	2:00 PM	520,330645	520,1369865	8,29435484
	3:00 PM	469,153226	468,9626961	5,63790323
	4:00 PM	327,518817	323,8788968	2,53548387
	5:00 PM	67,75	67,73751484	0,39435484
	6:00 PM	10,3916129	9,533789032	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 34** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para Enero del 2016.



**Figura 35** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el mes de Enero del



**Tabla 22 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 29 de febrero 2016.Fuente propia**

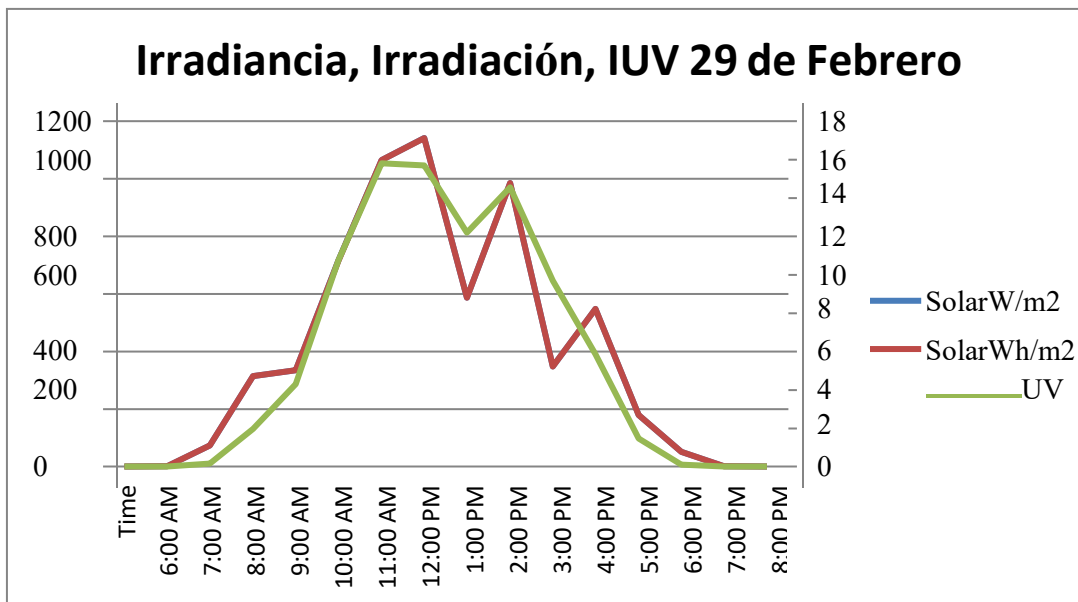
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
29/02/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Ind ex
	6:00 AM	0	0	0
	6:30 AM	1	0,04	0
	7:00 AM	36	1,55	0
	7:30 AM	109	4,69	0,3
	8:00 AM	255	10,97	1,3
	8:30 AM	375	16,13	2,6
	9:00 AM	275	11,83	3,3
	9:30 AM	395	16,99	5,3
	10:00 AM	516	22,19	8
	10:30 AM	915	39,35	13,5
	11:00 AM	1054	45,33	15,6
	11:30 AM	1074	46,19	16
	12:00 PM	1148	49,37	16
	12:30 PM	1135	48,81	15,4
	1:00 PM	476	20,47	11,5
	1:30 PM	698	30,02	12,9
	2:00 PM	1093	47,01	15,9
	2:30 PM	878	37,76	13,2
	3:00 PM	358	15,4	6,2
	3:30 PM	338	14,54	5,8
	4:00 PM	770	33,11	8
	4:30 PM	324	13,93	3,7
	5:00 PM	213	9,16	1,9
	5:30 PM	146	6,28	1
	6:00 PM	72	3,1	0,2
	6:30 PM	30	1,29	0

**Tabla 23 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 29 de Febrero 2016.**

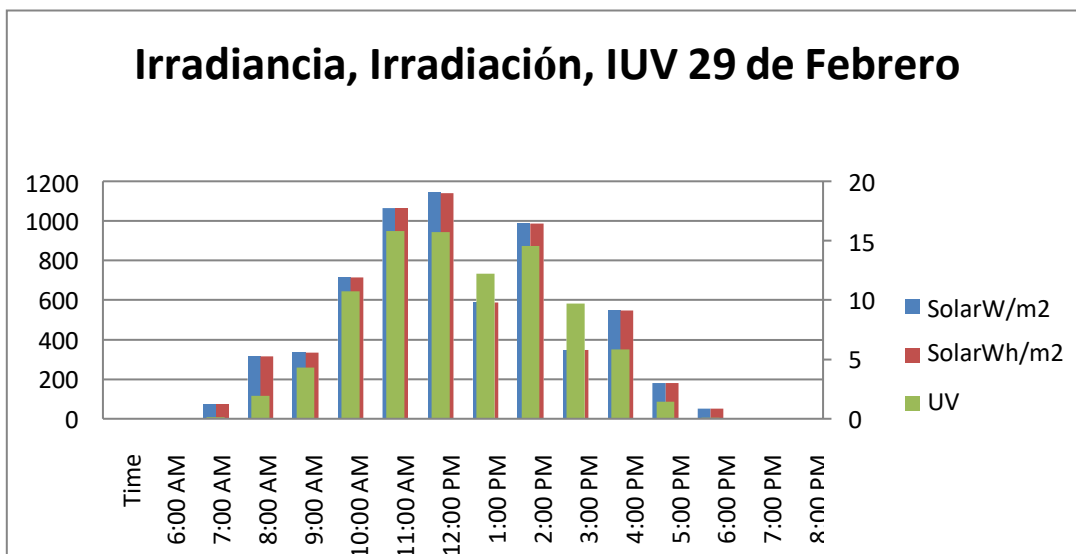
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
29/02/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
promedio	6:00 AM	0,5	0,04	0
	7:00 AM	72,5	6,24	0,15
	8:00 AM	315	27,1	1,95
	9:00 AM	335	28,82	4,3
	10:00 AM	715,5	61,54	10,75
	11:00 AM	1064	91,52	15,8
	12:00 PM	1141,5	98,18	15,7
	1:00 PM	587	50,49	12,2
	2:00 PM	985,5	84,77	14,55
	3:00 PM	348	29,94	9,7
	4:00 PM	547	47,04	5,85
	5:00 PM	179,5	15,44	1,45
	6:00 PM	51	4,39	0,1
	7:00 PM	0,5	0,04	0
	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 24 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV para el 29 de febrero 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
29/02/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	0,5	0,46488	0
	7:00 AM	72,5	72,52128	0,15
	8:00 AM	315	314,9562	1,95
	9:00 AM	335	334,94604	4,3
	10:00 AM	715,5	715,21788	10,75
	11:00 AM	1064	1063,64544	15,8
	12:00 PM	1141,5	1141,04796	15,7
	1:00 PM	587	586,79478	12,2
	2:00 PM	985,5	985,19694	14,55
	3:00 PM	348	347,96268	9,7
	4:00 PM	547	546,69888	5,85
	5:00 PM	179,5	179,44368	1,45
	6:00 PM	51	51,02058	0,1
	7:00 PM	0,5	0,46488	0
	8:00 PM	0	0	0



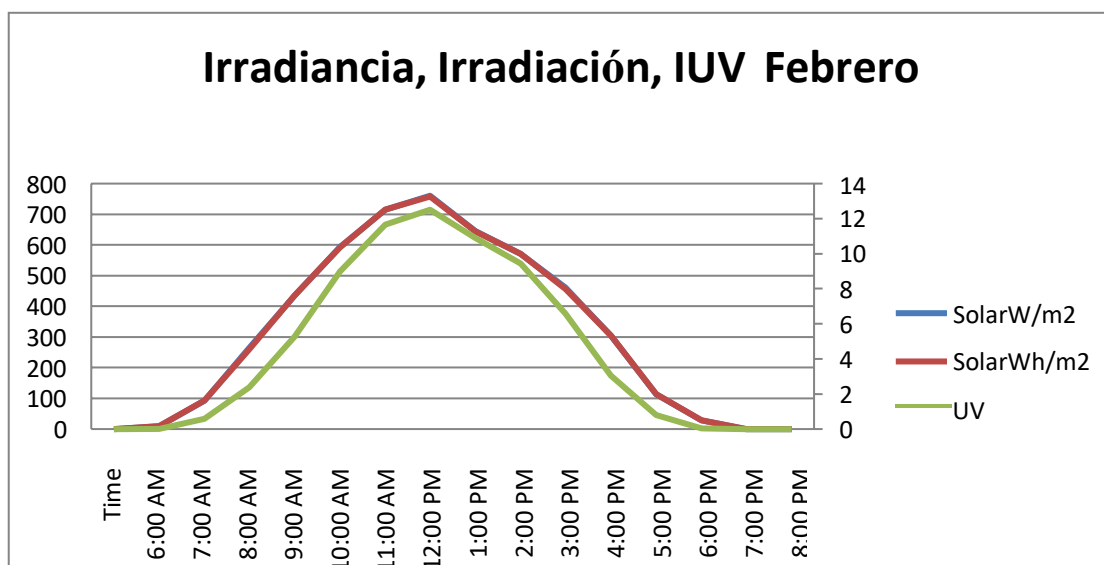
**Figura 36** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 29 de febrero



**Figura 37** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 29 de febrero

**Tabla 25 Valores horarios promedio mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV Febrero 2016**

FEBRERO mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	9,56034483	9,554085517	0,01405172
	7:00 AM	92,4224138	92,40692276	0,57922414
	8:00 AM	265,732759	259,8528248	2,40097414
	9:00 AM	435,853448	435,6887421	5,28189655
	10:00 AM	593,387931	592,188991	8,99224138
	11:00 AM	714,801724	714,5245676	11,6637931
	12:00 PM	760,646552	757,7544	12,512069
	1:00 PM	644,982759	644,7444766	10,8982759
	2:00 PM	571,241379	571,0249283	9,43103448
	3:00 PM	461,16092	457,0091007	6,59626437
	4:00 PM	304,5	304,3881952	3,06465517
	5:00 PM	114,060345	114,5127683	0,79741379
	6:00 PM	28,4655172	28,46187724	0,05172414
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 38 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para febrero 2016.**

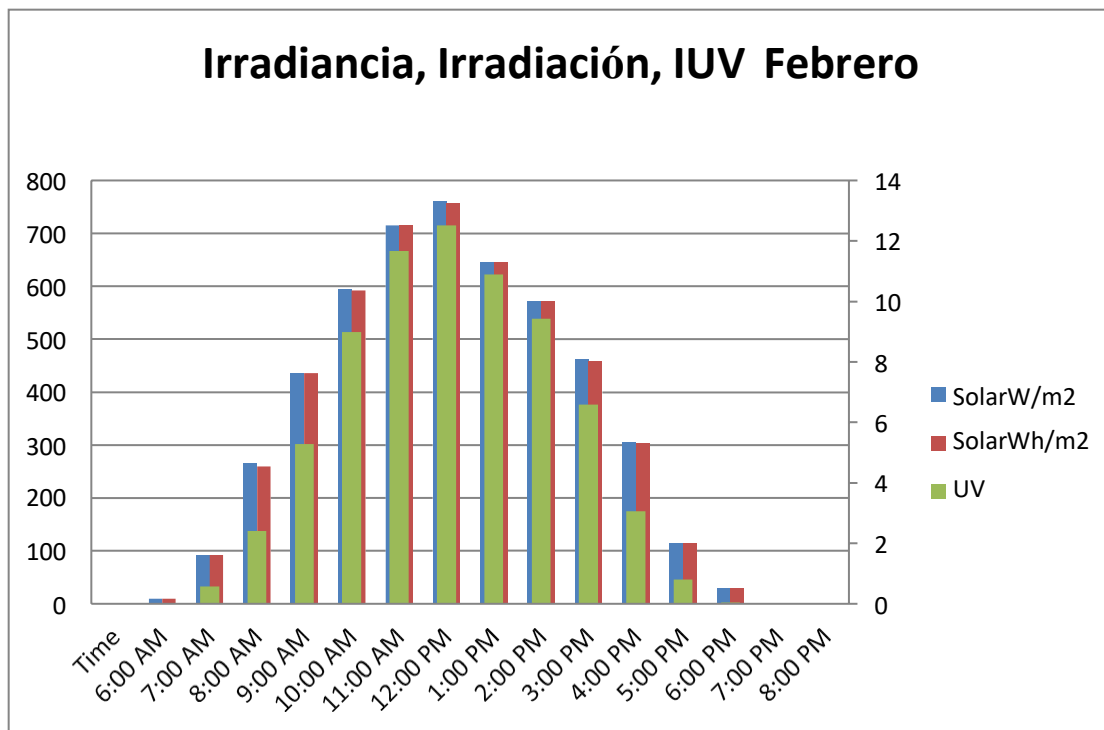


Figura 39 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para febrero 2016. Fuente propia

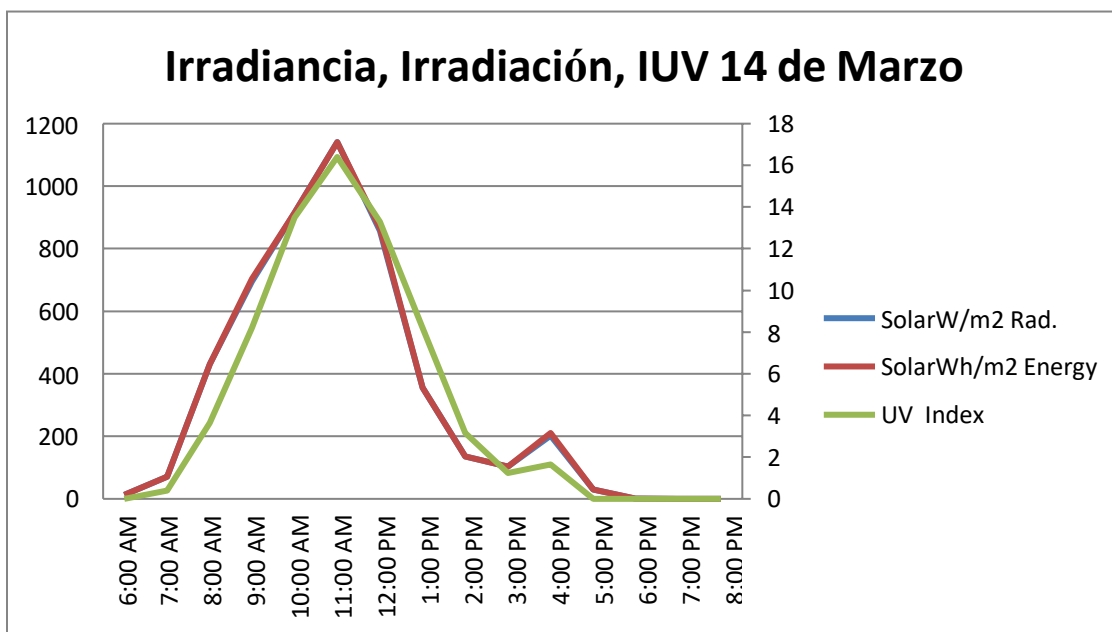
Tabla 26 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 14 de marzo 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
14/03/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	1	0,04	0
	6:30 AM	25	0,99	0
	7:00 AM	67	2,88	0,3
	7:30 AM	74	3,18	0,5
	8:00 AM	329	14,15	2,3
	8:30 AM	532	22,88	5
	9:00 AM	649	27,91	6,8
	9:30 AM	740	32,6	9,6
	10:00 AM	855	36,77	12,3
	10:30 AM	974	41,89	14,7

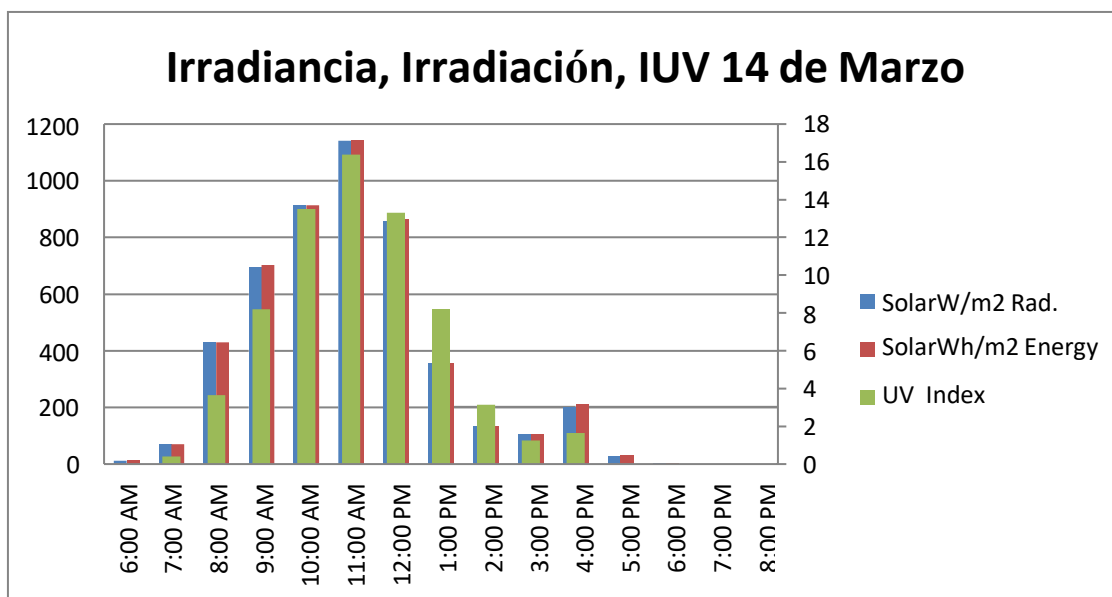
11:00 AM	1117	48,04	17
11:30 AM	1165	50,1	15,8
12:00 PM	894	38,45	13,2
12:30 PM	820	35,95	13,4
1:00 PM	459	19,74	9,7
1:30 PM	252	10,84	6,7
2:00 PM	180	7,74	4,7
2:30 PM	90	3,87	1,6
3:00 PM	60	2,58	0,9
3:30 PM	148	6,36	1,6
4:00 PM	330	15,01	2,3
4:30 PM	73	3,14	1
5:00 PM	42	1,81	0
5:30 PM	17	0,82	0
6:00 PM	2	0,09	0

**Tabla 27 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 14 de marzo 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
14/03/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
Promedio	6:00 AM	13	11,97066	0
	7:00 AM	70,5	70,42932	0,4
	8:00 AM	430,5	430,36266	3,65
	9:00 AM	694,5	703,24722	8,2
	10:00 AM	914,5	914,18652	13,5
	11:00 AM	1141	1140,58308	16,4
	12:00 PM	857	864,6768	13,3
	1:00 PM	355,5	355,40076	8,2
	2:00 PM	135	134,93142	3,15
	3:00 PM	104	103,90068	1,25
	4:00 PM	201,5	210,9393	1,65
	5:00 PM	29,5	30,56586	0
	6:00 PM	1	1,04598	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 40** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 14 de marzo 2016.

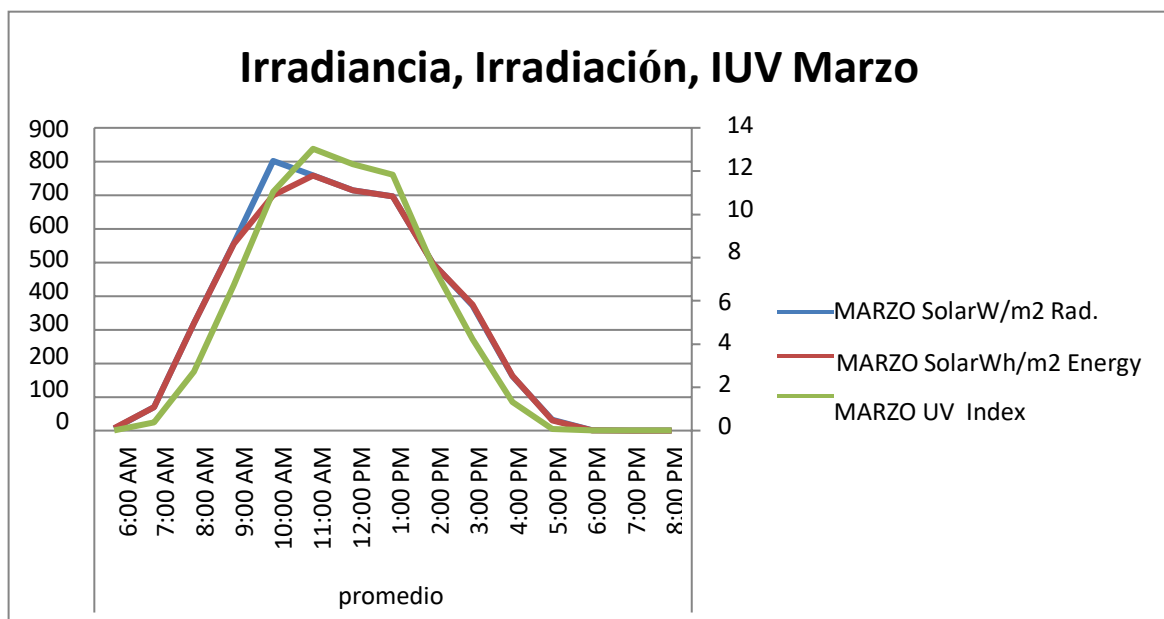


**Figura 41** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 14 de marzo 2016.

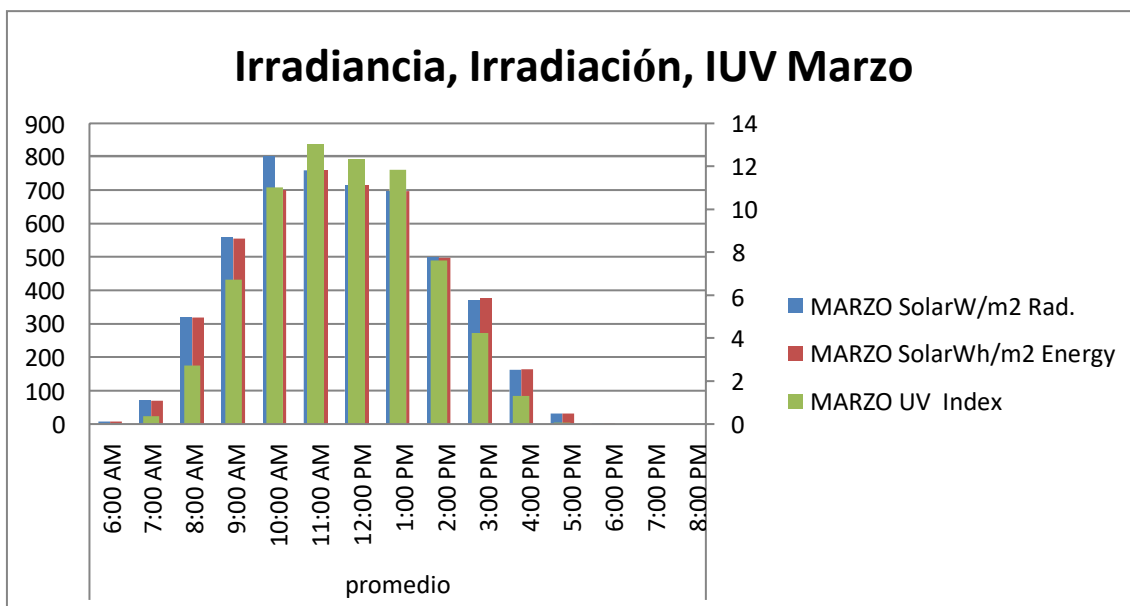
**Tabla 28 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV, marzo 2016.**

MARZO mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	6,51666667	7,426458	0
	7:00 AM	70,45	69,807543	0,36333333
	8:00 AM	318,8	318,524154	2,73
	9:00 AM	557,55	555,446372	6,715
	10:00 AM	801,666667	700,078288	11,0266667
	11:00 AM	758,766667	758,072068	13,0266667
	12:00 PM	714,733333	714,92733	12,3133333
	1:00 PM	696,883333	696,212036	11,835
	2:00 PM	498,05	498,091802	7,61833333
	3:00 PM	371,533333	374,143172	4,23166667
	4:00 PM	161,45	163,19225	1,31
	5:00 PM	31,4	30,724694	0,05666667
	6:00 PM	0,85	0,964626	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0





**Figura 42** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para marzo 2016.



**Figura 43** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para marzo 2016. Fuente

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

**Tabla 29 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 12 de abril 2016.Fuente propia.**

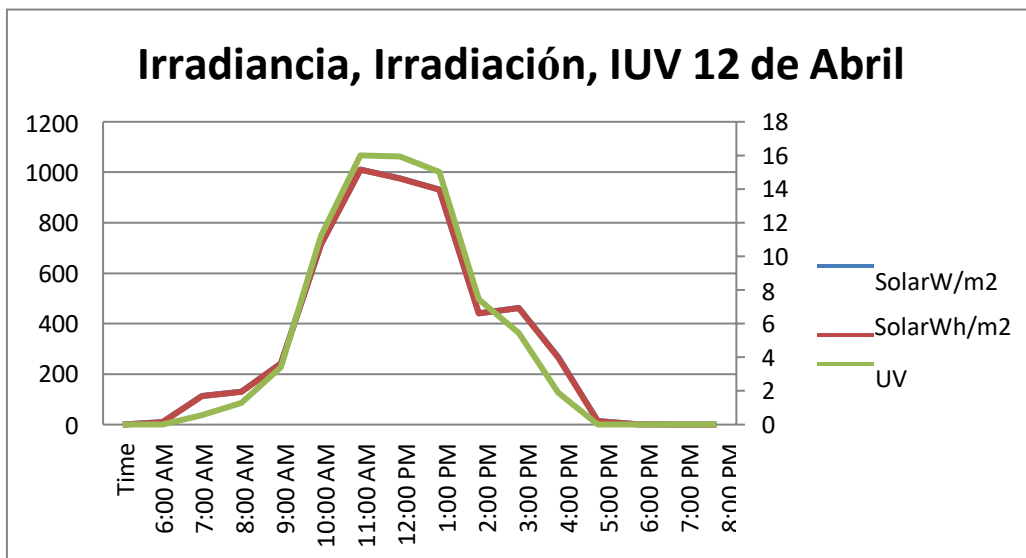
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
12/04/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	1	0,04	0
	6:30 AM	23	0,99	0
	7:00 AM	67	2,88	0,3
	7:30 AM	74	3,18	0,5
	8:00 AM	329	14,15	2,3
	8:30 AM	532	22,88	4,4
	9:00 AM	649	27,91	6,8
	9:30 AM	758	32,6	9,6
	10:00 AM	855	36,77	12,3
	10:30 AM	974	41,89	14,7
	11:00 AM	1117	48,04	16
	11:30 AM	1165	50,1	15,8
	12:00 PM	894	38,45	13,2
	12:30 PM	836	35,95	13,4
	1:00 PM	459	19,74	9,7
	1:30 PM	252	10,84	6,7
	2:00 PM	180	7,74	4,7
	2:30 PM	90	3,87	1,6
	3:00 PM	60	2,58	0,9
	3:30 PM	148	6,36	1,6
	4:00 PM	349	15,01	2,3
	4:30 PM	73	3,14	1,2
	5:00 PM	42	1,81	0
	5:30 PM	19	0,82	0
	6:00 PM	2	0,09	0
	6:30 PM	0	0	0

**Tabla 30 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 12 de abril 2016.**

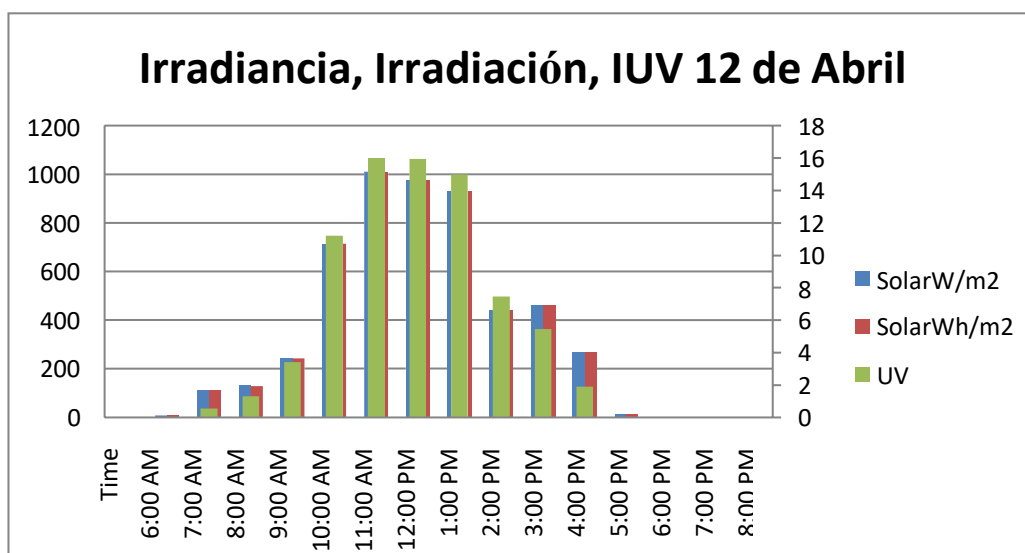
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
12/04/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
Promedio	6:00 AM	8,5	0,73	0
	7:00 AM	112,5	9,68	0,55
	8:00 AM	129,5	11,13	1,3
	9:00 AM	242,5	20,86	3,4
	10:00 AM	713,5	61,37	11,2
	11:00 AM	1010,5	86,92	16
	12:00 PM	975	83,86	15,95
	1:00 PM	931	80,08	15
	2:00 PM	440,5	37,89	7,45
	3:00 PM	462,5	39,78	5,45
	4:00 PM	266,5	22,92	1,9
	5:00 PM	14,5	1,25	0
	6:00 PM	0,5	0,04	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 31 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 12 de abril 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
12/04/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
Promedio	6:00 AM	8,5	8,48406	0
	7:00 AM	112,5	112,50096	0,55
	8:00 AM	129,5	129,35286	1,3
	9:00 AM	242,5	242,43492	3,4
	10:00 AM	713,5	713,24214	11,2
	11:00 AM	1010,5	1010,18424	16
	12:00 PM	975	974,62092	15,95
	1:00 PM	931	930,68976	15
	2:00 PM	440,5	440,35758	7,45
	3:00 PM	462,5	462,32316	5,45
	4:00 PM	266,5	266,37624	1,9
	5:00 PM	14,5	14,5275	0
	6:00 PM	0,5	0,46488	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



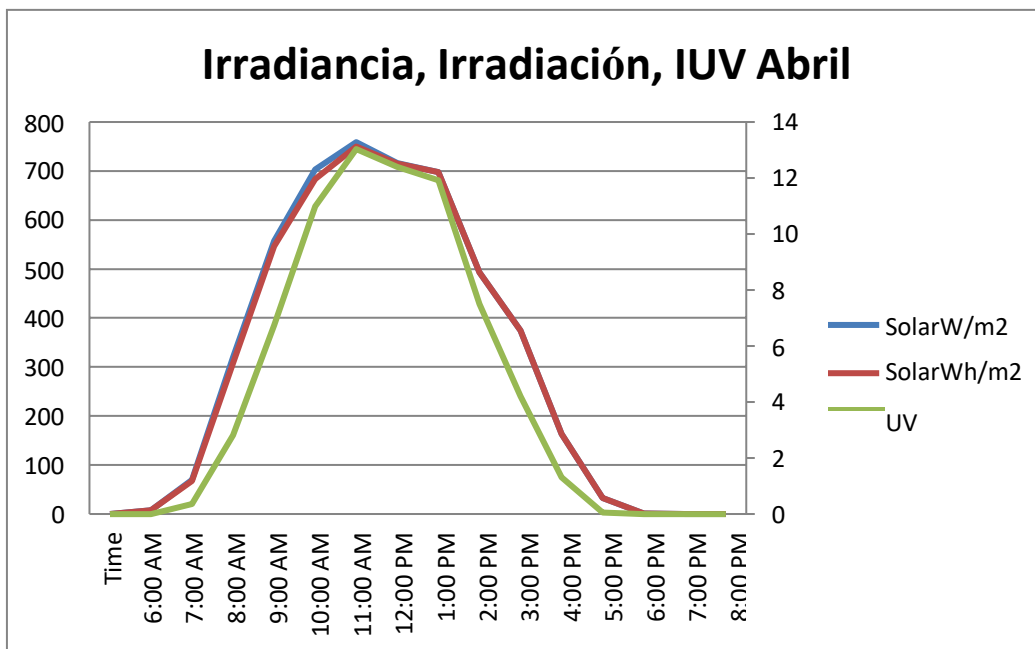
**Figura 44** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 12 de abril



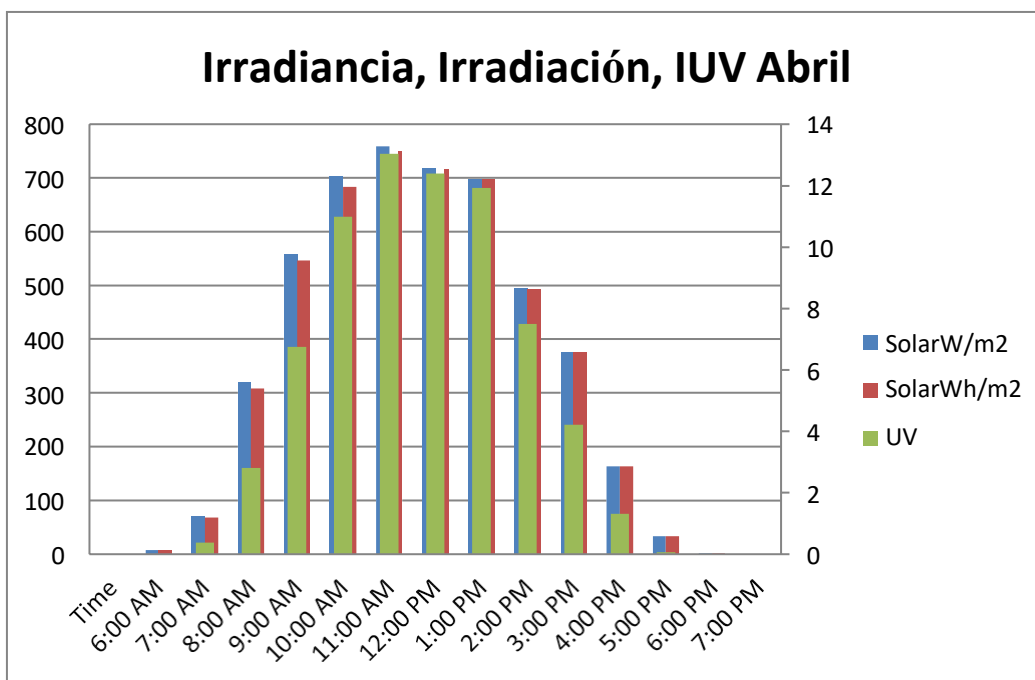
**Figura 45** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 12 de Abril 2016.

**Tabla 32 Valores horarios mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV abril 2016.**

ABRIL mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	7,63333333	7,627906	0
	7:00 AM	69,6166667	67,605174	0,37
	8:00 AM	320,333333	308,017866	2,81166667
	9:00 AM	557,716667	546,532298	6,74
	10:00 AM	702,616667	683,106294	10,9866667
	11:00 AM	758,9	749,959912	13,0366667
	12:00 PM	716,516667	715,074542	12,3966667
	1:00 PM	697,366667	697,095308	11,9183333
	2:00 PM	493,375	493,1961729	7,50178571
	3:00 PM	374,466667	374,332998	4,205
	4:00 PM	163,283333	163,223242	1,32
	5:00 PM	33,1666667	33,16144	0,05833333
	6:00 PM	1,03333333	1,018862	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 46** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para abril 2016.



**Figura 47** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para abril 2016.

**Tabla 33 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 05 de mayo 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
05/05/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	0	0	0
	6:30 AM	8	0,34	0
	7:00 AM	15	0,65	0
	7:30 AM	21	0,9	0
	8:00 AM	304	13,07	1,8
	8:30 AM	499	21,46	3,8
	9:00 AM	597	25,67	5,6
	9:30 AM	685	29,46	7,7
	10:00 AM	762	32,77	10
	10:30 AM	816	35,09	11,8
	11:00 AM	857	36,86	13,6
	11:30 AM	882	37,93	14,7
	12:00 PM	887	38,15	15,2
	12:30 PM	881	37,89	15,5
	1:00 PM	867	37,29	14,1
	1:30 PM	830	35,69	12,4
	2:00 PM	694	29,85	9,8
	2:30 PM	701	30,15	8,1
	3:00 PM	599	25,76	5,9
	3:30 PM	499	21,46	3,9
	4:00 PM	360	15,48	2,3
	4:30 PM	39	1,68	0,1
	5:00 PM	18	0,77	0
	5:30 PM	9	0,39	0
	6:00 PM	0	0	0
	6:30 PM	0	0	0

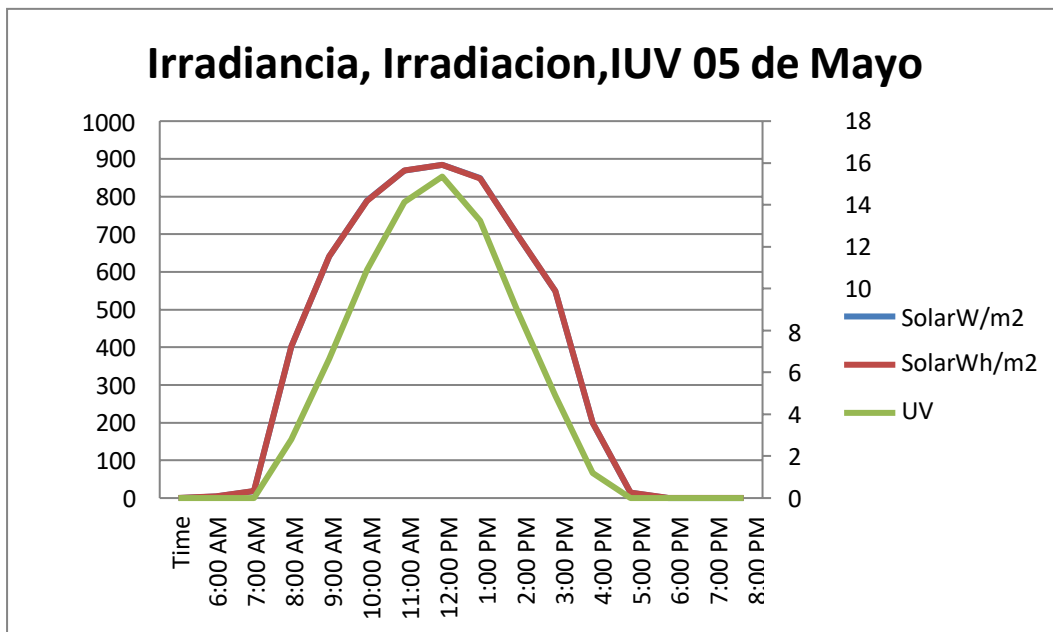
**Tabla 34 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 05 de mayo 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
05/05/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
PROMEDIO	6:00 AM	4	0,34	0
	7:00 AM	18	1,55	0
	8:00 AM	401,5	34,53	2,8
	9:00 AM	641	55,13	6,65
	10:00 AM	789	67,86	10,9
	11:00 AM	869,5	74,79	14,15
	12:00 PM	884	76,04	15,35
	1:00 PM	848,5	72,98	13,25
	2:00 PM	697,5	60	8,95
	3:00 PM	549	47,22	4,9
	4:00 PM	199,5	17,16	1,2
	5:00 PM	13,5	1,16	0
	6:00 PM	0	0	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

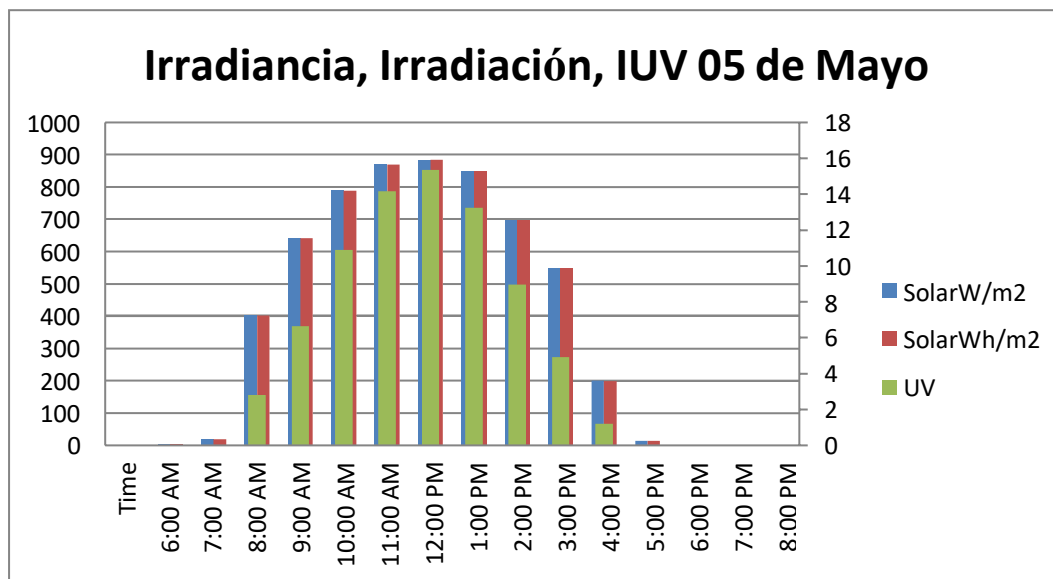
**Tabla 35 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 05 de mayo 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
05/05/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
PROMEDIO	6:00 AM	4	3,95148	0
	7:00 AM	18	18,0141	0
	8:00 AM	401,5	401,30766	2,8
	9:00 AM	641	640,72086	6,65
	10:00 AM	789	788,66892	10,9
	11:00 AM	869,5	869,20938	14,15
	12:00 PM	884	883,73688	15,35
	1:00 PM	848,5	848,17356	13,25
	2:00 PM	697,5	697,32	8,95
	3:00 PM	549	548,79084	4,9
	4:00 PM	199,5	199,43352	1,2
	5:00 PM	13,5	13,48152	0
	6:00 PM	0	0	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0





**Figura 48** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 5 de mayo



**Figura 49** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 5 de mayo 2016.

Tabla 36 Valores horarios mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV Mayo 2016.

MAYO mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	5,33870968	5,327374839	0
	7:00 AM	36,1612903	36,1556671	0,1016129
	8:00 AM	278,83871	278,7330503	2,02741935
	9:00 AM	538,516129	538,3085458	5,45
	10:00 AM	691,919355	691,6514632	9,1483871
	11:00 AM	782,387097	782,0968665	12,0274194
	12:00 PM	793,112903	792,8078516	12,5209677
	1:00 PM	684,032258	683,7672484	10,283871
	2:00 PM	572,564516	572,3535077	7,04354839
	3:00 PM	405,209677	405,0604413	3,73870968
	4:00 PM	171,790323	171,7244226	1,05645161
	5:00 PM	16,1612903	16,16957613	0,00322581
	6:00 PM	0	0	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

### Irradiancia, Irradiación, IUV Mayo

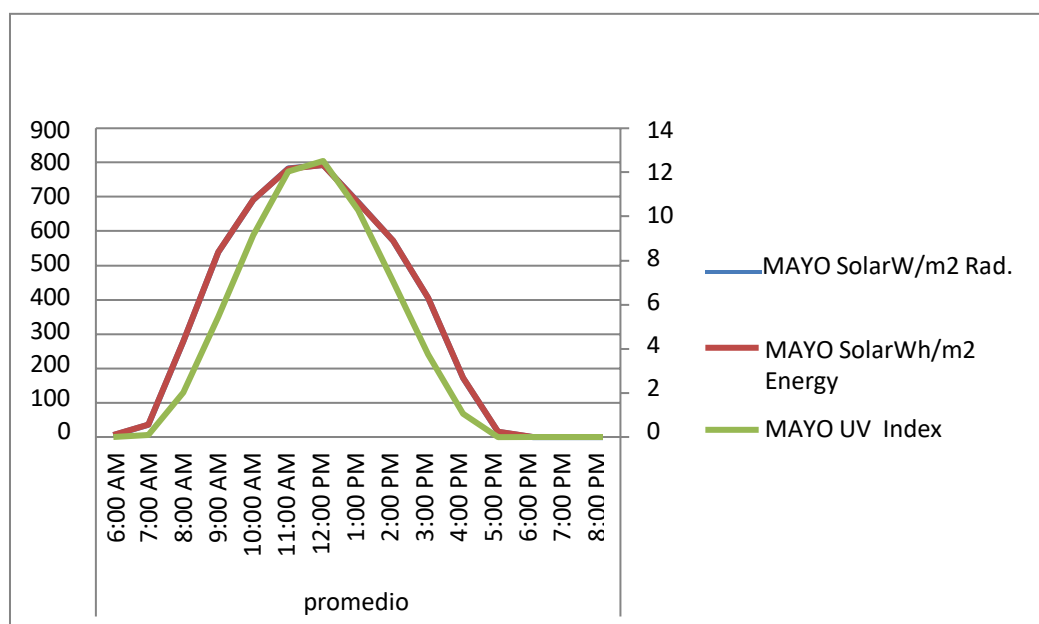
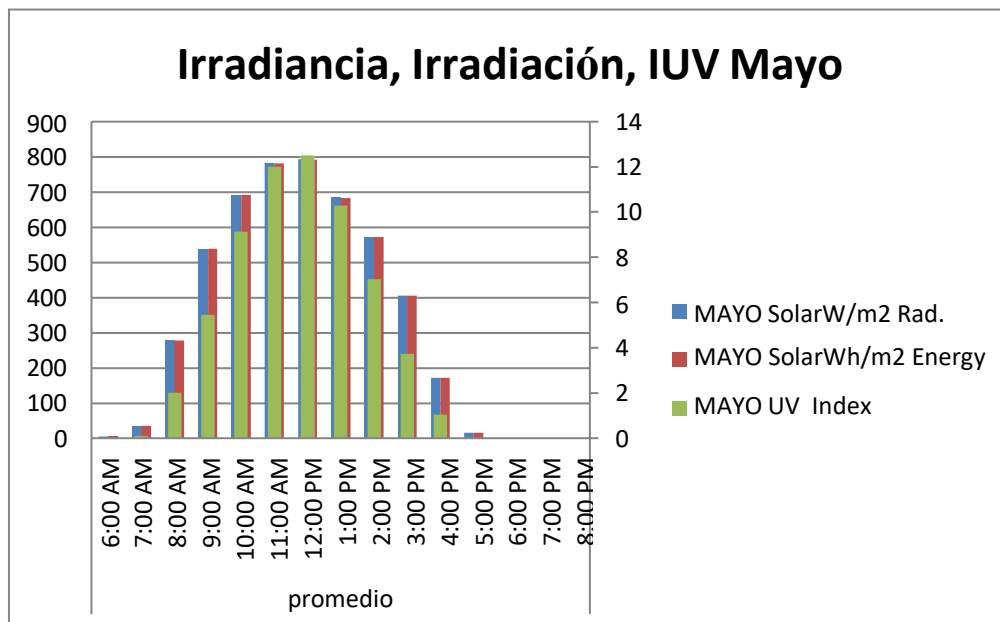


Figura 50 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para mayo 2016

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 51** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para mayo 2016.

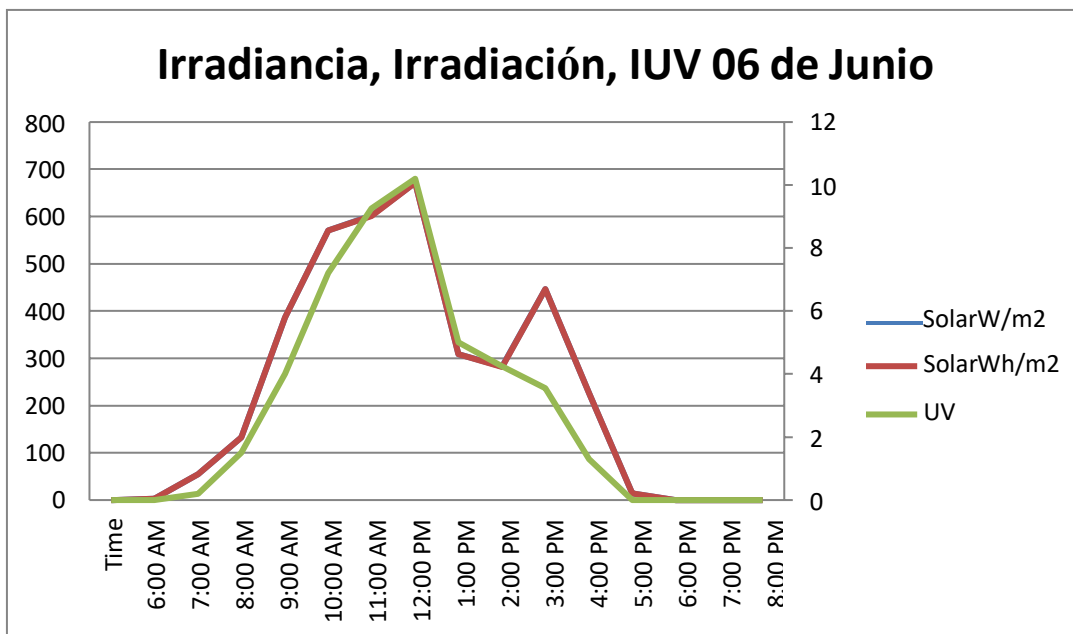
**Tabla 37** Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 06 de junio 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
06/06/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	0	0	0
	6:30 AM	7	0,3	0
	7:00 AM	40	1,72	0
	7:30 AM	70	3,01	0,4
	8:00 AM	78	3,35	1,1
	8:30 AM	188	8,09	1,9
	9:00 AM	306	13,16	3
	9:30 AM	467	20,08	5
	10:00 AM	668	28,73	7,2
	10:30 AM	473	20,34	7,2
	11:00 AM	739	31,78	9,9
	11:30 AM	465	20	8,6
	12:00 PM	961	41,33	12,9
	12:30 PM	383	16,47	7,5
	1:00 PM	239	10,28	4,4

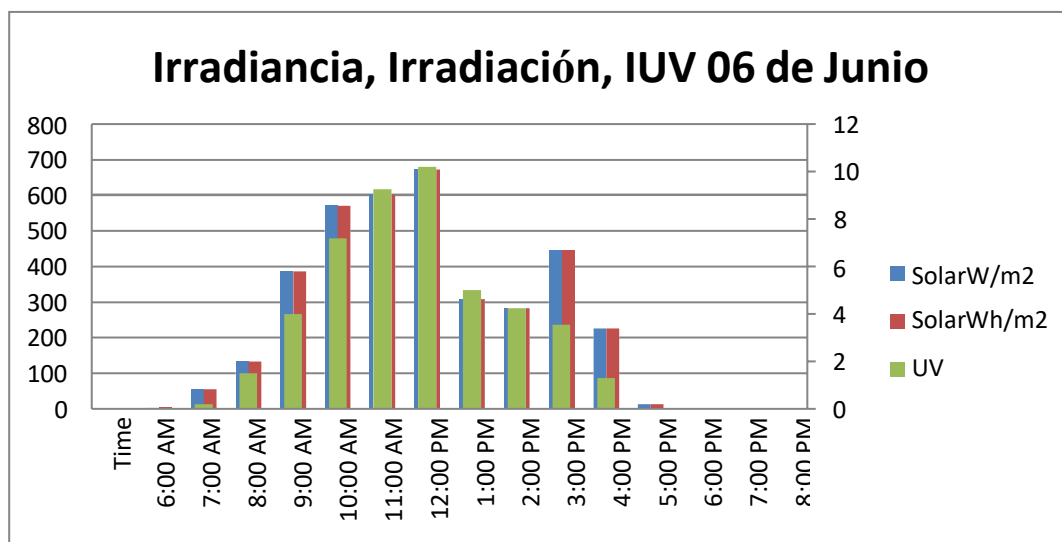
	1:30 PM	378	16,26	5,6
	2:00 PM	303	13,03	4,8
	2:30 PM	262	11,27	3,7
	3:00 PM	394	16,94	3,9
	3:30 PM	500	21,5	3,2
	4:00 PM	363	15,61	1,9
	4:30 PM	90	3,87	0,7
	5:00 PM	21	0,9	0
	5:30 PM	7	0,3	0
	6:00 PM	0	0	0
	6:30 PM	0	0	0

**Tabla 38 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 06 de junio 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
06/06/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	3,5	0,3	0
	7:00 AM	55	4,73	0,2
	8:00 AM	133	11,44	1,5
	9:00 AM	386,5	33,24	4
	10:00 AM	570,5	49,07	7,2
	11:00 AM	602	51,78	9,25
	12:00 PM	672	57,8	10,2
	1:00 PM	308,5	26,54	5
	2:00 PM	282,5	24,3	4,25
	3:00 PM	447	38,44	3,55
	4:00 PM	226,5	19,48	1,3
	5:00 PM	14	1,2	0
	6:00 PM	0	0	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



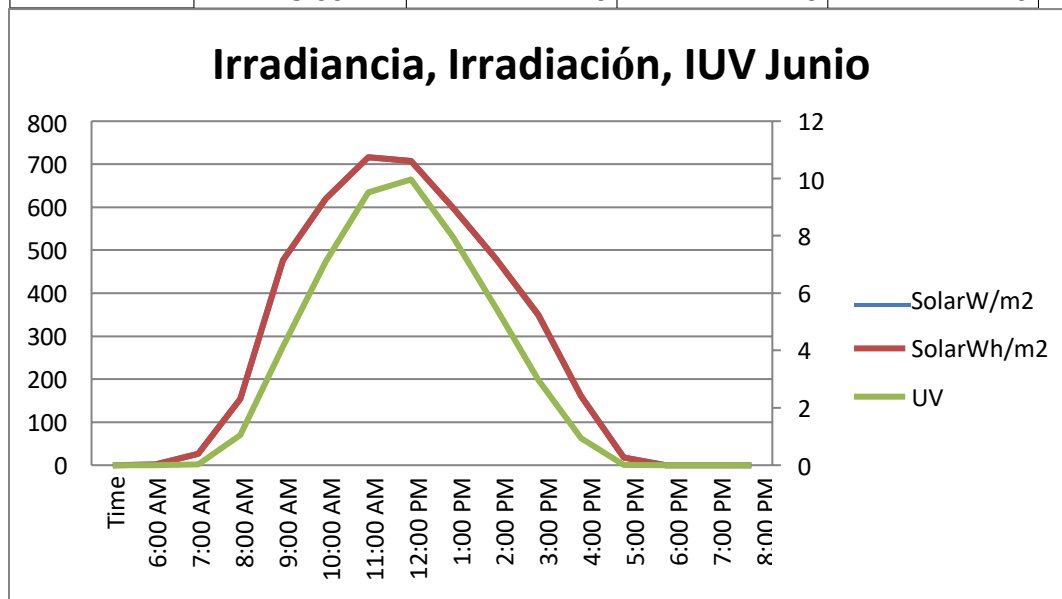
**Figura 52** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 6 de junio



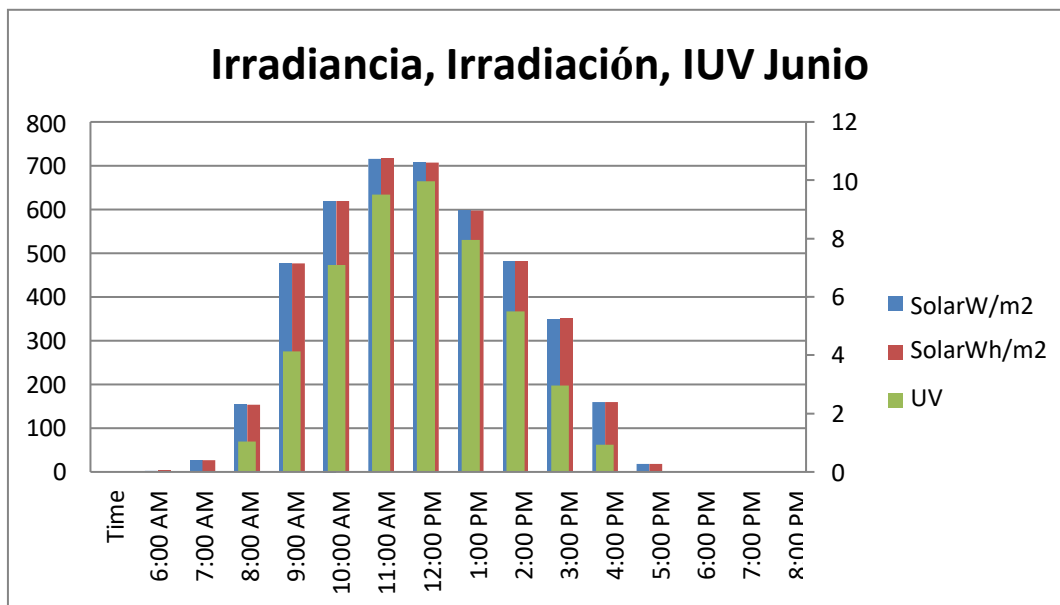
**Figura 53** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 6 de junio

**Tabla 39 Valores horarios mensuales de Irradiancia, Irradiación e IUV junio 2016.**

JUNIO mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	2,31666667	2,328274	0
	7:00 AM	26,8166667	26,80808	0,02666667
	8:00 AM	154,383333	154,328538	1,05333333
	9:00 AM	477,2	477,00562	4,14333333
	10:00 AM	619,683333	619,4526	7,105
	11:00 AM	716,366667	716,085656	9,51333333
	12:00 PM	707,733333	707,33429	9,96833333
	1:00 PM	598,25	598,041002	7,95333333
	2:00 PM	481,05	481,042328	5,50166667
	3:00 PM	348,05	350,69385	2,95833333
	4:00 PM	160,2	160,127916	0,93166667
	5:00 PM	18,4666667	18,463484	0,00666667
	6:00 PM	0	0	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Figura 54 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para junio 2016**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 55 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para junio 2016.**

**Tabla 40 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 10 de julio 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
10/07/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	0	0	0
	6:30 AM	3	0,13	0
	7:00 AM	11	0,47	0
	7:30 AM	16	0,69	0
	8:00 AM	20	0,86	0
	8:30 AM	299	12,86	1,8
	9:00 AM	502	21,59	3,7
	9:30 AM	587	25,24	5,3
	10:00 AM	660	28,38	7
	10:30 AM	722	31,05	8,7
	11:00 AM	770	33,11	10,1
	11:30 AM	803	34,53	11,6
	12:00 PM	814	35,01	12
	12:30 PM	810	34,83	11,8
	1:00 PM	790	33,97	11,1
	1:30 PM	753	32,38	9,4

	2:00 PM	369	15,87	5,5
	2:30 PM	632	27,18	6,3
	3:00 PM	546	23,48	4,6
	3:30 PM	416	17,89	2,8
	4:00 PM	330	14,19	1,9
	4:30 PM	128	5,5	0,6
	5:00 PM	16	0,69	0
	5:30 PM	10	0,43	0
	6:00 PM	0	0	0
	6:30 PM	0	0	0

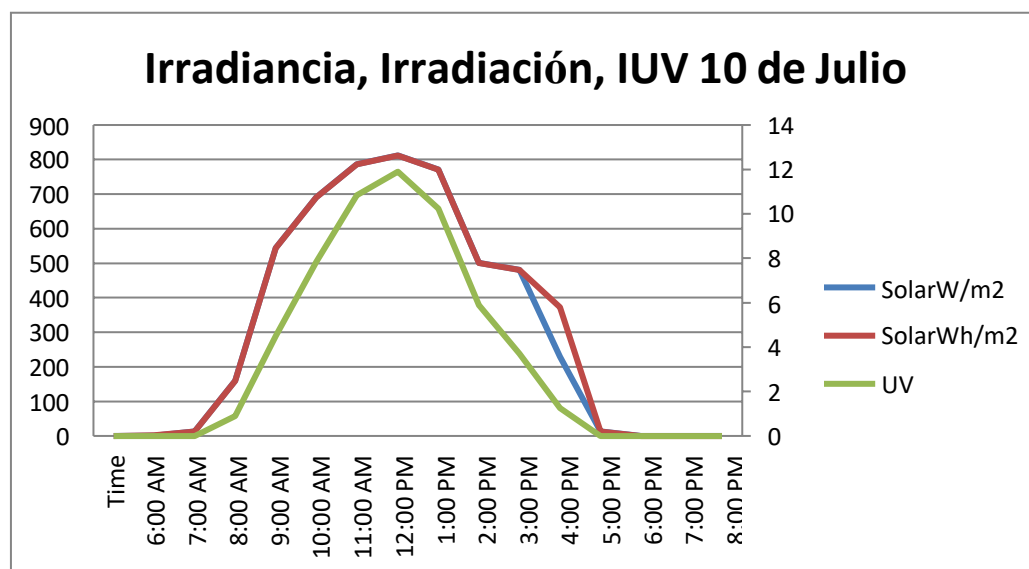
**Tabla 41 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 10 de julio 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
10/07/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	1,5	0,13	0
	7:00 AM	13,5	1,16	0
	8:00 AM	159,5	13,72	0,9
	9:00 AM	544,5	46,83	4,5
	10:00 AM	691	59,43	7,85
	11:00 AM	786,5	67,64	10,85
	12:00 PM	812	69,84	11,9
	1:00 PM	771,5	66,35	10,25
	2:00 PM	500,5	43,05	5,9
	3:00 PM	481	41,37	3,7
	4:00 PM	229	32,08	1,25
	5:00 PM	13	1,12	0
	6:00 PM	0	0	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

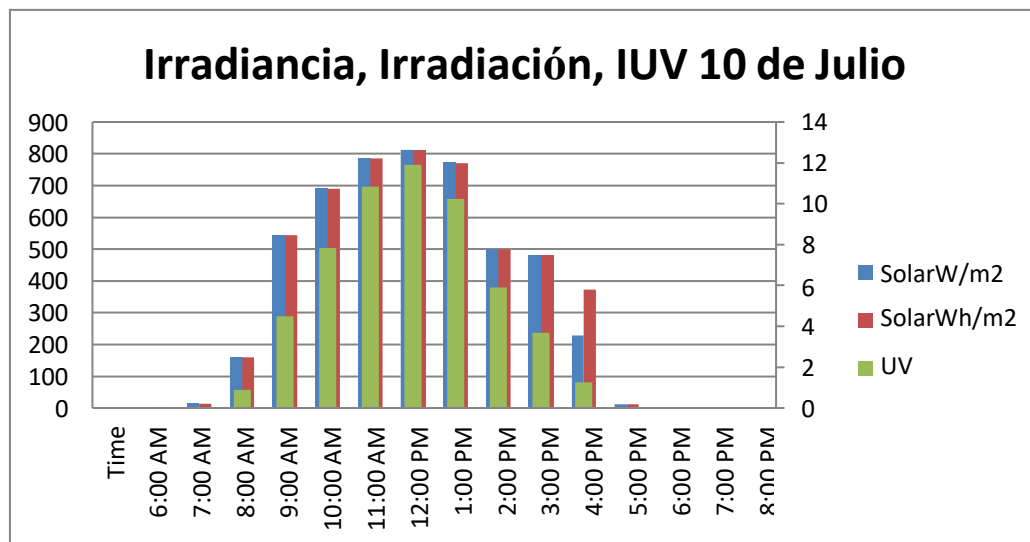


**Tabla 42 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 10 de julio 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
10/07/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
PROMEDIO	6:00 AM	1,5	1,51086	0
	7:00 AM	13,5	13,48152	0
	8:00 AM	159,5	159,45384	0,9
	9:00 AM	544,5	544,25826	4,5
	10:00 AM	691	690,69546	7,85
	11:00 AM	786,5	786,11208	10,85
	12:00 PM	812	811,68048	11,9
	1:00 PM	771,5	771,1197	10,25
	2:00 PM	500,5	500,3271	5,9
	3:00 PM	481	480,80214	3,7
	4:00 PM	229	372,83376	1,25
	5:00 PM	13	13,01664	0
	6:00 PM	0	0	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Figura 56 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 10 de julio 2016.**

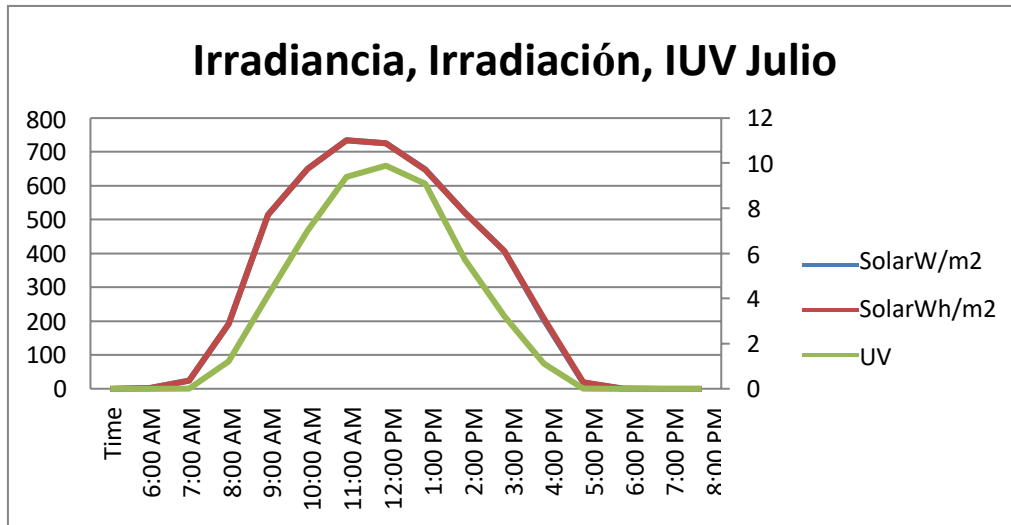
Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



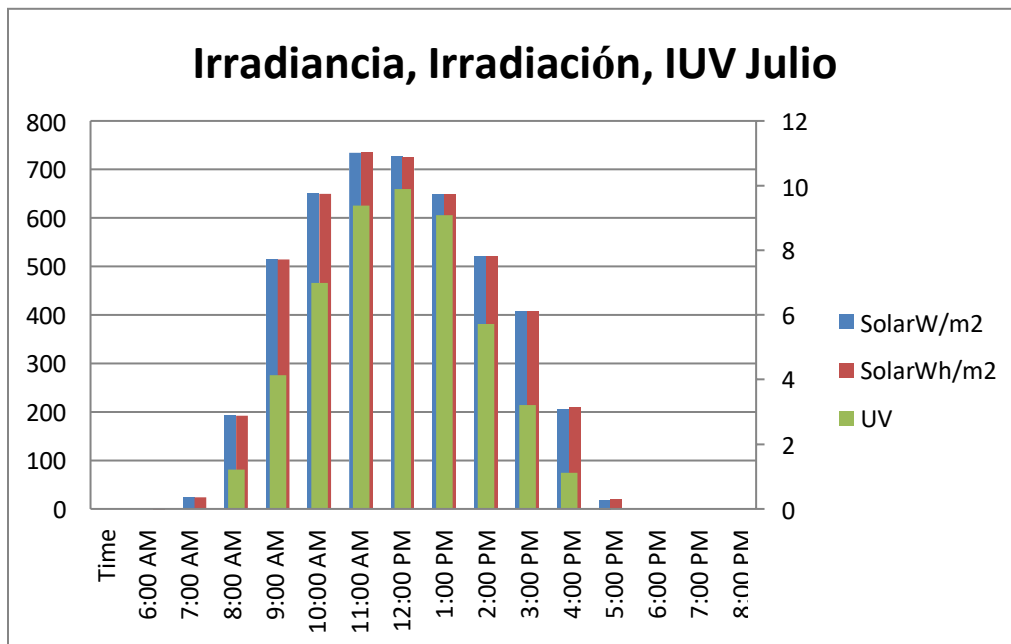
**Figura 57** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 10 de julio 2016.

**Tabla 43** Valores horarios mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV Julio 2016.

JULIO mensual	Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
			W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio		6:00 AM	1,91935484	1,934500645	0
		7:00 AM	23,7096774	24,6498871	0,01774194
		8:00 AM	192,016129	191,9579497	1,21612903
		9:00 AM	514,822581	514,6296581	4,14677419
		10:00 AM	649,564516	649,3361361	7
		11:00 AM	734,741935	734,4579135	9,38870968
		12:00 PM	726,225806	725,9476103	9,89193548
		1:00 PM	647,844828	647,6018855	9,08344828
		2:00 PM	520,564516	520,3619284	5,72580645
		3:00 PM	407,967742	407,81598	3,22096774
		4:00 PM	204,677419	209,2409884	1,12096774
		5:00 PM	18,3709677	20,28226452	0,00483871
		6:00 PM	0,19354839	0,187451613	0
		7:00 PM	0	0	0
		8:00 PM	0	0	0



**Figura 58** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para julio 2016. Fuente



**Figura 59** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para julio 2016. Fuente

**Tabla 44 Valores horarios de Irradiancia, Irradiación e IUV 25 de agosto 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
25/08/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	0	0	0
	6:30 AM	9	0,39	0
	7:00 AM	17	0,73	0
	7:30 AM	34	1,46	0,1
	8:00 AM	312	13,42	1,8
	8:30 AM	509	21,89	3,5
	9:00 AM	613	26,36	5,2
	9:30 AM	699	30,06	7,1
	10:00 AM	777	33,42	8,9
	10:30 AM	847	36,43	10,8
	11:00 AM	892	38,36	12,1
	11:30 AM	922	39,65	13,5
	12:00 PM	930	40	14,3
	12:30 PM	948	40,77	13,6
	1:00 PM	956	41,11	12,9
	1:30 PM	915	39,35	11,1
	2:00 PM	426	18,32	5,6
	2:30 PM	94	4,04	1,4
	3:00 PM	83	3,57	1
	3:30 PM	67	2,88	0,7
	4:00 PM	50	2,15	0,4
	4:30 PM	64	2,75	0,5
	5:00 PM	50	2,15	0,1
	5:30 PM	21	0,9	0
	6:00 PM	1	0,04	0
	6:30 PM	0	0	0

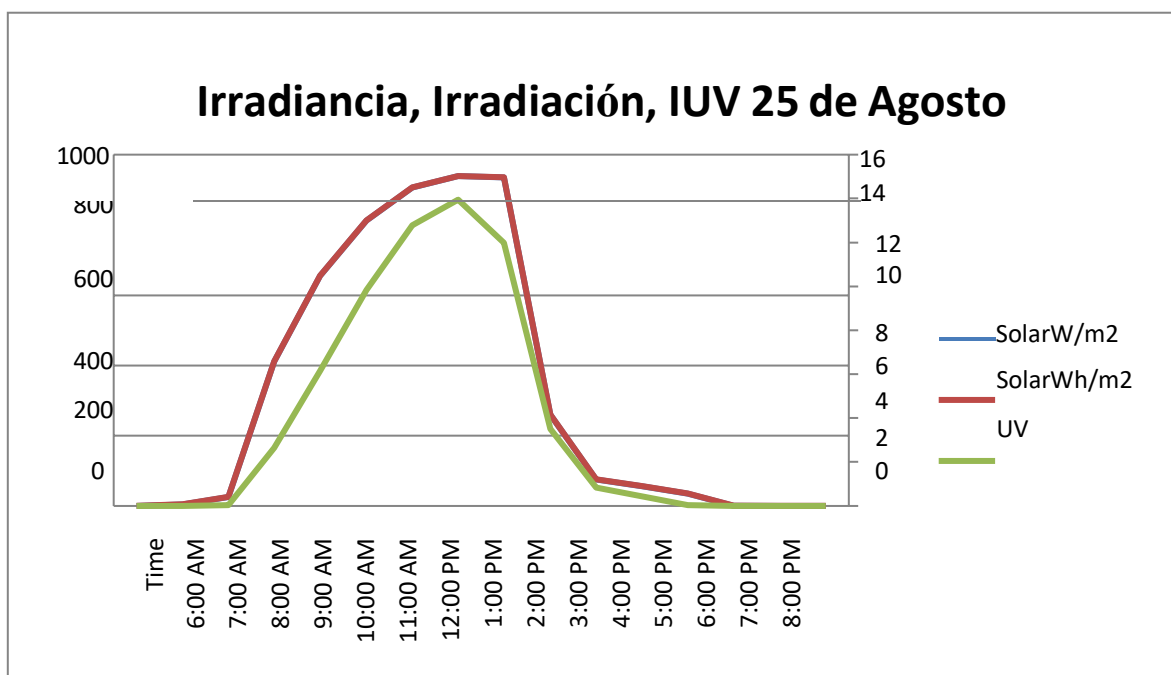
**Tabla 45 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 25 de agosto 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
25/08/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
PROMEDIO	6:00 AM	4,5	0,39	0
	7:00 AM	25,5	2,19	0,05
	8:00 AM	410,5	35,31	2,65
	9:00 AM	656	56,42	6,15
	10:00 AM	812	69,85	9,85
	11:00 AM	907	78,01	12,8
	12:00 PM	939	80,77	13,95
	1:00 PM	935,5	80,46	12
	2:00 PM	260	22,36	3,5
	3:00 PM	75	6,45	0,85
	4:00 PM	57	4,9	0,45
	5:00 PM	35,5	3,05	0,05
	6:00 PM	0,5	0,04	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

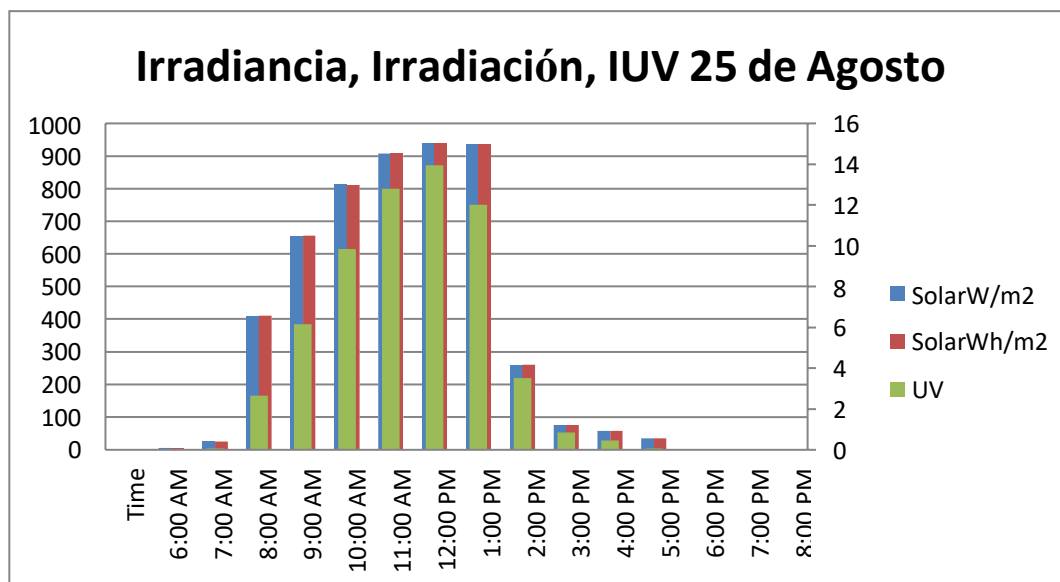
**Tabla 46 Valores horarios promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 25 de agosto 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
25/08/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
PROMEDIO	6:00 AM	4,5	4,53258	0
	7:00 AM	25,5	25,45218	0,05
	8:00 AM	410,5	410,37282	2,65
	9:00 AM	656	655,71324	6,15
	10:00 AM	812	811,7967	9,85
	11:00 AM	907	906,63222	12,8
	12:00 PM	939	938,70894	13,95
	1:00 PM	935,5	935,10612	12
	2:00 PM	260	259,86792	3,5
	3:00 PM	75	74,9619	0,85
	4:00 PM	57	56,9478	0,45
	5:00 PM	35,5	35,4471	0,05
	6:00 PM	0,5	0,46488	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 60** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 25 de agosto 2016.

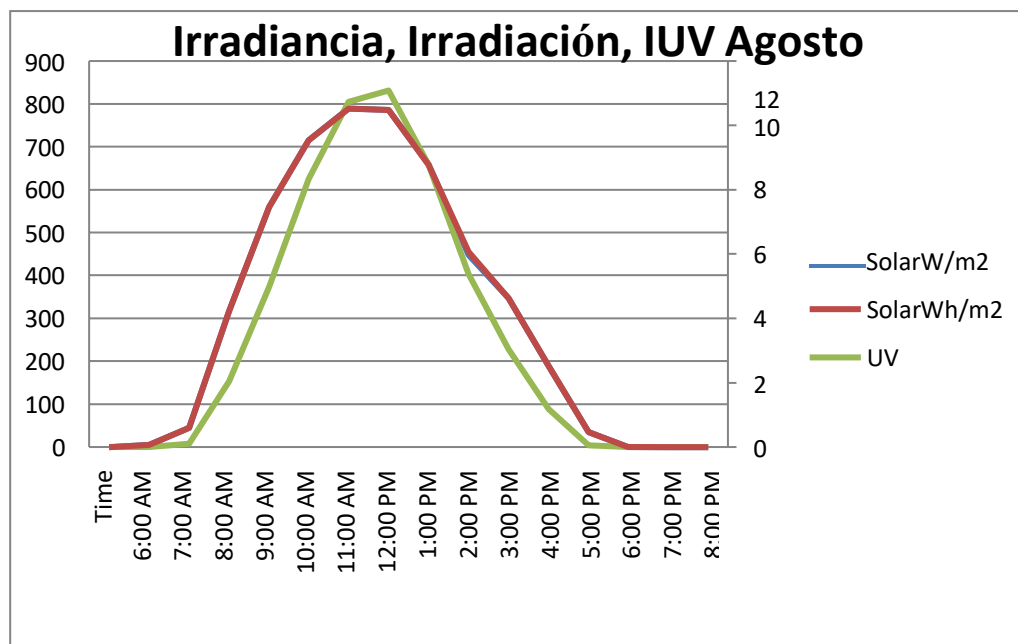


**Figura 61** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 25 de agosto 2016.

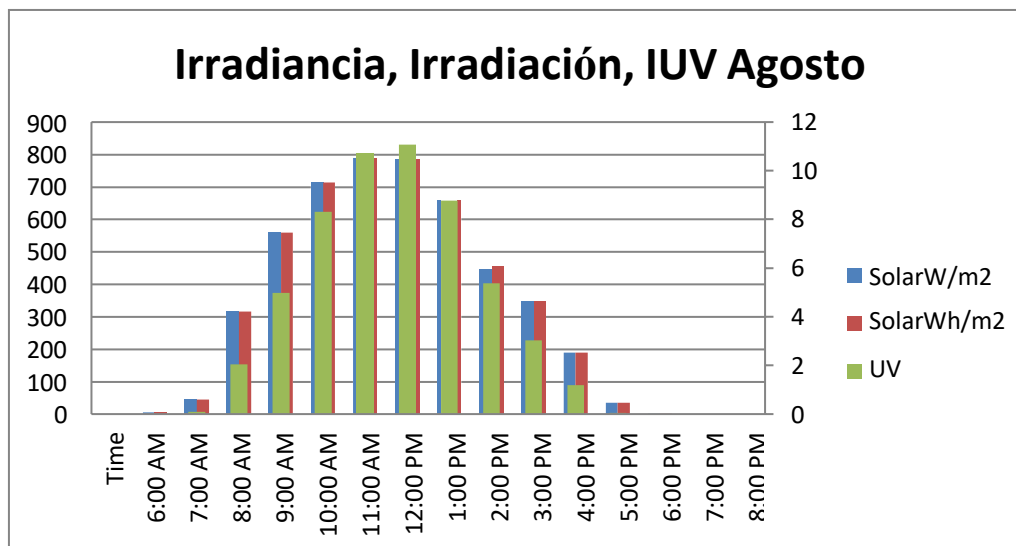
Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

**Tabla 47 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV agosto 2016.**

AGOSTO mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	5,51612903	5,511077419	0
	7:00 AM	45,6129032	45,58448323	0,10645161
	8:00 AM	317,032258	316,9056968	2,04032258
	9:00 AM	559,806452	559,5993	4,97741935
	10:00 AM	715,080645	714,7979884	8,32580645
	11:00 AM	789,532258	789,2200277	10,7290323
	12:00 PM	786,5	786,1983077	11,083871
	1:00 PM	658,806452	658,5550065	8,77580645
	2:00 PM	447,919355	454,7913542	5,37741935
	3:00 PM	346,967742	346,8304723	3,04193548
	4:00 PM	189,629032	189,5660671	1,18548387
	5:00 PM	34,8064516	34,80601548	0,05806452
	6:00 PM	0,82258065	0,821038065	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Figura 62 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para agosto 2016.**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 63** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para agosto 2016.

**Tabla 48** Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 26 de setiembre 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
26/09/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	9	0,39	0
	6:30 AM	33	1,42	0
	7:00 AM	138	5,93	0,5
	7:30 AM	371	15,96	1,8
	8:00 AM	502	21,59	3,2
	8:30 AM	622	26,75	5,2
	9:00 AM	733	31,52	7,3
	9:30 AM	828	35,61	9,7
	10:00 AM	950	40,86	12,1
	10:30 AM	1022	43,95	14,8
	11:00 AM	1102	47,39	15,9
	11:30 AM	1170	50,32	15,9
	12:00 PM	1127	48,47	15,7
	12:30 PM	1078	46,36	15,3
	1:00 PM	933	40,12	13
	1:30 PM	680	29,24	9,6



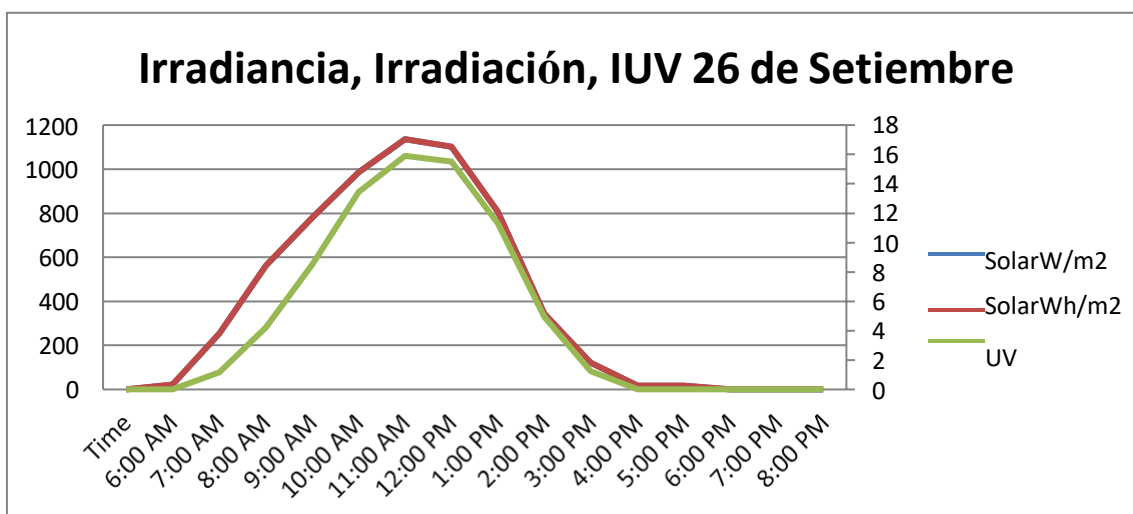
	2:00 PM	455	19,57	6,5
	2:30 PM	231	9,93	3,4
	3:00 PM	173	7,44	2
	3:30 PM	70	3,01	0,5
	4:00 PM	19	0,82	0
	4:30 PM	15	0,65	0
	5:00 PM	14	0,6	0
	5:30 PM	21	0,9	0
	6:00 PM	1	0,04	0
	6:30 PM	0	0	0

**Tabla 49 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 26 de setiembre 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
26/09/2016		W/m <sup>2</sup>	L y	Index
PROMEDIO	6:00 AM	21	1,81	0
	7:00 AM	254,5	21,89	1,15
	8:00 AM	562	48,34	4,2
	9:00 AM	780,5	67,13	8,5
	10:00 AM	986	84,81	13,45
	11:00 AM	1136	97,71	15,9
	12:00 PM	1102,5	94,83	15,5
	1:00 PM	806,5	69,36	11,3
	2:00 PM	343	29,5	4,95
	3:00 PM	121,5	10,45	1,25
	4:00 PM	17	1,47	0
	5:00 PM	17,5	1,5	0
	6:00 PM	0,5	0,04	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 50 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 26 de setiembre 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
26/09/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
PROMEDIO	6:00 AM	21	21,03582	0
	7:00 AM	254,5	254,40558	1,15
	8:00 AM	562	561,80748	4,2
	9:00 AM	780,5	780,18486	8,5
	10:00 AM	986	985,66182	13,45
	11:00 AM	1136	1135,58562	15,9
	12:00 PM	1102,5	1102,11426	15,5
	1:00 PM	806,5	806,10192	11,3
	2:00 PM	343	342,849	4,95
	3:00 PM	121,5	121,4499	1,25
	4:00 PM	17	17,08434	0
	5:00 PM	17,5	17,433	0
	6:00 PM	0,5	0,46488	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Figura 64 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 26 de setiembre 2016.**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

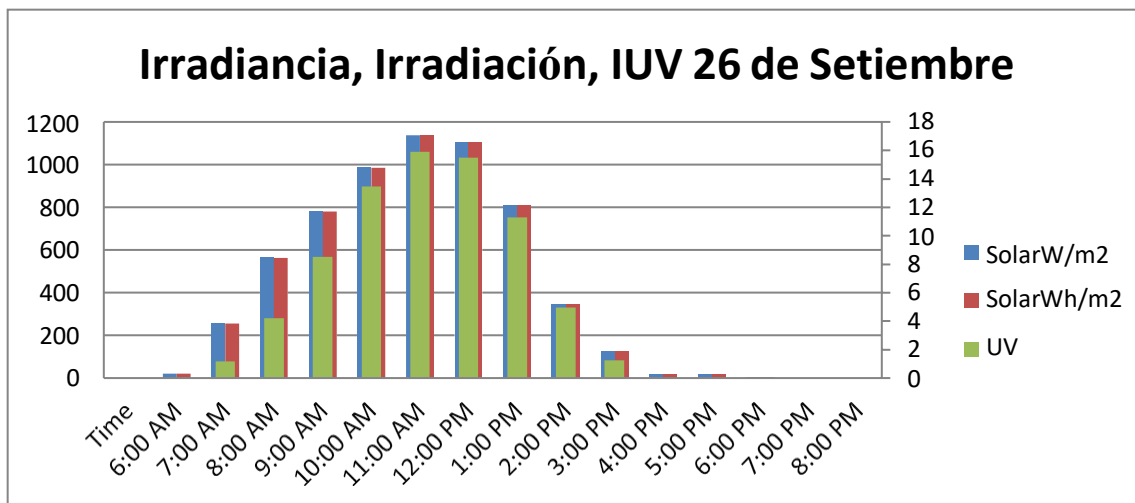
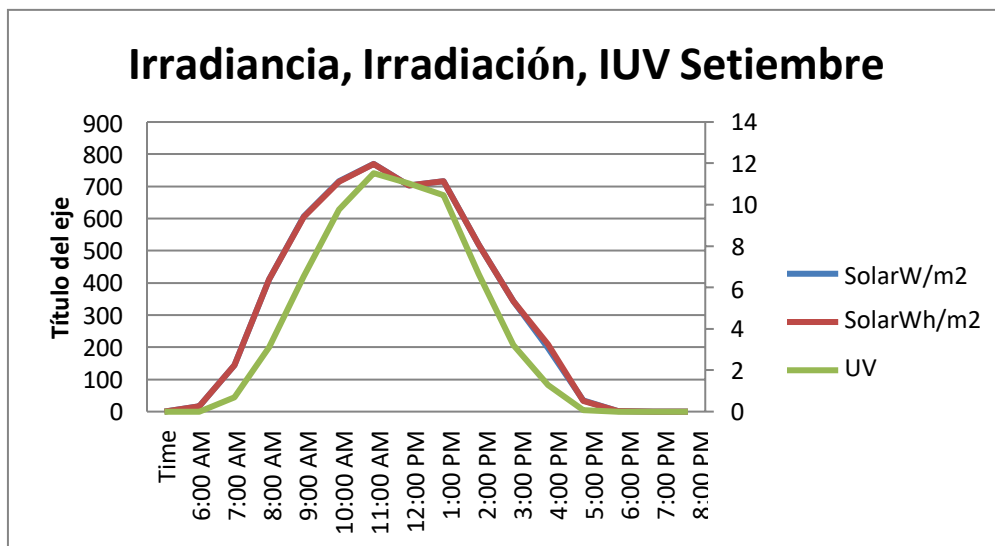


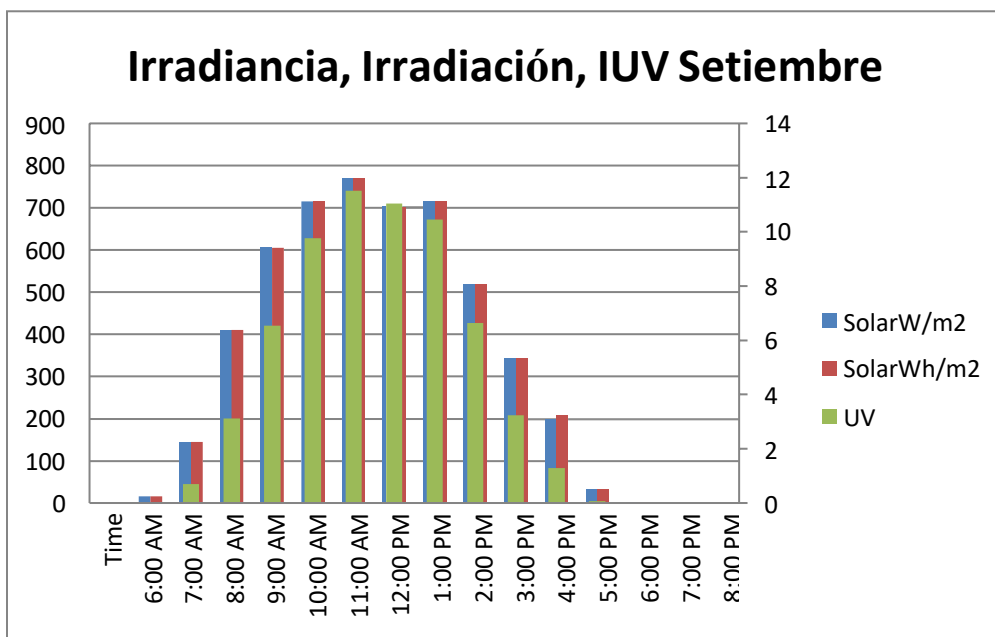
Figura 65 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 26de setiembre

Tabla 51 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV Setiembre 2016.

SETIEMBRE mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	16,1315789	16,14234632	0
	7:00 AM	144,631579	144,5654463	0,70526316
	8:00 AM	410,842105	410,6786621	3,11842105
	9:00 AM	605,789474	605,5673684	6,54736842
	10:00 AM	715,131579	714,8631032	9,77631579
	11:00 AM	769,973684	769,6761253	11,5289474
	12:00 PM	702,210526	701,9504495	11,0421053
	1:00 PM	715,526316	715,2545811	10,4605263
	2:00 PM	519,5	519,3076611	6,64473684
	3:00 PM	343,052632	342,9224021	3,23421053
	4:00 PM	197,868421	208,3885768	1,3
	5:00 PM	34,2631579	32,96977895	0,06578947
	6:00 PM	1,05263158	0,997045263	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 66** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para setiembre



**Figura 67** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para setiembre 2016.

**Tabla 52 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 30 de octubre 2016.**

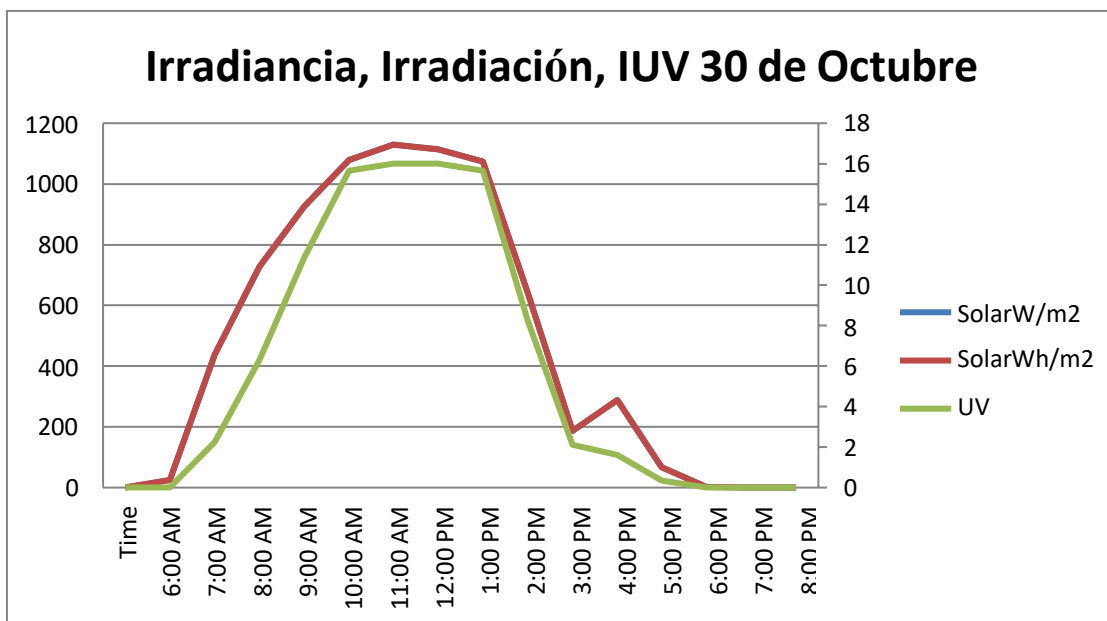
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
30/10/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	17	0,73	0
	6:30 AM	32	1,38	0
	7:00 AM	311	13,37	1,4
	7:30 AM	563	24,21	3,1
	8:00 AM	687	29,54	5,2
	8:30 AM	768	33,03	7,4
	9:00 AM	890	38,27	10
	9:30 AM	963	41,41	12,7
	10:00 AM	1078	46,36	15,3
	10:30 AM	1079	46,4	16
	11:00 AM	1119	48,12	16
	11:30 AM	1140	49,03	16
	12:00 PM	1133	48,73	16
	12:30 PM	1095	47,09	16
	1:00 PM	1081	46,49	16
	1:30 PM	1065	45,8	15,3
	2:00 PM	909	39,09	11,4
	2:30 PM	375	16,13	5,1
	3:00 PM	106	4,56	1,5
	3:30 PM	268	11,53	2,7
	4:00 PM	401	17,25	2,1
	4:30 PM	176	7,57	1,1
	5:00 PM	103	4,43	0,7
	5:30 PM	32	1,38	0
	6:00 PM	2	0,09	0
	6:30 PM	0	0	0

**Tabla 53 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 30 de octubre 2016.**

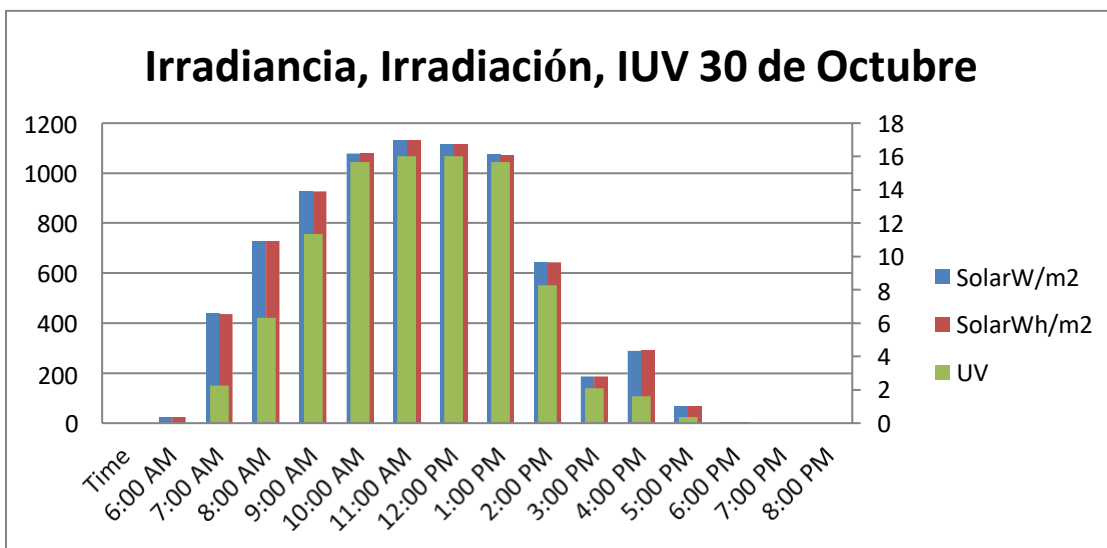
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
30/10/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	24,5	2,11	0
	7:00 AM	437	37,58	2,25
	8:00 AM	727,5	62,57	6,3
	9:00 AM	926,5	79,68	11,35
	10:00 AM	1078,5	92,76	15,65
	11:00 AM	1129,5	97,15	16
	12:00 PM	1114	95,82	16
	1:00 PM	1073	92,29	15,65
	2:00 PM	642	55,22	8,25
	3:00 PM	187	16,09	2,1
	4:00 PM	288,5	24,82	1,6
	5:00 PM	67,5	5,81	0,35
	6:00 PM	1	0,09	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 54 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 30 de octubre 2016**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
30/10/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
	6:00 AM	24,5	24,52242	0
	7:00 AM	437	436,75476	2,25
	8:00 AM	727,5	727,18854	6,3
	9:00 AM	926,5	926,04096	11,35
	10:00 AM	1078,5	1078,05672	15,65
	11:00 AM	1129,5	1129,0773	16
	12:00 PM	1114	1113,62004	16
	1:00 PM	1073	1072,59438	15,65
	2:00 PM	642	641,76684	8,25
	3:00 PM	187	186,99798	2,1
	4:00 PM	288,5	288,45804	1,6
	5:00 PM	67,5	67,52382	0,35
	6:00 PM	1	1,04598	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



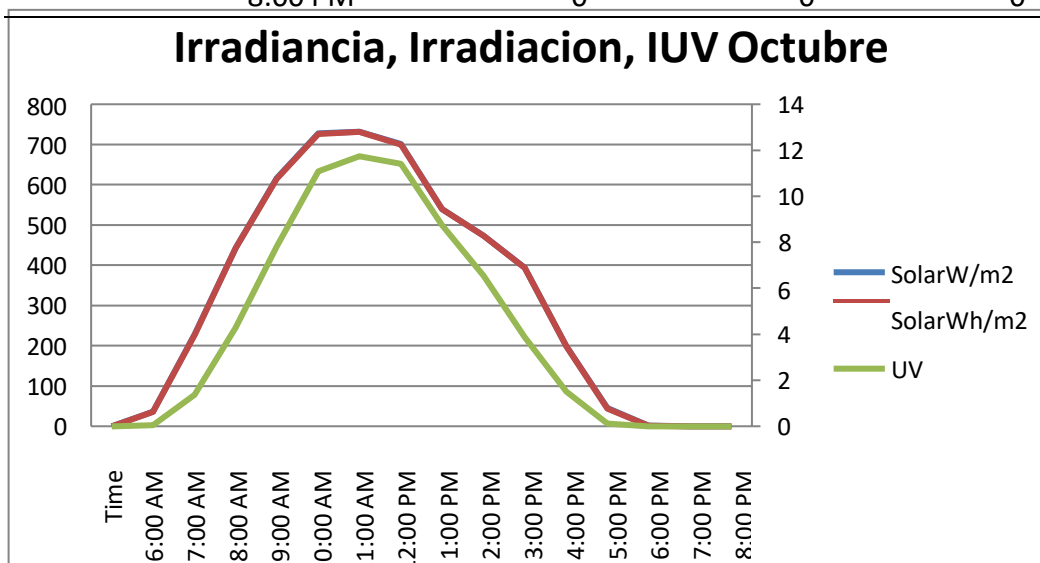
**Figura 68** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 30 de octubre



**Figura 69** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 30 de octubre

**Tabla 55 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV octubre 2016.**

OCTUBRE mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	35,9677419	35,95321935	0,04677419
	7:00 AM	227,516129	227,4275439	1,36935484
	8:00 AM	442,419355	442,2545903	4,29032258
	9:00 AM	615,822581	615,5948458	7,82258065
	10:00 AM	727,096774	726,8098877	11,0790323
	11:00 AM	731,741935	731,4774329	11,7403226
	12:00 PM	700,435484	700,1880097	11,4129032
	1:00 PM	539,951613	539,7594213	8,73548387
	2:00 PM	473,790323	473,7839516	6,5516129
	3:00 PM	394,048387	393,9145684	3,87903226
	4:00 PM	199,645161	199,5722342	1,50806452
	5:00 PM	44,8870968	44,30981226	0,11935484
	6:00 PM	1,74193548	1,762045161	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 70 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para octubre 2016**



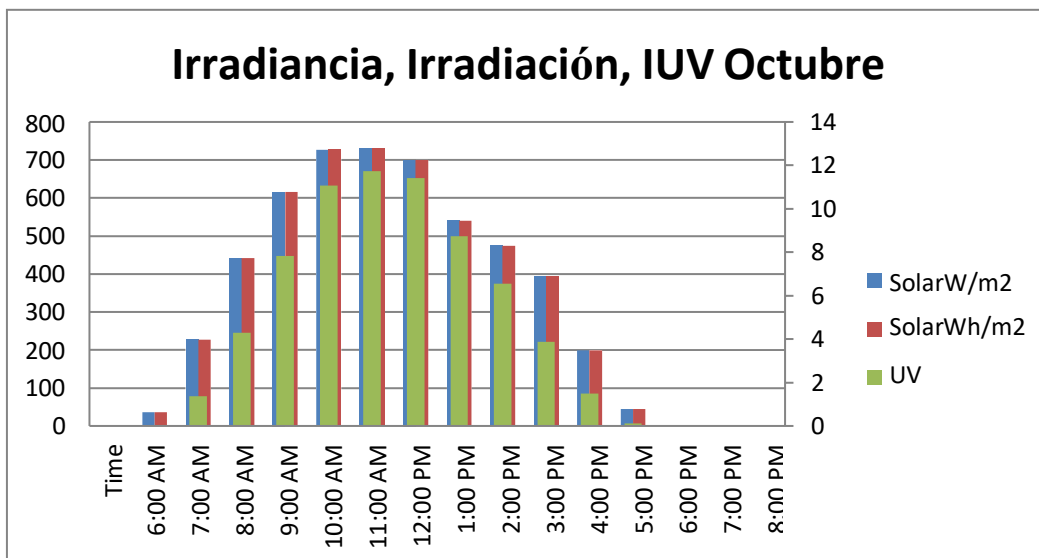


Figura 71 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para octubre 2016.

Tabla 56 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de noviembre 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
20/11/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	18	0,77	0
	6:30 AM	25	1,08	0
	7:00 AM	367	15,78	1,7
	7:30 AM	496	21,33	3,2
	8:00 AM	613	26,36	5,2
	8:30 AM	725	31,18	7,6
	9:00 AM	826	35,52	10,1
	9:30 AM	918	39,48	12,9
	10:00 AM	996	42,83	15,3
	10:30 AM	1053	45,28	16
	11:00 AM	1083	46,58	16
	11:30 AM	1089	46,83	16
	12:00 PM	1085	46,66	16
	12:30 PM	1070	46,02	16
	1:00 PM	1036	44,55	16
	1:30 PM	989	42,53	15,1
	2:00 PM	919	39,52	12,7

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

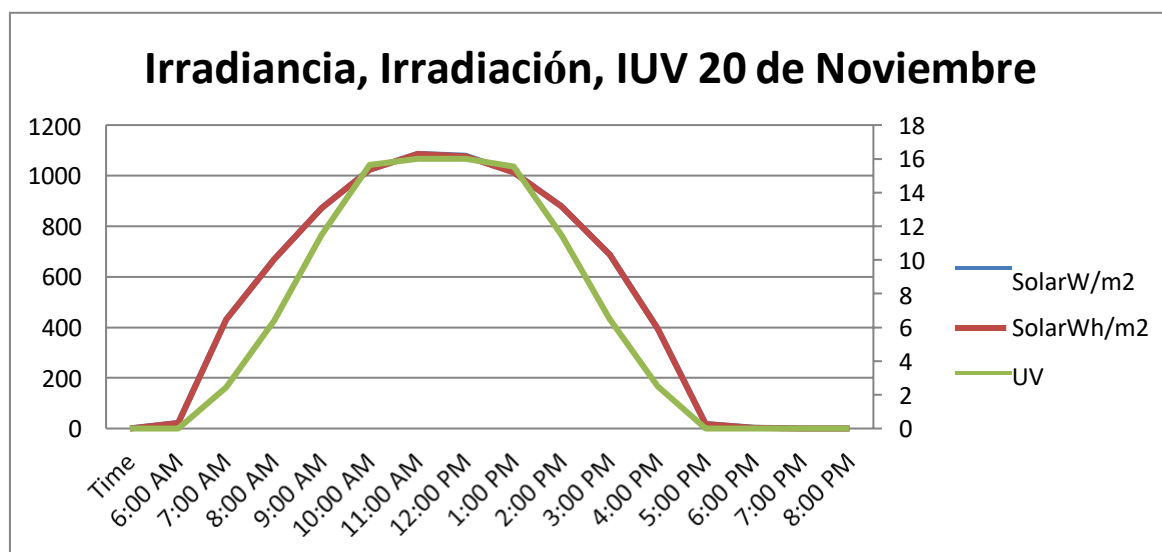
	2:30 PM	837	36	10,2
	3:00 PM	745	32,04	7,7
	3:30 PM	630	27,09	5,3
	4:00 PM	511	21,98	3,5
	4:30 PM	278	11,96	1,5
	5:00 PM	21	0,9	0
	5:30 PM	15	0,65	0
	6:00 PM	7	0,3	0
	6:30 PM	0	0	0

**Tabla 57 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de noviembre 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
20/11/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
PROMEDIO	6:00 AM	21,5	1,85	0
	7:00 AM	431,5	37,11	2,45
	8:00 AM	669	57,54	6,4
	9:00 AM	872	75	11,5
	10:00 AM	1024,5	88,11	15,65
	11:00 AM	1086	93,41	16
	12:00 PM	1077,5	92,68	16
	1:00 PM	1012,5	87,08	15,55
	2:00 PM	878	75,52	11,45
	3:00 PM	687,5	59,13	6,5
	4:00 PM	394,5	33,94	2,5
	5:00 PM	18	1,55	0
	6:00 PM	3,5	0,3	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 58 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de noviembre**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
20/11/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
PROMEDIO	6:00 AM	21,5	21,5007	0
	7:00 AM	431,5	431,29242	2,45
	8:00 AM	669	668,72988	6,4
	9:00 AM	872	871,65	11,5
	10:00 AM	1024,5	1024,01442	15,65
	11:00 AM	1086	1085,61102	16
	12:00 PM	1077,5	1077,12696	16
	1:00 PM	1012,5	1012,04376	15,55
	2:00 PM	878	877,69344	11,45
	3:00 PM	687,5	687,20886	6,5
	4:00 PM	394,5	394,45068	2,5
	5:00 PM	18	18,0141	0
	6:00 PM	3,5	3,4866	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 72 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de noviembre**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

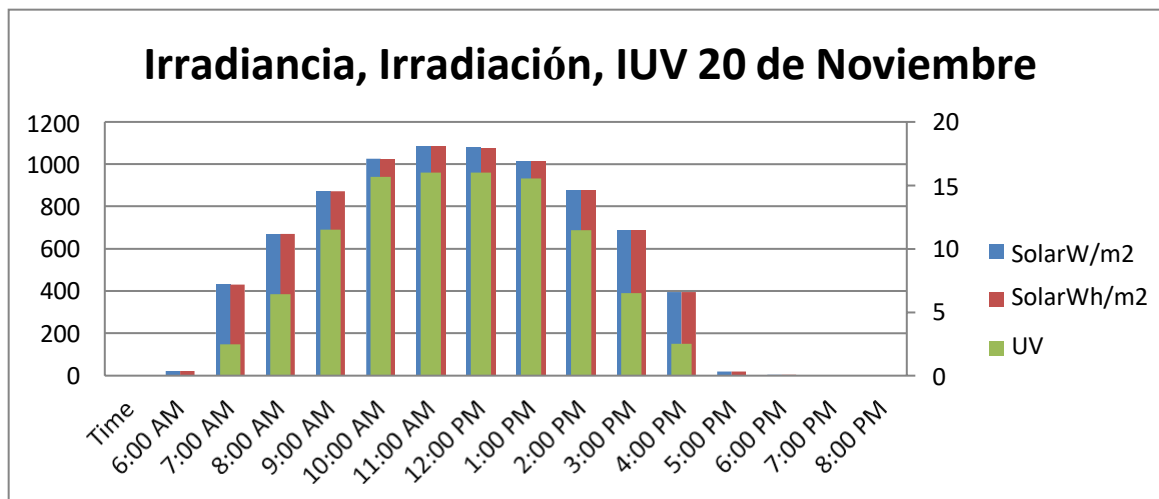
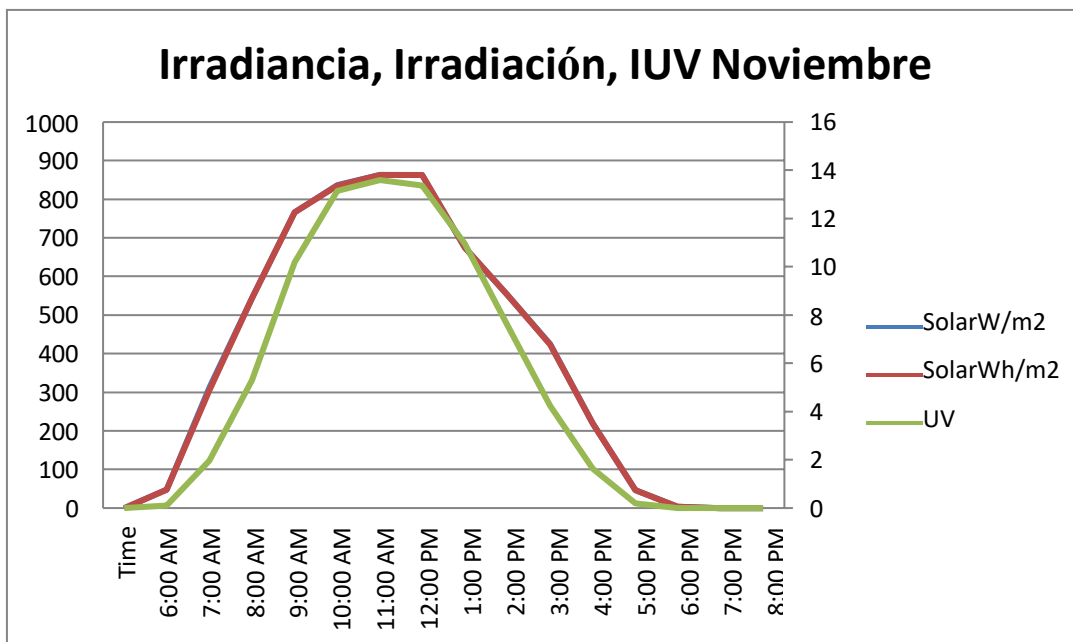


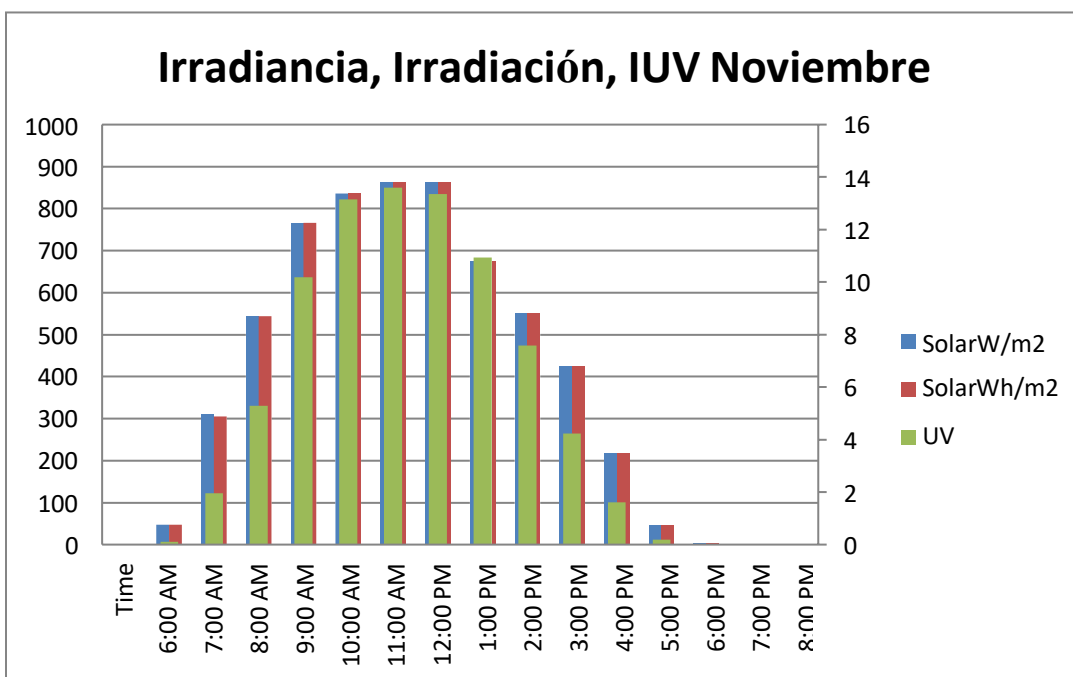
Figura 73 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de noviembre

Tabla 59 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV noviembre 2016.

NOVIEMBRE mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	47,9833333	47,975616	0,10666667
	7:00 AM	311,55	305,15498	1,95333333
	8:00 AM	544,375	544,1627936	5,29107143
	9:00 AM	766,35	766,056382	10,185
	10:00 AM	836,433333	836,117672	13,1483333
	11:00 AM	863,483333	863,16594	13,5983333
	12:00 PM	863,083333	862,747548	13,36
	1:00 PM	675,133333	674,88954	10,9483333
	2:00 PM	552,1	551,897788	7,58333333
	3:00 PM	424,483333	424,334716	4,24
	4:00 PM	219,466667	219,388494	1,625
	5:00 PM	47,1333333	47,115588	0,18333333
	6:00 PM	3,71666667	3,722914	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 74** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para noviembre 2016



**Figura 75** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para noviembre 2016.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

**Tabla 60 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de diciembre 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
20/12/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
	6:00 AM	23	0,99	0
	6:30 AM	108	4,64	0,2
	7:00 AM	157	6,75	1
	7:30 AM	156	6,71	1,8
	8:00 AM	464	19,95	4
	8:30 AM	802	34,49	6,9
	9:00 AM	786	33,8	8,4
	9:30 AM	857	36,86	11,8
	10:00 AM	961	41,33	14,7
	10:30 AM	1070	46,02	15,6
	11:00 AM	1089	46,83	15,4
	11:30 AM	1096	47,13	10,7
	12:00 PM	1139	48,98	16
	12:30 PM	987	42,45	16
	1:00 PM	135	5,81	16
	1:30 PM	886	38,1	16
	2:00 PM	692	29,76	10,3
	2:30 PM	220	9,46	3,8
	3:00 PM	284	12,21	4
	3:30 PM	667	28,68	5,5
	4:00 PM	589	25,33	3,6
	4:30 PM	218	9,38	1,3
	5:00 PM	104	4,47	0,7
	5:30 PM	42	1,81	0,1
	6:00 PM	16	0,69	0
	6:30 PM	0	0	0

**Tabla 61 Valores horario de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de diciembre 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
20/12/2016		W/m <sup>2</sup>	Ly	Index
PROMEDIO	6:00 AM	65,5	5,63	0,1
	7:00 AM	156,5	13,46	1,4
	8:00 AM	633	54,44	5,45
	9:00 AM	821,5	70,66	10,1
	10:00 AM	1015,5	87,35	15,15
	11:00 AM	1092,5	93,96	13,05
	12:00 PM	1063	91,43	16
	1:00 PM	510,5	43,91	16
	2:00 PM	456	39,22	7,05
	3:00 PM	475,5	40,89	4,75
	4:00 PM	403,5	34,71	2,45
	5:00 PM	73	6,28	0,4
	6:00 PM	8	0,69	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Tabla 62 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV 20 de diciembre 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
20/12/2016		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
PROMEDIO	6:00 AM	65,5	65,43186	0,1
	7:00 AM	156,5	156,43212	1,4
	8:00 AM	633	632,70168	5,45
	9:00 AM	821,5	821,21052	10,1
	10:00 AM	1015,5	1015,1817	15,15
	11:00 AM	1092,5	1092,00312	13,05
	12:00 PM	1063	1062,59946	16
	1:00 PM	510,5	510,32202	16
	2:00 PM	456	455,81484	7,05
	3:00 PM	475,5	475,22358	4,75
	4:00 PM	403,5	403,39962	2,45
	5:00 PM	73	72,98616	0,4
	6:00 PM	8	8,01918	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

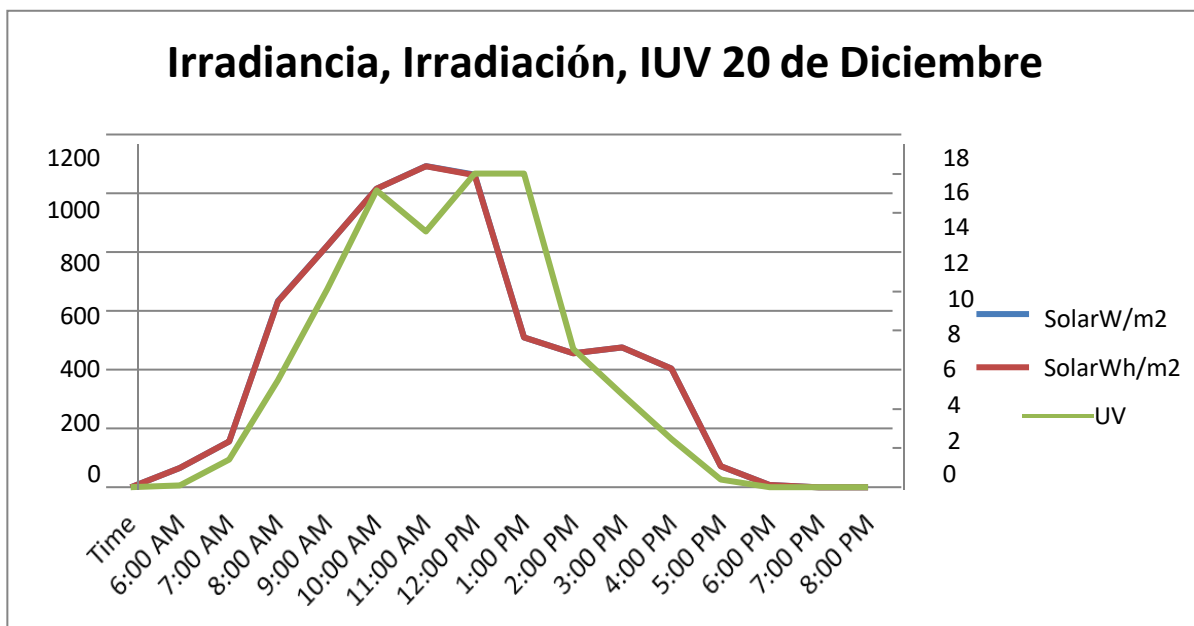


Figura 76 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de diciembre

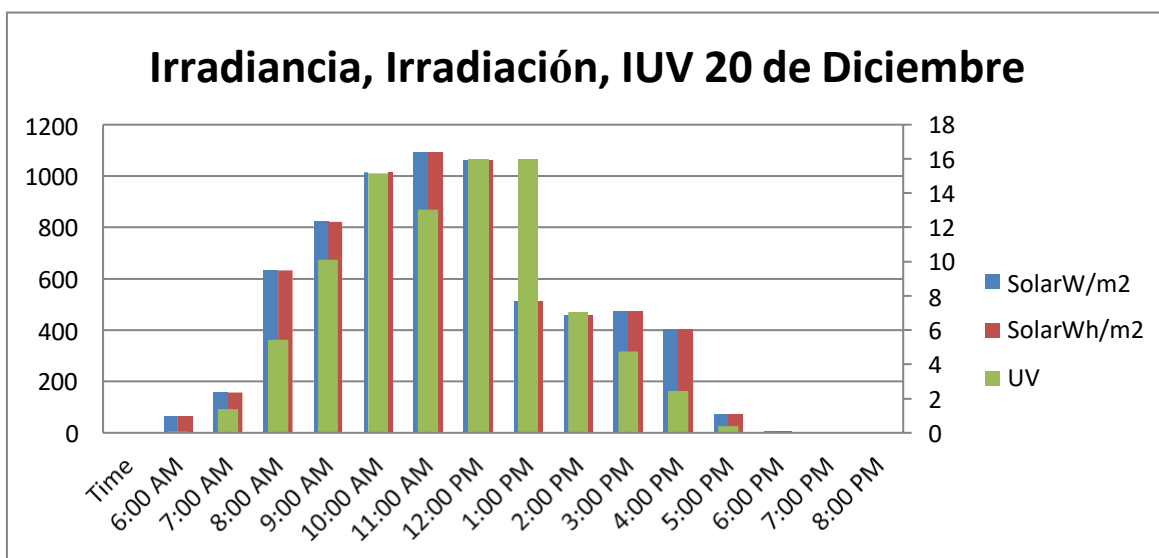


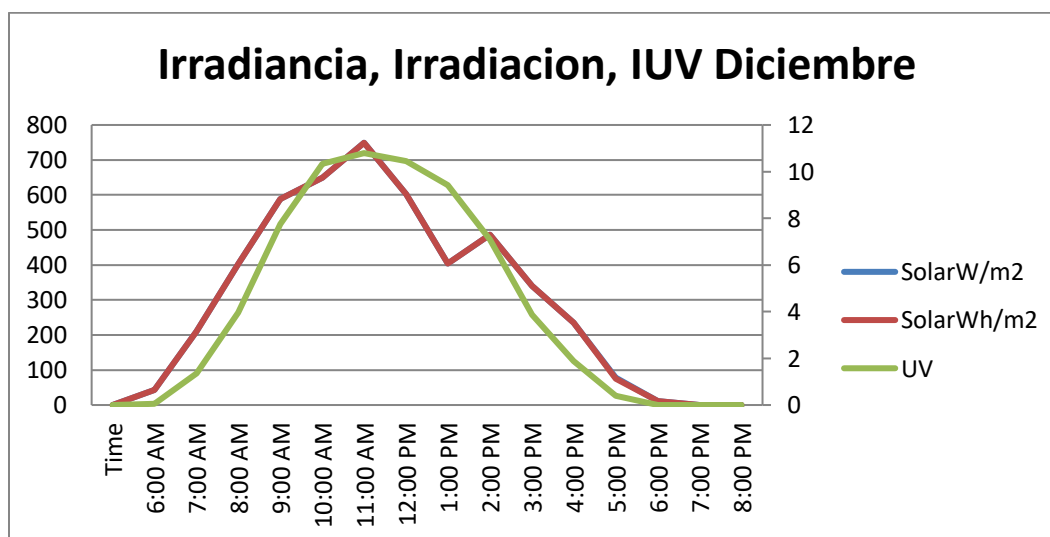
Figura 77 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el 20 de Diciembre 2016

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

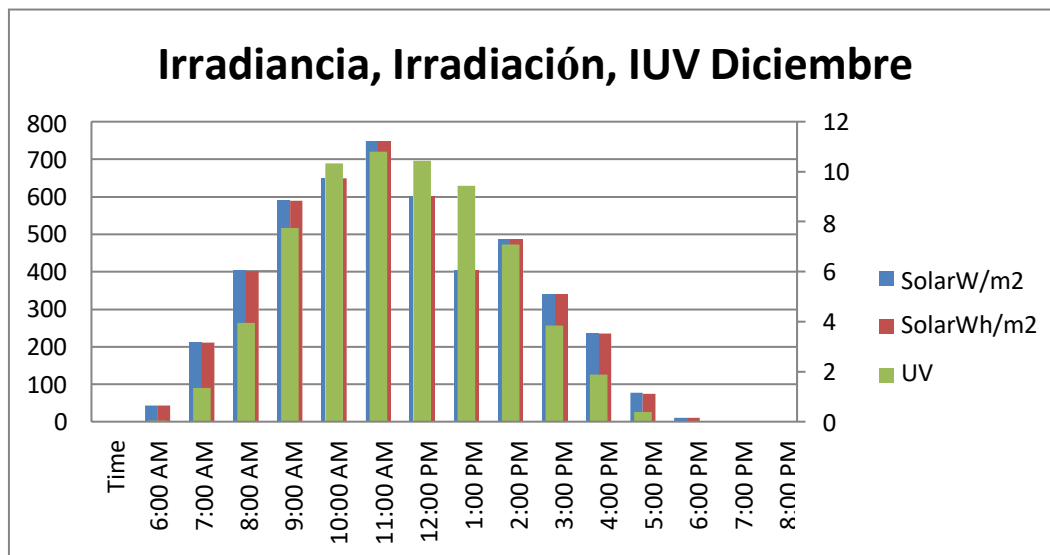


**Tabla 63 Valores horario mensual de Irradiancia, Irradiación e IUV diciembre 2016.**

DICIEMBRE mensual				
Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	42,8103448	42,80102069	0,06206897
	7:00 AM	211,051724	210,9633455	1,34655172
	8:00 AM	402,534483	402,3776855	3,95
	9:00 AM	589,051724	588,8306338	7,74482759
	10:00 AM	649,465517	649,2089276	10,337931
	11:00 AM	749,293103	749,0098469	10,7948276
	12:00 PM	602,051724	601,8192207	10,4413793
	1:00 PM	404,310345	404,165069	9,42931034
	2:00 PM	486,793103	486,6091324	7,09310345
	3:00 PM	339,931034	339,7992269	3,85862069
	4:00 PM	235,344828	235,2613407	1,87758621
	5:00 PM	77,5344828	74,72545241	0,39827586
	6:00 PM	11,1206897	11,11704414	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

**Figura 78 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para Diciembre 2016.**

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 79 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para diciembre 2016.**

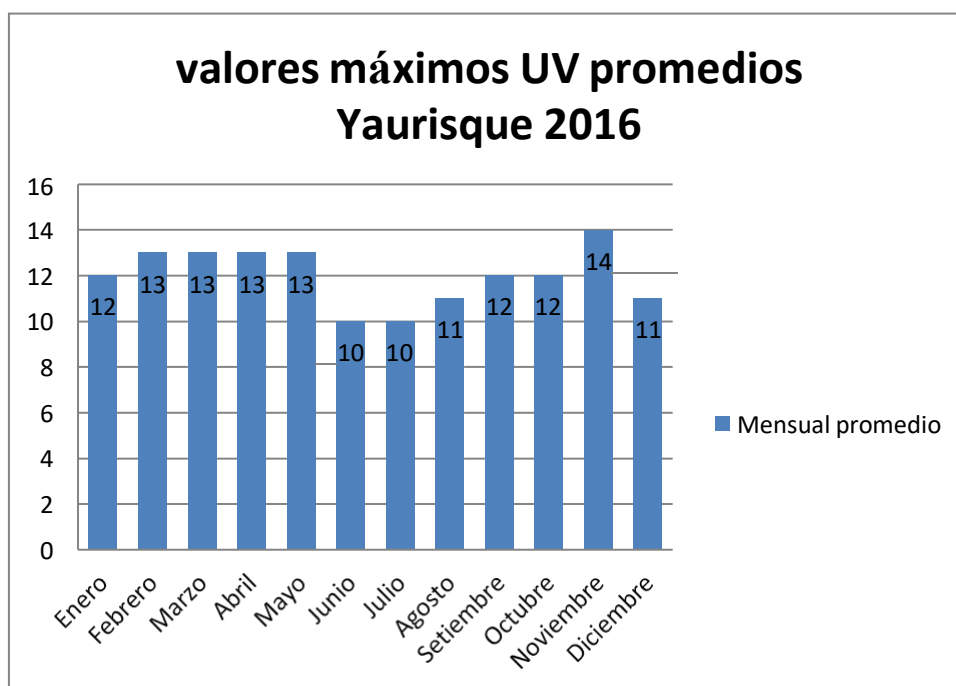
El promedio solar diario del IUV diciembre 2016 es monitoreo y realizado con los datos de la estación meteorológica de Yaurisque y presento un pico de 16 de índice de radiación ultravioleta UV – B (. Para el 20 de Diciembre a las 12,00 pm del 2016).

Con los diferentes datos registrados de Radiación Solar y Ultravioleta para distintos días y condiciones de nubosidad que varía de acuerdo a días claros y cubiertos mientras que varía el ángulo cenital también existen incrementos de índice de radiación ultravioleta UV –B , estos resultados se deben a que las nubes presentan una mayor transmitancia al intervalo ultravioleta, podemos concluir que el factor más influyente es la nubosidad si bien particularizando situaciones ideales de cielos despejados, la altura solar ejerce una influencia máxima entre la radiación solar total y ultravioleta.

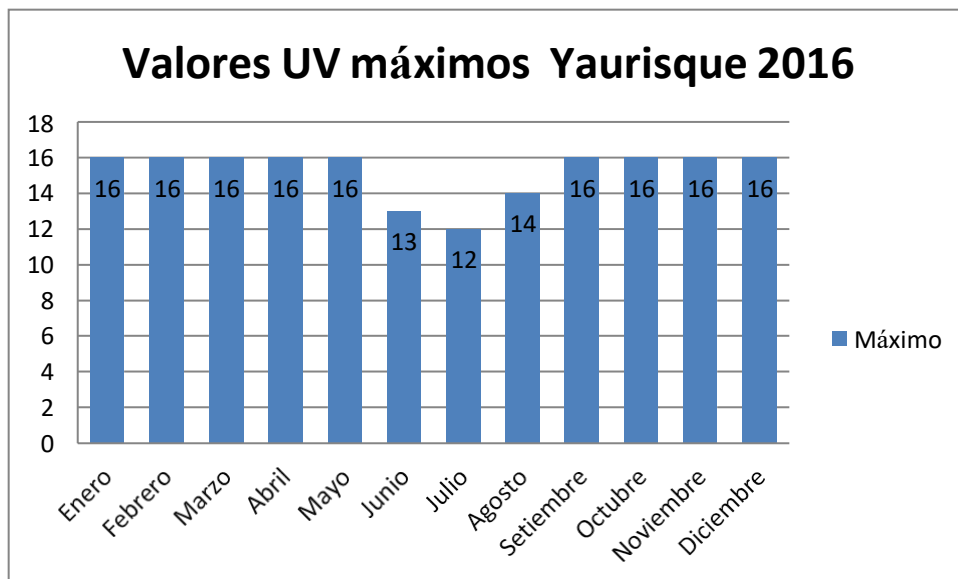
**Tabla 64 Valores Índice UV – B mensual promedio y máximo registrados en el distrito de Yaurisque.**

IUV -B		
Mes	Mensual promedio	Máximo
Enero	12	16
Febrero	13	16
Marzo	13	16
Abril	13	16
Mayo	13	16
Junio	10	13
Julio	10	12
Agosto	11	14
Setiembre	12	16
Octubre	12	16
Noviembre	14	16
Diciembre	11	16

Fuente: propia.



**Figura 80 Valores máximos promedios UV 2016.**



**Figura 81 Valores UV máximos anual 2016.**

**Tabla 65 Valores horario promedio Anual de Irradiancia, Irradiación e IUUV 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
Anual		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
2016				
promedio	6:00 AM	18,14337666	18,22158446	0,02294957
	7:00 AM	121,5997454	120,8955082	0,69145237
	8:00 AM	337,6264993	335,9863083	2,9185901
	9:00 AM	562,3262115	554,7869814	6,32971829
	10:00 AM	703,7585641	692,2078712	9,82115
	11:00 AM	763,9708079	762,4443353	11,5410339
	12:00 PM	737,6874719	737,1201921	11,6041008
	1:00 PM	635,2808467	635,0098083	10,1028854
	2:00 PM	511,4399031	511,8831284	7,03056131
	3:00 PM	390,5020578	390,4849686	4,07022033
	4:00 PM	211,2811668	212,3293853	1,5696133
	5:00 PM	44,83337155	44,58153241	0,17885982
	6:00 PM	4,949042991	4,882224376	0,00431034
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

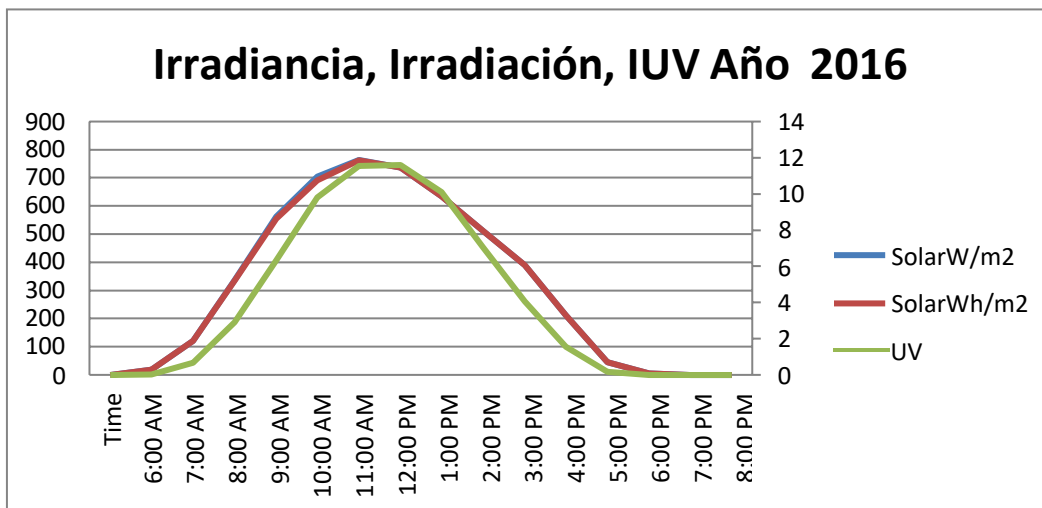


Figura 82 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el año 2016.

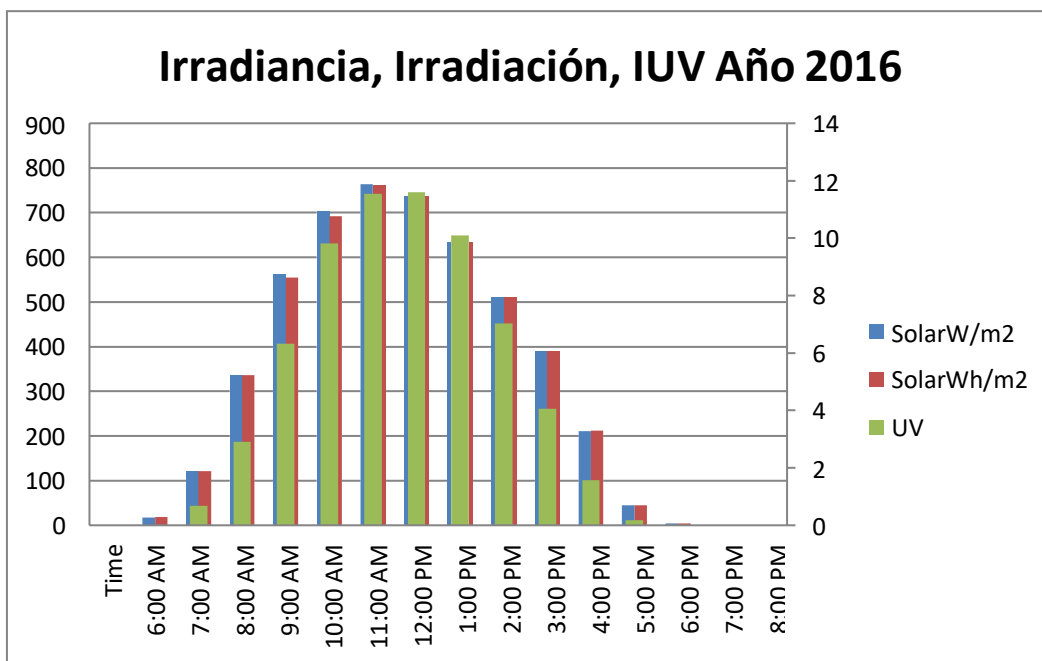


Figura 83 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para el año 2016.

El promedio solar Anual del IUV diciembre 2016 es monitoreo y realizado con los datos de la estación meteorológica de Yaurisque y presento un pico de  $11,6041008 = 12$  de índice de radiación ultravioleta UV – B).

Con los diferentes datos registrados de Radiación Solar y Ultravioleta para distintos días y condiciones de nubosidad que varía de acuerdo a días claros y cubiertos mientras que varía el ángulo cenital también existen incrementos de índice de radiación ultravioleta UV –B , estos resultados se deben a que las nubes presentan una mayor transmitancia al intervalo ultravioleta, podemos concluir que el factor más influyente es la nubosidad si bien particularizando situaciones ideales de cielos despejados, la altura solar ejerce una influencia máxima entre la radiación solar total y ultravioleta.

## **5.2 Fracción de radiación Ultravioleta en relación a la Radiación Global. Radiación Solar, índice Ultravioleta y relación entre ambas para los meses del año 2016.verano,inverno, primavera, otoño.**

Los estudios sobre la radiación ultravioleta han experimentado un considerable ímpetu en los últimos años, Sin embargo, frente a la abundancia de radiación global sobre superficie horizontal, en muchas estaciones, nos encontramos con una importante escasez de resultados que cubran periodos de tiempo relativamente largos de radiación ultravioleta, y en especial, de sus componentes espectrales UV-A y UV-B Ante estas circunstancias se plantean dos posibles soluciones alternativas. Por una parte, es posible recurrir al uso de los modelos de transferencia radiativa que permiten calcular la radiación ultravioleta a partir de los procesos de absorción y dispersión que tienen lugar en la atmósfera.

En este sentido, Frederick and Lubin (1988), desarrollaron un modelo de transferencia radiativa para calcular la irradiancia espectral asociada a cada longitud de onda del intervalo 280-400 nm. Los parámetros de entrada de dicho modelo son el ozono, el espesor óptico atmosférico, el albedo superficial para la banda ultravioleta y la localización, hora y día para los que se calcula la irradiancia. De manera análoga, Kylling et al. (1995), proponen otro modelo de transferencia radiativa para el cálculo de la irradiancia espectral ultravioleta a partir de la cantidad de ozono atmosférico, el albedo ultravioleta, la visibilidad, el día del año y el ángulo cenital solar. No obstante, estos modelos matemáticamente son bastante complejos y, frecuentemente, exceden las necesidades de las aplicaciones de esta línea de investigación a la industria y la agricultura. Como solución alternativa, se recurre a los modelos empíricos o semiempíricos que permiten determinar la radiación ultravioleta a partir de parámetros comúnmente registrados en la mayor parte de las estaciones radiométricas. En esta línea de trabajo, Green et al. (1974) formularon un modelo analítico semiempírico para calcular la componente global de la radiación ultravioleta en el intervalo espectral 280-340 nm, utilizando como parámetros la longitud de onda, la altura solar, el espesor del ozono atmosférico y de los aerosoles, el albedo superficial y la nubosidad. Asimismo, resultan interesantes los diversos estudios empíricos en los que se expresa la radiación ultravioleta como una fracción de la radiación total cuando se dispone de ambas medidas simultáneamente.

Estos trabajos se basan en datos registrados en la EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE CECADE YAURISQUE, PARURO, CUSCO.

En intervalos de tiempo diarios para el día, mes y año. Enero, Febrero, Marzo, Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre 2016 en promedio

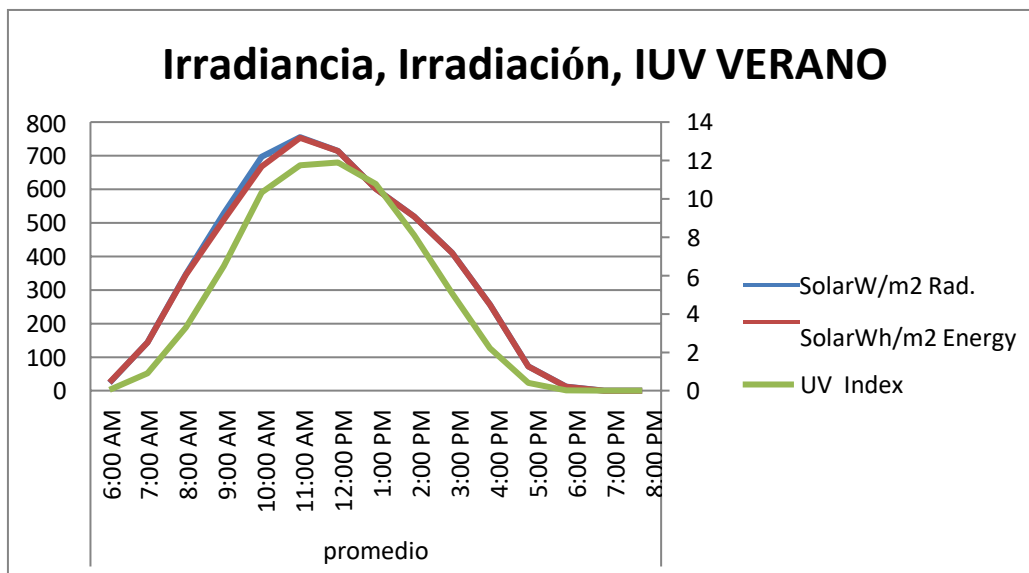
**Tabla 66 Meses de las estaciones meteorológicas.**

VERANO	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
OTOÑO	Marzo	Abril	Mayo	Junio
INVIERNO	Junio	Julio	Agosto	Setiembre
PRIMAVERA	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre

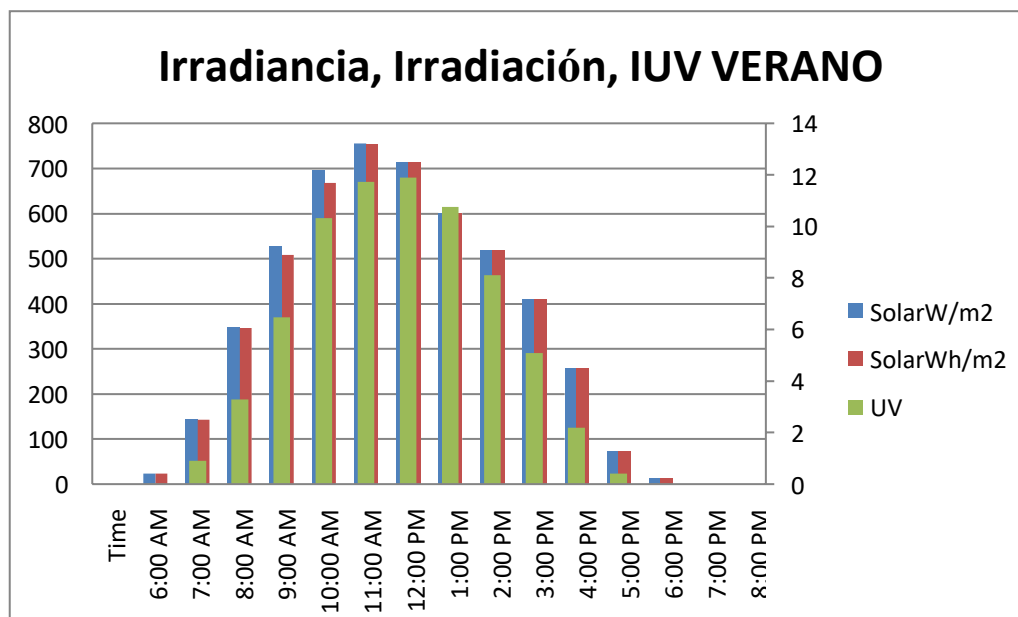
**Tabla 67 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV verano 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
VERANO		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	23,72841803	23,96467474	0,030488506
	7:00 AM	143,3955082	143,1987091	0,911750983
	8:00 AM	347,8194419	346,1991382	3,293598798
	9:00 AM	527,9726641	508,5374397	6,486035873
	10:00 AM	696,8941416	667,5898273	10,32106461
	11:00 AM	755,1306961	753,2980374	11,73241055
	12:00 PM	714,1079023	713,298424	11,89310669
	1:00 PM	601,6146737	601,2884267	10,76887236
	2:00 PM	519,103782	518,9657123	8,109206526
	3:00 PM	410,4446283	409,9785489	5,081113737
	4:00 PM	257,2034112	256,6801707	2,196931313
	5:00 PM	72,6862069	71,92510738	0,41167779
	6:00 PM	12,70695495	12,5193341	0,012931034
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

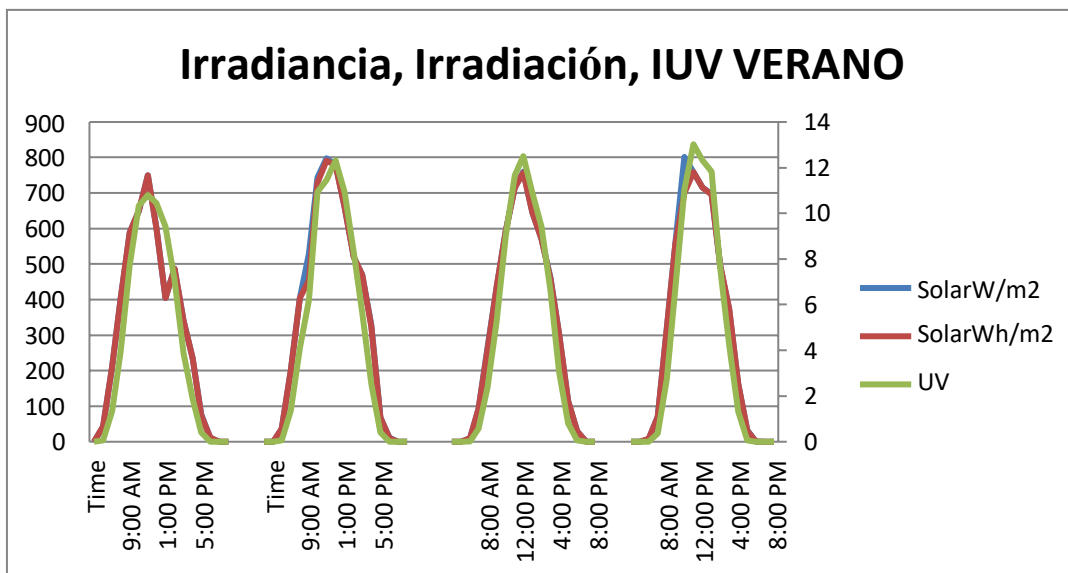




**Figura 84** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016.Fuente



**Figura 85** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016.



**Figura 86** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016.

**Tabla 68** Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV otoño 2016

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
OTOÑO		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	5,451344086	5,67750321	0
	7:00 AM	50,76115591	50,09411602	0,215403226
	8:00 AM	268,0888441	264,9009021	2,155604839
	9:00 AM	532,7456989	529,323209	5,762083333
	10:00 AM	703,9715054	673,5721613	9,566680108
	11:00 AM	754,1051075	751,5536256	11,90102151
	12:00 PM	733,0240591	732,5360034	11,79982527
	1:00 PM	669,1330645	668,7788986	10,49763441
	2:00 PM	511,259879	511,1709526	6,916333525
	3:00 PM	374,8149194	376,0576153	3,783427419
	4:00 PM	164,180914	164,5669576	1,15452957
	5:00 PM	24,79865591	24,62979853	0,031223118
	6:00 PM	0,470833333	0,495872	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

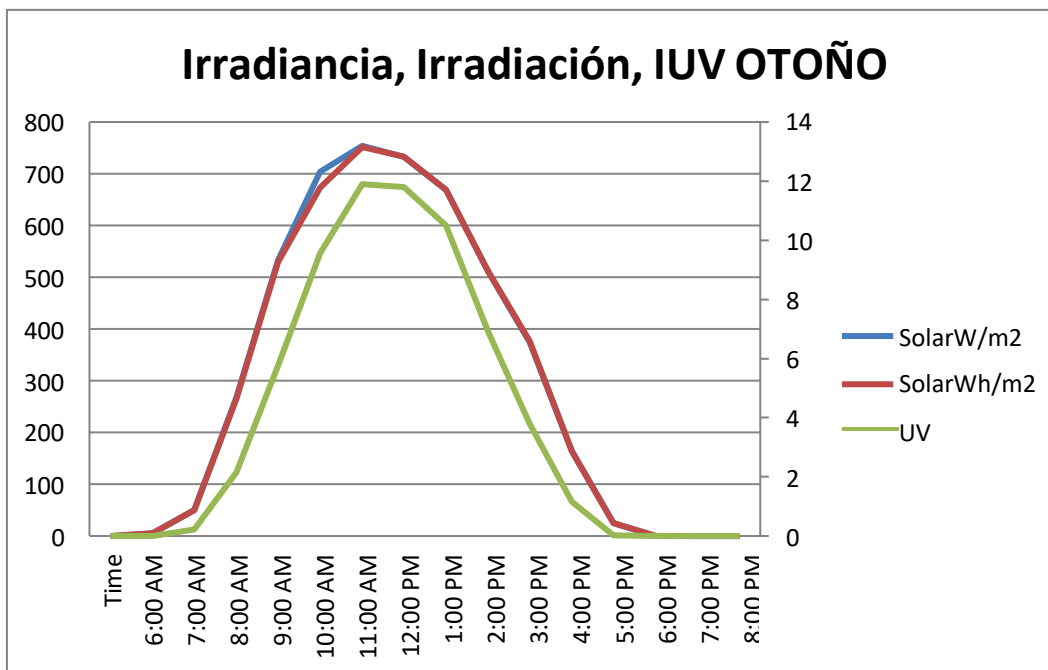


Figura 87 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016.

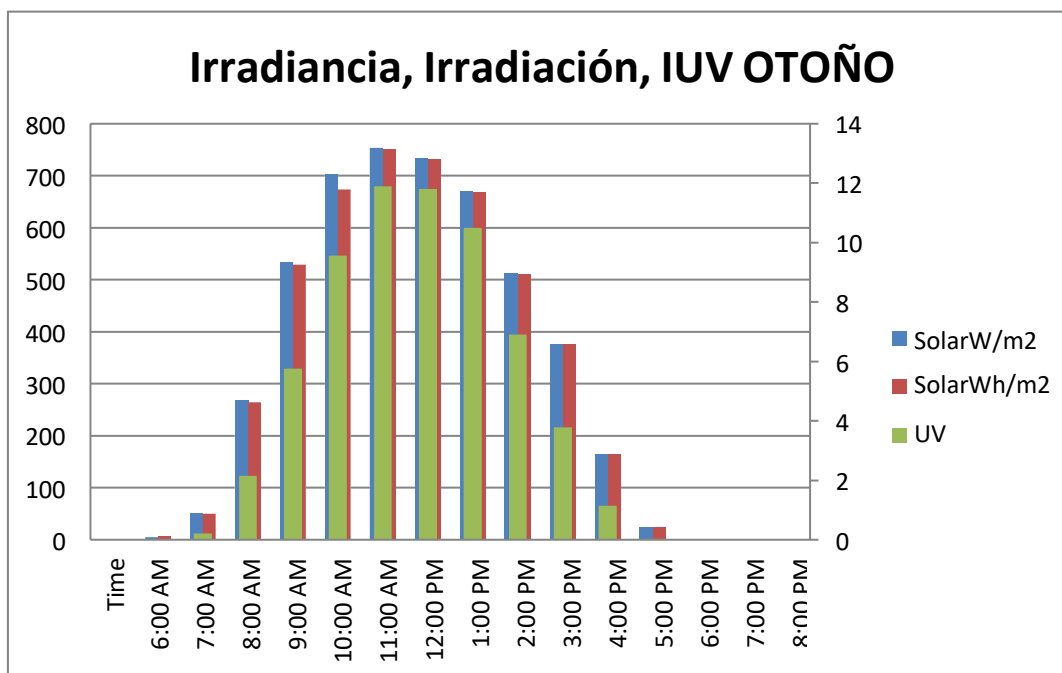
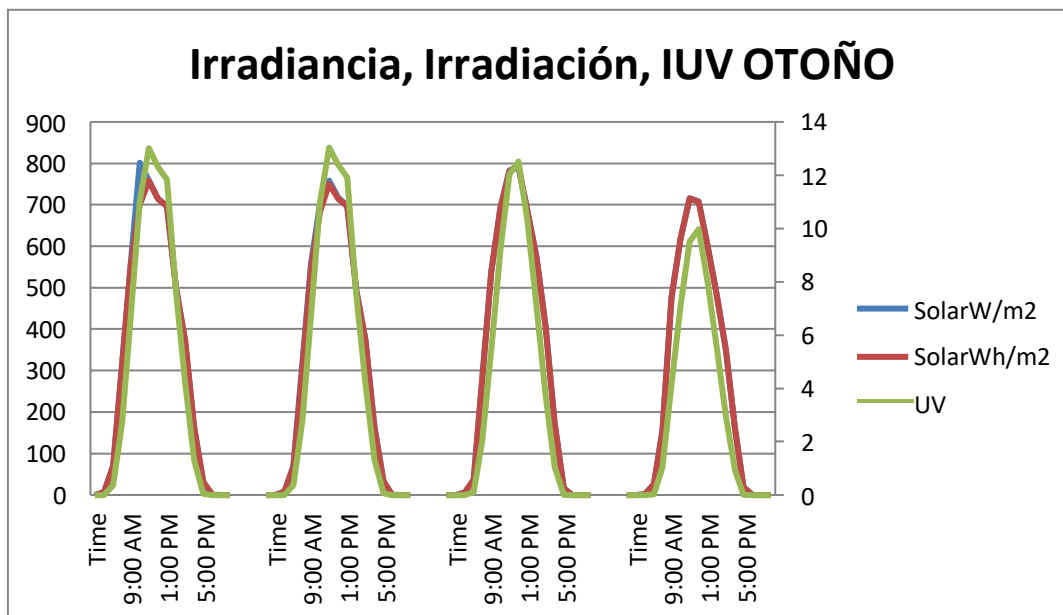


Figura 88 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016.



**Figura 89** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016. Fuente

**Tabla 69** Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV Invierno 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
INVIERNO		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	6,470932371	6,479049595	0
	7:00 AM	60,19270656	60,40197416	0,214030843
	8:00 AM	268,5684564	268,4677116	1,8570515
	9:00 AM	539,4046265	539,2004866	4,953723826
	10:00 AM	674,8650184	674,6124569	8,05178056
	11:00 AM	752,6536361	752,3599306	10,29000566
	12:00 PM	730,6674165	730,3576644	10,49656126
	1:00 PM	655,1068987	654,8631188	9,068278594
	2:00 PM	492,2584677	493,8758179	5,812407329
	3:00 PM	361,5095289	362,0656761	3,113861771
	4:00 PM	188,0937182	191,8308871	1,13452957
	5:00 PM	26,47681098	26,63038574	0,033839842
	6:00 PM	0,517190153	0,501383735	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

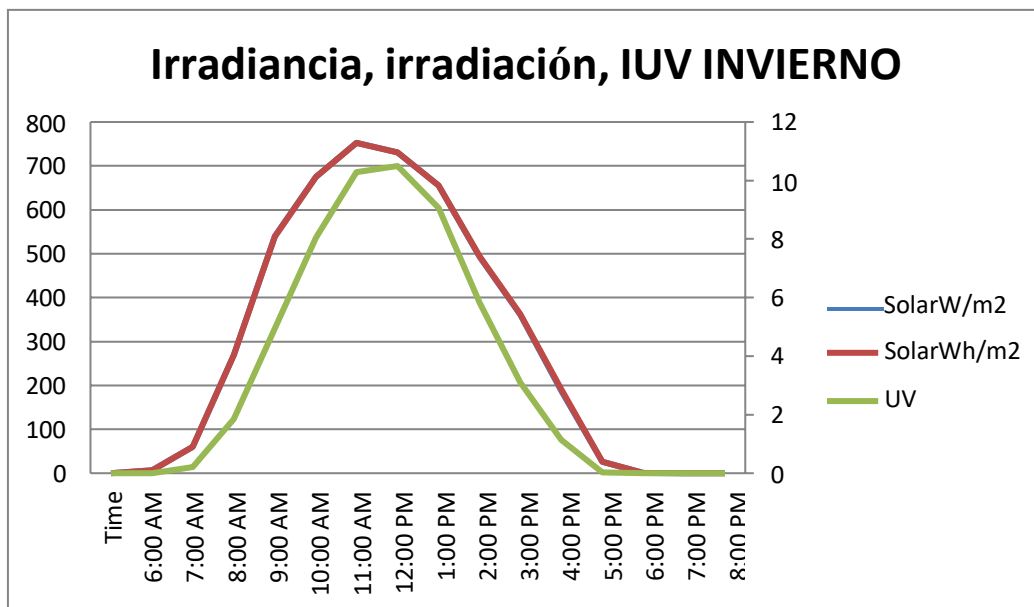


Figura 90 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para Invierno 2016.Fuente

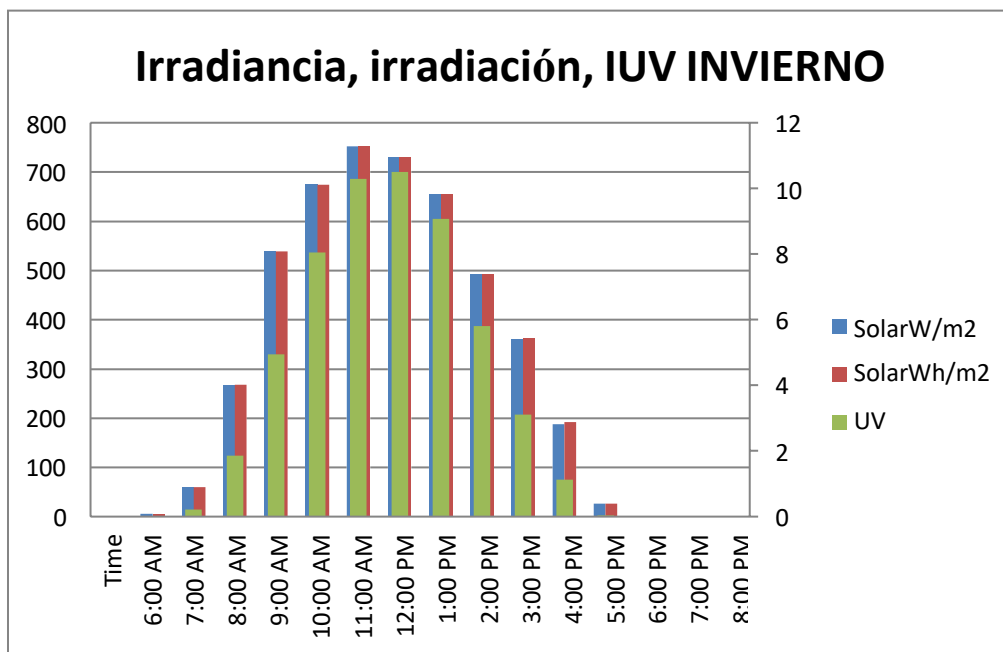
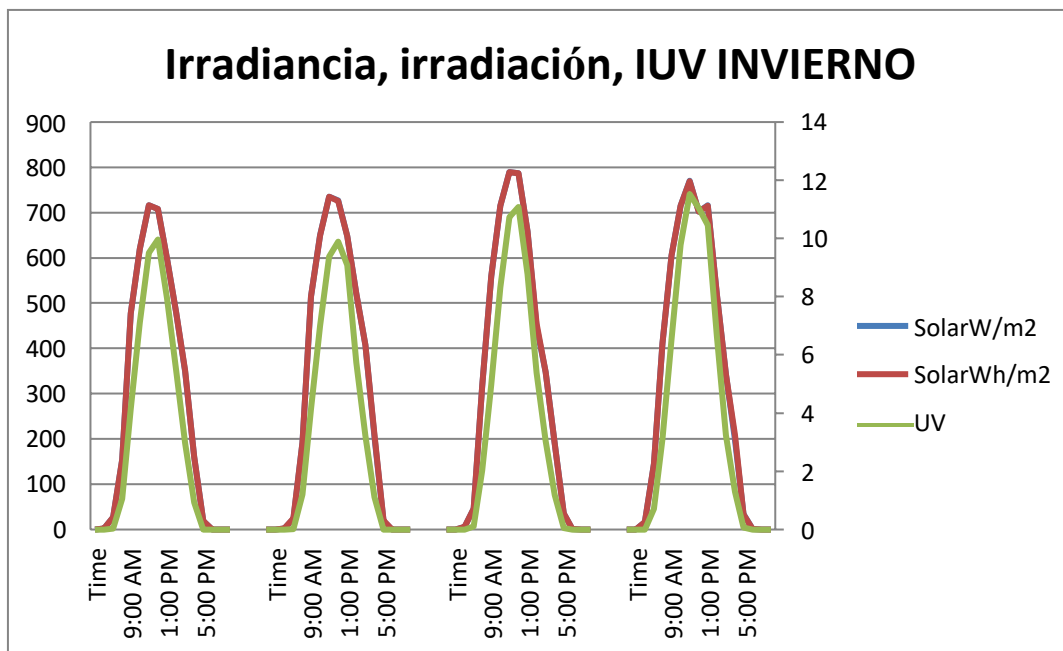


Figura 91 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para invierno 2016. Fuente

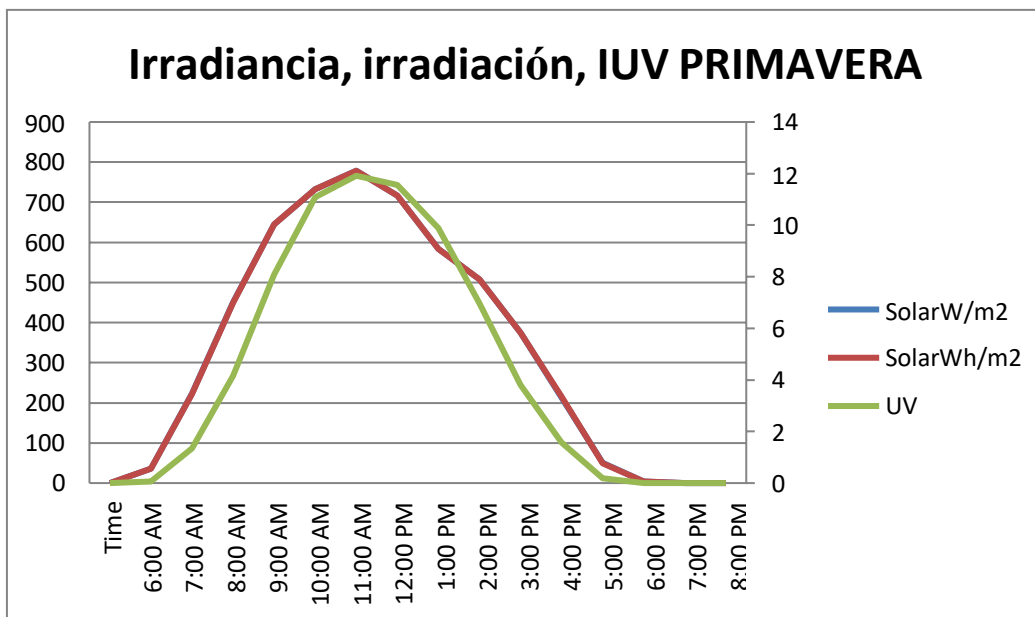


**Figura 92** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para invierno 2016.

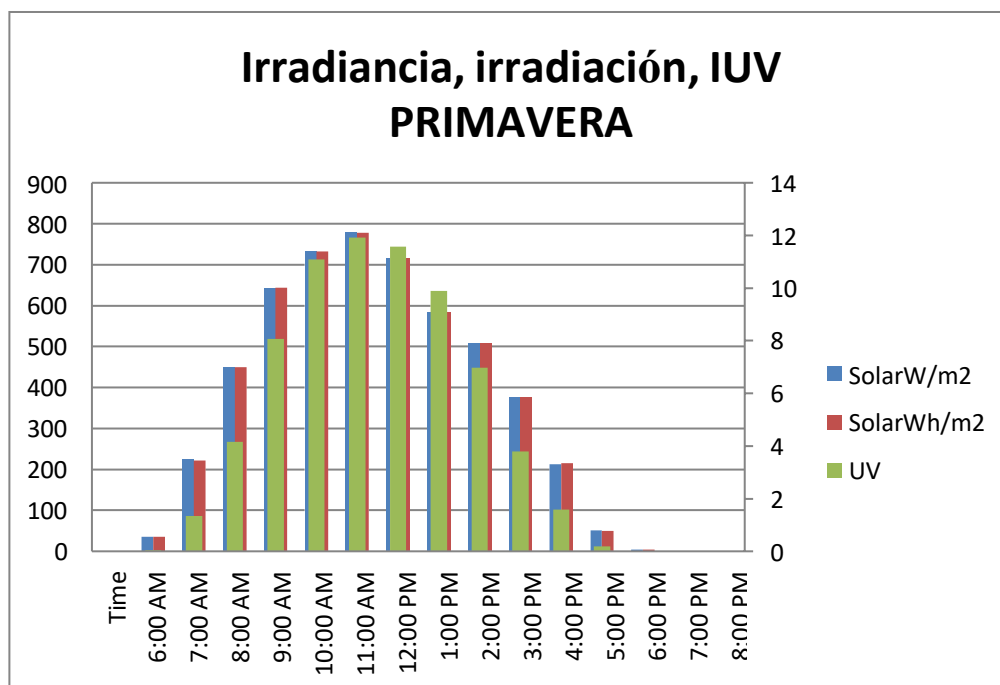
**Tabla 70** Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV primavera 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
PRIMAVERA		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	35,72324976	35,71805059	0,053877456
	7:00 AM	223,687358	222,0278289	1,343625764
	8:00 AM	450,0427357	449,8684329	4,162453765
	9:00 AM	644,2534446	644,0123075	8,074944163
	10:00 AM	732,0318009	731,7498976	11,0854031
	11:00 AM	778,6230141	778,3323363	11,91560772
	12:00 PM	716,9452669	716,676307	11,56409695
	1:00 PM	583,7304017	583,5171528	9,893413466
	2:00 PM	508,0458565	507,8996333	6,968196632
	3:00 PM	375,3788466	375,2427283	3,802965869
	4:00 PM	213,0812691	215,6526614	1,577662681
	5:00 PM	50,95451769	49,7801579	0,191688377
	6:00 PM	4,407980846	4,399762141	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

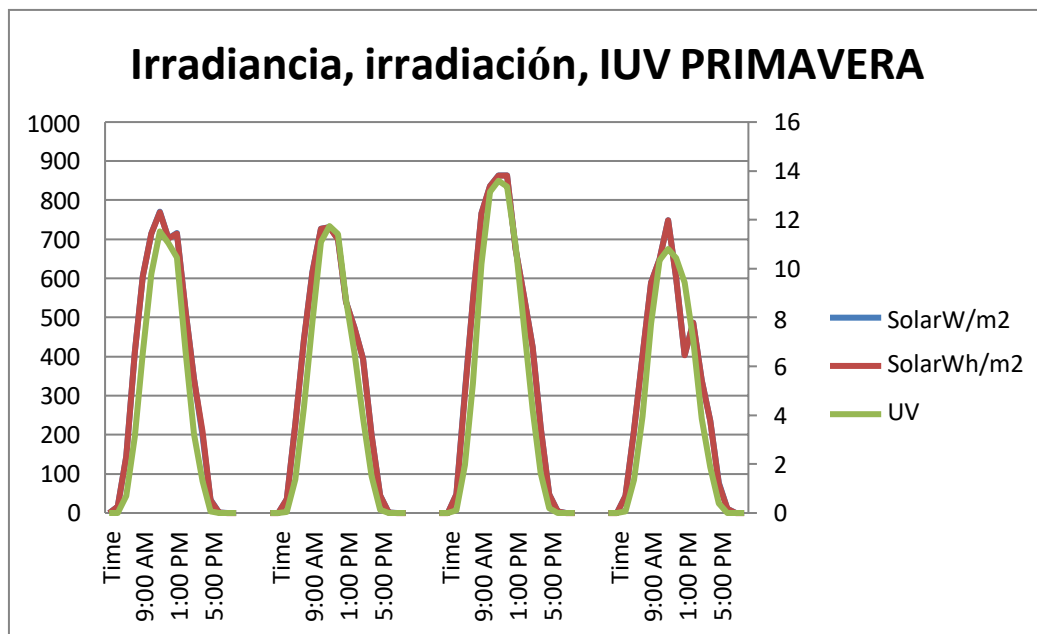


**Figura 93** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera



**Figura 94** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 95 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera 2016.**

### 5.3 Temperaturas mínimas y máximas de las estaciones meteorológicas para el distrito de Yaurisque, Paruro Cusco 2016

#### 5.3.1 Primavera

La primavera comienza entre el 21 y 23 de septiembre y finaliza el 21 de diciembre. El clima que presenta durante esta época es inestable, hay días que los rayos del sol saldrán y el ambiente será cálido, sin embargo, el clima es muy cambiante y de la noche de la mañana podrán haber vientos fríos y lluvias.

Las temperaturas en la primavera

Durante los primeros días, las temperaturas se mantienen igual, no suelen variar mucho. A mediados de noviembre los grados suelen subir un poco más.

Durante el mes de septiembre: Temperatura mínima 2,9°C / Temperatura máxima 21,9°C

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



Durante el mes de octubre: Temperatura mínima 4,2°C / Temperatura máxima de 21,8°C

Durante el mes de noviembre: Temperatura mínima 4,3°C / Temperatura máxima de 24,6°C

Durante el mes de diciembre: Temperatura mínima 4,4°C / Temperatura máxima de 23,8°C

### **5.3.2 Verano**

La temporada de verano comienza el 21 de diciembre y termina el 21 de marzo. En el verano el sol empieza a salir más seguido, las temperaturas ascienden y con el pasar de los meses el calor suele ser muy intenso, es por eso que se debe tener precaución con el cuidado de la piel.

Las temperaturas en el verano

El clima de la estación de verano, suele ir ascendiendo con el pasar de los meses y puede presentar un calor intenso en varias regiones.

Durante el mes de diciembre: Temperatura mínima 4,4°C / Temperatura máxima de 23,8°C

Durante el mes de enero: Temperatura mínima 6,1 °C / Temperatura máxima 25,1 °C

Durante el mes de febrero: Temperatura mínima 7,1 °C / Temperatura máxima 22,3 °C

Durante el mes de marzo: Temperatura mínima 6,1°C / Temperatura máxima 23,1 °C

### **5.3.3 Otoño**

La estación de otoño inicia el 21 de marzo y finaliza el 21 de junio. Durante los primeros meses de otoño, el clima sigue siendo cálido y hasta veces intenso. Es en Mayo cuando recién las temperaturas disminuirán, las temperaturas aún continuarán por encima de los 21,6 °C.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

### Las temperaturas en el otoño

En el Distrito de Yaurisque las temperaturas suelen ser bastante suaves, y aún más en el otoño, que es una época de transición del verano al invierno, en el que el clima suele ser bastante templado. Durante el mes de marzo: Temperatura mínima 6,1 °C / Temperatura máxima 23,1 °C

Durante el mes de abril: Temperatura mínima 2,7°C / Temperatura máxima 22,7°C

Durante el mes de mayo: Temperatura mínima 0,6 °C / Temperatura máxima 22,2 °C

Durante el mes de junio: Temperatura mínima 1,2°C / Temperatura máxima 21,6 °C

### 5.3.4 Invierno

El invierno empieza el 21 de junio hasta el 21 de septiembre. El clima en el invierno es bastante frío, se presentan lluvias, vientos fríos. Durante esta época las temperaturas descienden y por eso que se debe tener prevención a la hora de abrigarse.

#### La temperatura en el invierno

Durante el invierno un clima cambiante. El frío se sentirá en la mayoría de meses que dura la temporada, sin embargo, ya casi al finalizar, los rayos del sol saldrán cada vez más a menudo por la proximidad de la primavera.

Durante el mes de junio: Temperatura mínima 1,2 °C Temperatura máxima de 21,6 °C

Durante el mes de julio: Temperatura mínima – 0,9 °C/ Temperatura máxima de 21,6 °C

Durante el mes de agosto: Temperatura mínima 0,3 °C Temperatura máxima de 22,5 °C

Durante el mes de septiembre: Temperatura mínima 2,9 °C Temperatura promedio máxima 21,9 °C

5.4. Radiación solar, índice Ultravioleta y cociente  $H_{UV}/H_G$  para las estaciones Meteorológicas del año 2016.

<b>Verano</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>
<b>Otoño</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
<b>Invierno</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>
<b>Primavera</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>

**Tabla 71 Razón entre la radiación ultravioleta y total ( $H_{UV}/H_G$ )**

<b>Invierno</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>
Rad. solar	707,7333333	726,2258065	786,5	769,9736842
Rad UV	9,968333333	9,891935484	11,08387097	11,52894737
( $H_{UV}/H_G$ )	0,01408487	0,01362102	0,01409265	0,01497317
<b>Primavera</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>
Rad. Solar	769,9736842	731,7419355	863,4833333	749,2931034
Rad. UV	11,52894737	11,74032258	13,59833333	10,79482759
( $H_{UV}/H_G$ )	0,01497317	0,01604435	0,01574823	0,01440668
<b>Verano</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>
Rad Solar	749,2931034	779	760,6465517	758,7666667
Rad. UV	10,79482759	12,30564516	12,51206897	13,02666667
( $H_{UV}/H_G$ )	0,01440668	0,01579672	0,01644925	0,01716821
<b>Otoño</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>
Rad. Solar	758,7666667	758,9	793,1129032	707,7333333
Rad . UV	13,02666667	13,03666667	12,52096774	9,968333333
( $H_{UV}/H_G$ )	0,01716821	0,01717837	0,01578712	0,01408487

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

**Tabla 72 Razón entre la radiación ultravioleta y total (Huv/HG) en promedio.**

<b>Parámetro</b>	<b>Anual</b>	<b>Otoño</b>	<b>Invierno</b>	<b>Primavera</b>	<b>Verano</b>
(H <sub>UV</sub> / H <sub>G</sub> )	0,01537397	0,016054644	0,01419293	0,01529311	0,0159552

Razón entre la radiación ultravioleta y total (Huv/HG), para el agrupamiento estacional en la estación meteorológica de CECADE YAURISQUE, PARURO, CUSCO 2016.

De esta forma, se ha comprobado que el porcentaje de radiación ultravioleta respecto a la total presenta, en términos generales, pequeñas variaciones a lo largo del año, si bien experimenta ligeros aumentos durante las estaciones más lluviosas. Buscando una cierta uniformidad, agrupan las medidas de radiación solar diaria de acuerdo a la estación del año.

Observando oscilaciones entre el 1.42 % en invierno y 1.59 % en verano, Yaurisque Altitud : 3330 m, Longitud : 71° 51' 6,59" O, Latitud: 13° 39' 37,24" S con un mínimo en invierno y un máximo en verano. (Tabla 71).

**Tabla 73 Razón entre la radiación diaria ultravioleta y total ( Huv / HG), Enero 2016**

<b>Parámetro</b>	<b>Diario</b>	<b>Lunes</b>	<b>Martes</b>	<b>Miércoles</b>	<b>jueves</b>	<b>Viernes</b>
(H <sub>UV</sub> / H <sub>G</sub> )		0,014931973	0,02733564	0,01294498	0,01166667	0,00598007

$$(H_{UV} / H_G) =$$

$$10,975 / 735 = 0,014931973 \text{ (10 am) lunes}$$

$$7,9 / 289 = 0,02733564 \text{ (12 pm) martes}$$

$$16 / 1236 = 0,01294498 \text{ (11:45 AM) miércoles}$$

$$1,4 / 120 = 0,01166667 \text{ (3:00 PM) jueves}$$

$$3,6 / 602 = 0,00598007 \text{ (4:15 PM) viernes}$$

Observando oscilaciones entre el 0.5 % día Viernes y 2,73 % día Martes un mínimo en el día viernes (tabla 64).

Diversos autores afirman que las discrepancias encontradas entre los distintos emplazamientos, se justifica en base a las diferentes condiciones atmosféricas y climatológicas de los emplazamientos escogidos en cada estudio, así como a los periodos de medidas y los instrumentos utilizados en cada caso. Por otra parte, diversos autores han estudiado la dependencia de este cociente respecto a los diferentes parámetros que afectan a la radiación ultravioleta a su paso por la atmósfera. Así, por ejemplo, se ha verificado que la influencia del ozono estratosférico en el cociente es mínima, ya que este gas atmosférico afecta principalmente a la componente UV-B, mientras que el 95% de la radiación ultravioleta medida con los radiómetros utilizados comúnmente es UV-A. Por lo que respecta a la variabilidad diurna del cociente ( $H_{UV} / H_G$ ) observan, a partir de datos de radiación horarios registrados durante un año.

Para días sin nubosidad, que ésta presenta el mismo patrón de oscilación que la radiación está íntimamente relacionada con la variación del ángulo cenital solar a lo largo del día. De esta forma, a medida que va avanzando el día, mientras que el ángulo cenital solar disminuye, el cociente aumenta, alcanzado su valor máximo al medio día, coincidiendo con el mínimo del ángulo cenital solar. Por el contrario, a lo largo de la tarde, mientras que el ángulo cenital solar aumenta, el cociente ( $H_{UV} / H_G$ ) disminuye, pudiendo llegar a alcanzar valores más bajos que los registrados

durante la mañana, como consecuencia del aumento de los niveles de turbiedad. De acuerdo con estos resultados, podemos afirmar que, los procesos de absorción y dispersión debido a la presencia de partículas en la atmósfera, cuya probabilidad crece con el ángulo cenital solar, al aumentar el camino que los fotones recorren a través de la atmósfera, afectan en mayor medida a las radiaciones de longitud de onda menor, contribuyendo a un menor porcentaje de radiación ultravioleta respecto a la total.

No obstante, en presencia de nubes, la situación anteriormente descrita varía significativamente). Medidas experimentales recogidas, demuestran que, aunque tanto la radiación ultravioleta como la total disminuyen a medida que aumenta el espesor de las nubes (figuras 98 y 99), el cociente entre ambas aumenta (figura 100). Igualmente, para días con distintas condiciones de nubosidad presentan la radiación ultravioleta y total, así como el cociente entre ambas, observando que el cociente alcanza valores superiores en los días con nubosidad que en los días claros (23 de enero).

**Tabla 74 Razón entre la radiación diaria ultravioleta y total (  $H_{UV} / H_G$ ), 23 de Enero 2016.**

<b>Parámetro</b>	<b>Diario Lunes</b>	<b>6:45 AM</b>	<b>8:30 AM</b>	<b>10:30 AM</b>	<b>2:00 PM</b>	<b>5:45 PM</b>
$(H_{UV} / H_G)$	0,009888695	0,0012048	0,01117216	0,01526718	0,02009569	0,00169492

Nagaraja Rao et al. (1984) encuentran una ligera dependencia entre la fracción solar, FS (cociente entre horas de sol medidas y número máximo de horas de sol diarias) y la razón ( $H_{UV} / H_G$ )

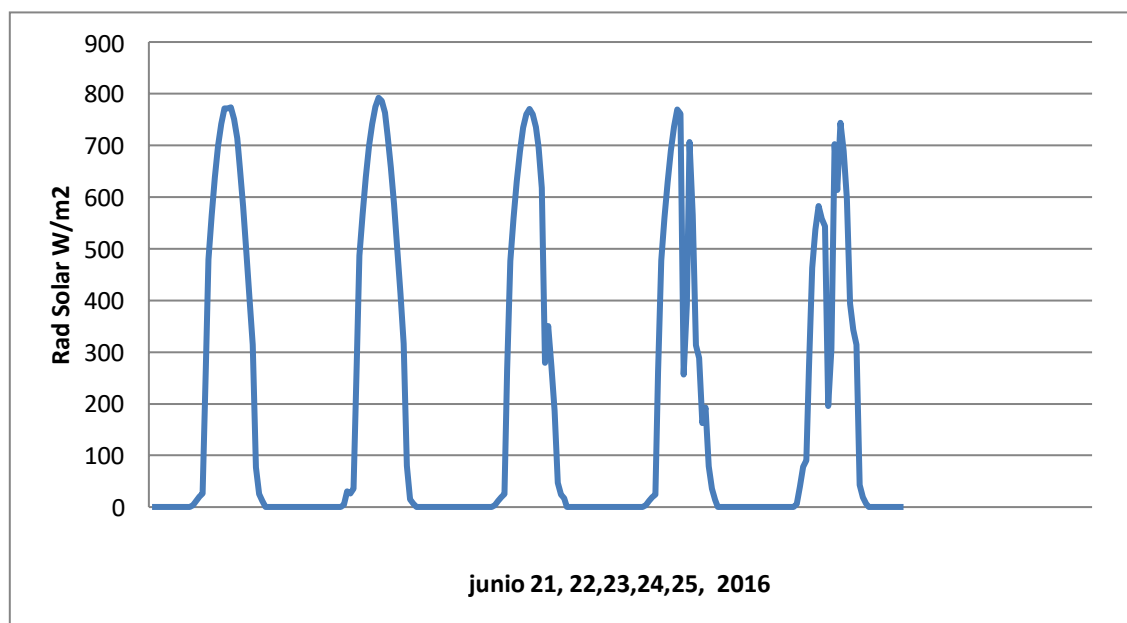
**Tabla 75 Dependencia entre la fracción solar**

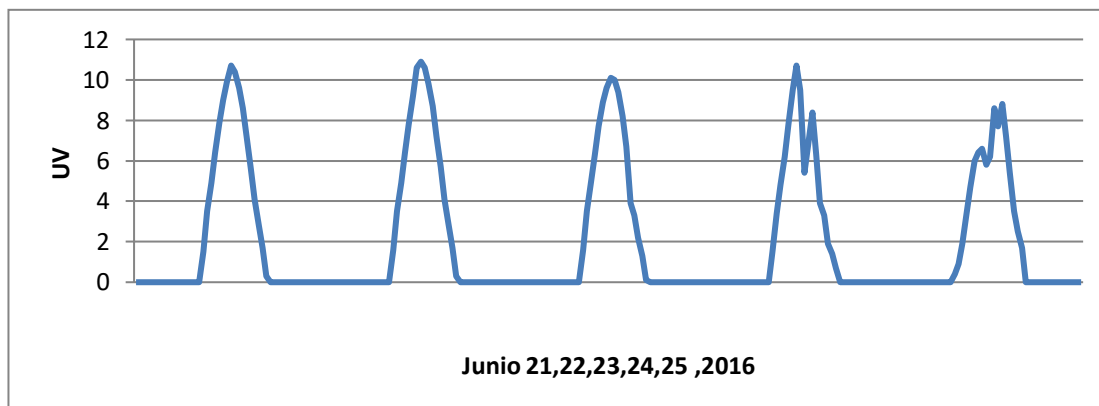
FS < 0,15	0,15 < FS < 0,85	FS > 0,85
-----------	------------------	-----------

**Tabla 76 Razón entre la radiación diaria ultravioleta y total para el agrupamiento basado en las condiciones de cielo en Yaurisque, siendo ( $H_{UV} / H_G$ ) m la razón promedio, Yaurisque 2016)**

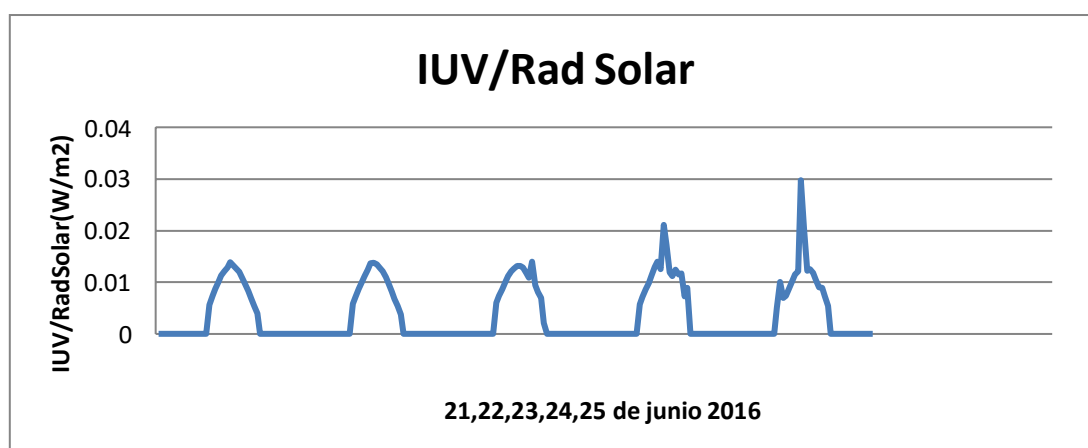
Parámetro	FS < 0,15	0,15 < FS < 0,85	FS > 0,85
$H_{UV} / H_G$	0,12	0,17	1,53

De tal manera que los días con  $FS < 0.15$  presentan mayor valor medio diario de ( $H_{UV} / H_G$ ) (0,12) que los días con  $FS > 0.85$  ( $H_{UV} / H_G = 1,53$ ).

**Figura 96 Irradiancia para junio 21, 22, 23, 24, 25**



**Figura 97 IUUV para junio 21, 22, 23, 24,25. Del 2016**



**Figura 98 IUUV / Irradiancia para junio 21, 22, 23, 24,25 del 2016.**

Figura 97, 98,99: Irradiancia solar ultravioleta y total y cociente entre ambas para días con distintas condiciones de nubosidad en Yaurisque Paruro, Cusco 2016.

Estos resultados se deben a que las nubes presentan una mayor transmitancia al intervalo ultravioleta y a que la absorción por parte del vapor de agua es mucho mayor en la región del infrarrojo que en los intervalos con longitud de onda menor. Por lo tanto, podemos concluir, que en general, el factor más influyente en el cociente  $H_{UV} / H_G$  es la nubosidad, si bien, particularizando a situaciones ideales de cielos despejados, la altura solar ejerce una influencia máxima en el cociente  $H_{UV} / H_G$  entre la radiación solar ultravioleta y total.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



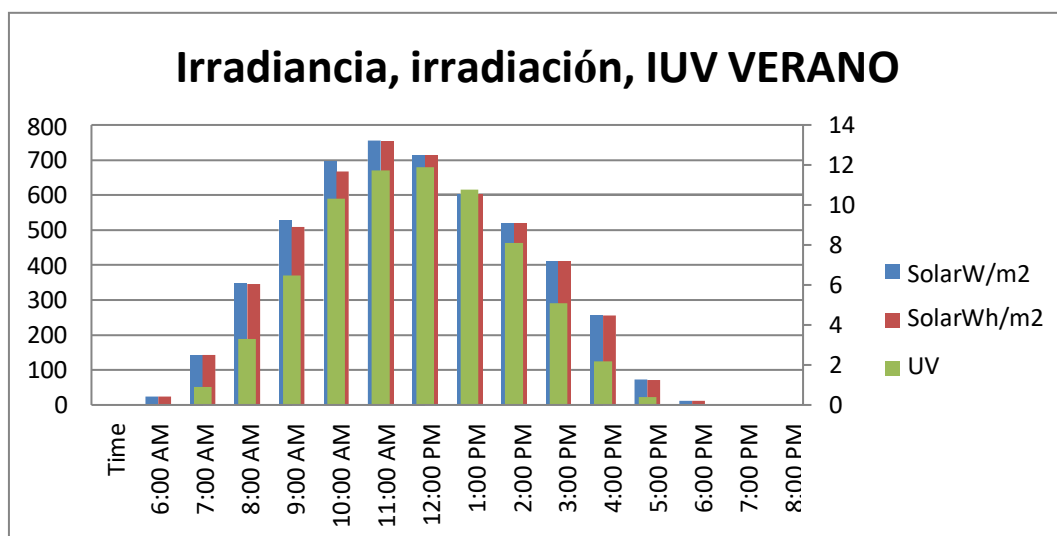
5.5. Radiación Ultravioleta en función de la Radiación Solar Global para cada periodo estacional.

Como una de las hipótesis de este estudio es comprobar el comportamiento de la radiación ultravioleta en función de la radiación global se obtuvo la gráfica correspondiente para cada periodo estacional. Invierno, primavera, verano, otoño. Y se observa en cada una de estas gráficas que existe una dependencia en el comportamiento entre ambas variables.

Tabla 76. Razón entre la radiación diaria ultravioleta y total para el agrupamiento basado en las condiciones de cielo en Yaurisque, siendo  $(H_{UV} / H_G)$  m la razón promedio, Yaurisque 2016)

**Tabla 77 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV verano 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
VERANO		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	23,72841803	23,96467474	0,030488506
	7:00 AM	143,3955082	143,1987091	0,911750983
	8:00 AM	347,8194419	346,1991382	3,293598798
	9:00 AM	527,9726641	508,5374397	6,486035873
	10:00 AM	696,8941416	667,5898273	10,32106461
	11:00 AM	755,1306961	753,2980374	11,73241055
	12:00 PM	714,1079023	713,298424	11,89310669
	1:00 PM	601,6146737	601,2884267	10,76887236
	2:00 PM	519,103782	518,9657123	8,109206526
	3:00 PM	410,4446283	409,9785489	5,081113737
	4:00 PM	257,2034112	256,6801707	2,196931313
	5:00 PM	72,6862069	71,92510738	0,41167779
	6:00 PM	12,70695495	12,5193341	0,012931034
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0



**Figura 99** Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para verano 2016.

**Tabla 78** Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV otoño 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
OTOÑO		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	5,451344086	5,67750321	0
	7:00 AM	50,76115591	50,09411602	0,215403226
	8:00 AM	268,0888441	264,9009021	2,155604839
	9:00 AM	532,7456989	529,323209	5,762083333
	10:00 AM	703,9715054	673,5721613	9,566680108
	11:00 AM	754,1051075	751,5536256	11,90102151
	12:00 PM	733,0240591	732,5360034	11,79982527
	1:00 PM	669,1330645	668,7788986	10,49763441
	2:00 PM	511,259879	511,1709526	6,916333525
	3:00 PM	374,8149194	376,0576153	3,783427419
	4:00 PM	164,180914	164,5669576	1,15452957
	5:00 PM	24,79865591	24,62979853	0,031223118
	6:00 PM	0,470833333	0,495872	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

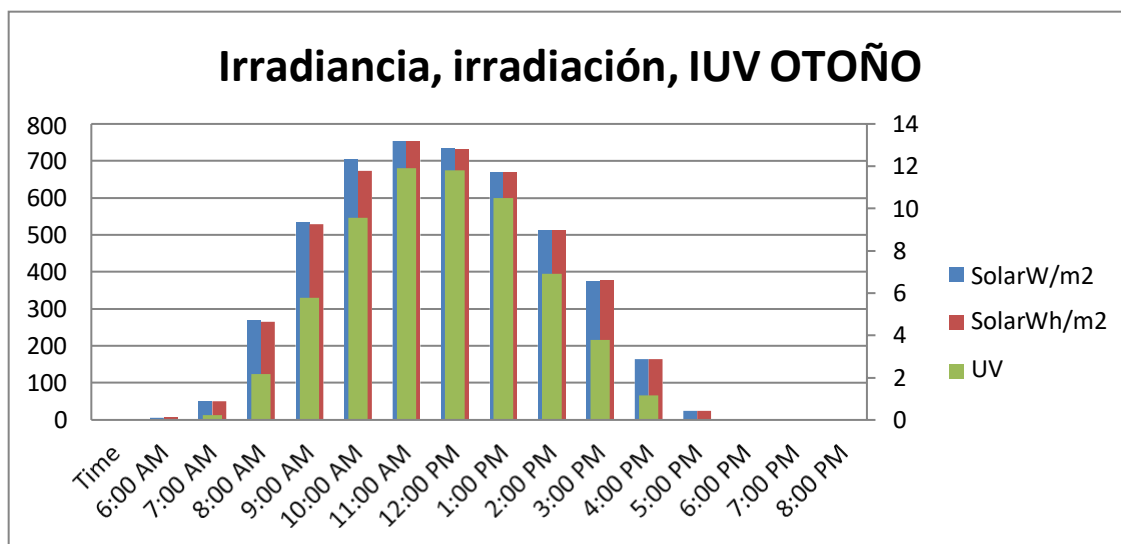
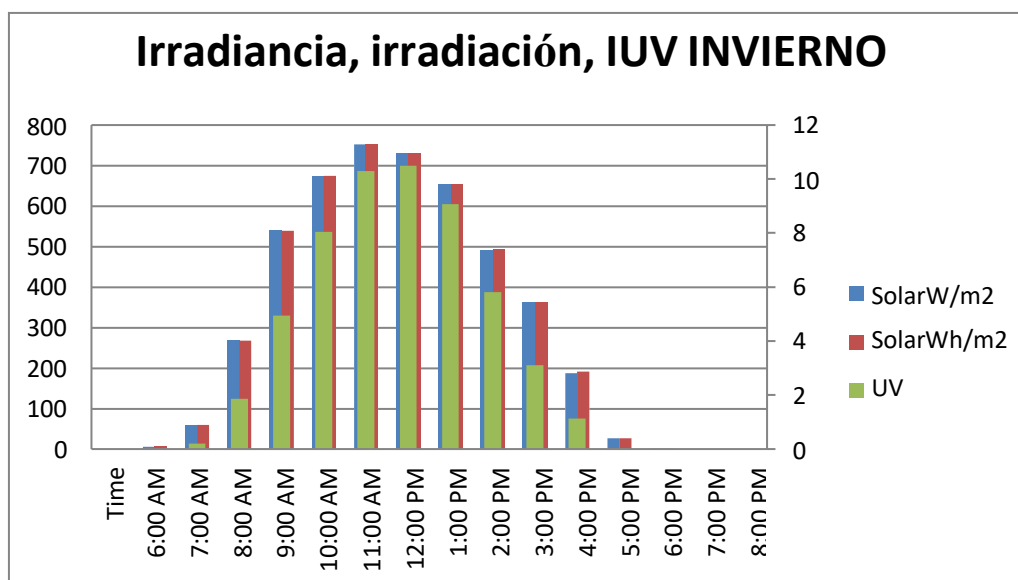


Figura 100 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para otoño 2016.

Tabla 79 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV invierno 2016.

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
INVIERNO		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	6,470932371	6,479049595	0
	7:00 AM	60,19270656	60,40197416	0,214030843
	8:00 AM	268,5684564	268,4677116	1,8570515
	9:00 AM	539,4046265	539,2004866	4,953723826
	10:00 AM	674,8650184	674,6124569	8,05178056
	11:00 AM	752,6536361	752,3599306	10,29000566
	12:00 PM	730,6674165	730,3576644	10,49656126
	1:00 PM	655,1068987	654,8631188	9,068278594
	2:00 PM	492,2584677	493,8758179	5,812407329
	3:00 PM	361,5095289	362,0656761	3,113861771
	4:00 PM	188,0937182	191,8308871	1,13452957
	5:00 PM	26,47681098	26,63038574	0,033839842
	6:00 PM	0,517190153	0,501383735	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

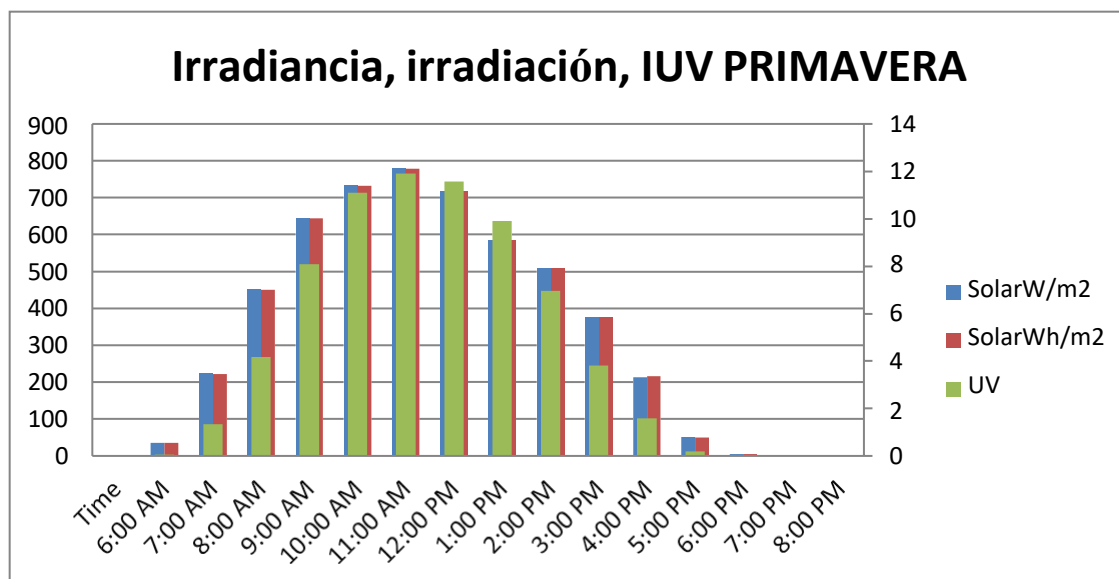


**Figura 101 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para invierno**

**Tabla 80 Valores horario promedio de Irradiancia, Irradiación e IUV primavera 2016.**

Fecha	Hora	Irradiancia	Irradiación	UV
PRIMAVERA		W/m <sup>2</sup>	Wh/m <sup>2</sup>	Index
promedio	6:00 AM	35,72324976	35,71805059	0,053877456
	7:00 AM	223,687358	222,0278289	1,343625764
	8:00 AM	450,0427357	449,8684329	4,162453765
	9:00 AM	644,2534446	644,0123075	8,074944163
	10:00 AM	732,0318009	731,7498976	11,0854031
	11:00 AM	778,6230141	778,3323363	11,91560772
	12:00 PM	716,9452669	716,676307	11,56409695
	1:00 PM	583,7304017	583,5171528	9,893413466
	2:00 PM	508,0458565	507,8996333	6,968196632
	3:00 PM	375,3788466	375,2427283	3,802965869
	4:00 PM	213,0812691	215,6526614	1,577662681
	5:00 PM	50,95451769	49,7801579	0,191688377
	6:00 PM	4,407980846	4,399762141	0
	7:00 PM	0	0	0
	8:00 PM	0	0	0

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



**Figura 102 Evaluación horaria promedio de la Irradiancia, Irradiación, IUV para primavera 2016.**

La OMS ha conminado a los gobiernos de los distintos países a mantener informada a su población sobre el pronóstico para cada día del índice UV, o bien informar sobre cuál es el índice UV en cada momento del día. El estudio se sustenta en los datos registrados por la estación meteorológica marca Davis, Weatherlink y procesados mediante data logger & software for vantage pro2, ubicada en las instalaciones del Centro de Capacitación para el desarrollo (CECADE) Qosqo Yachay Wasi ([www.cuscosolar.org](http://www.cuscosolar.org)), ubicado en el distrito de Yaurisque (30 km al SO de la ciudad del Cusco), provincia de Paruro, departamento Cusco, cuyas coordenadas geográficas son:

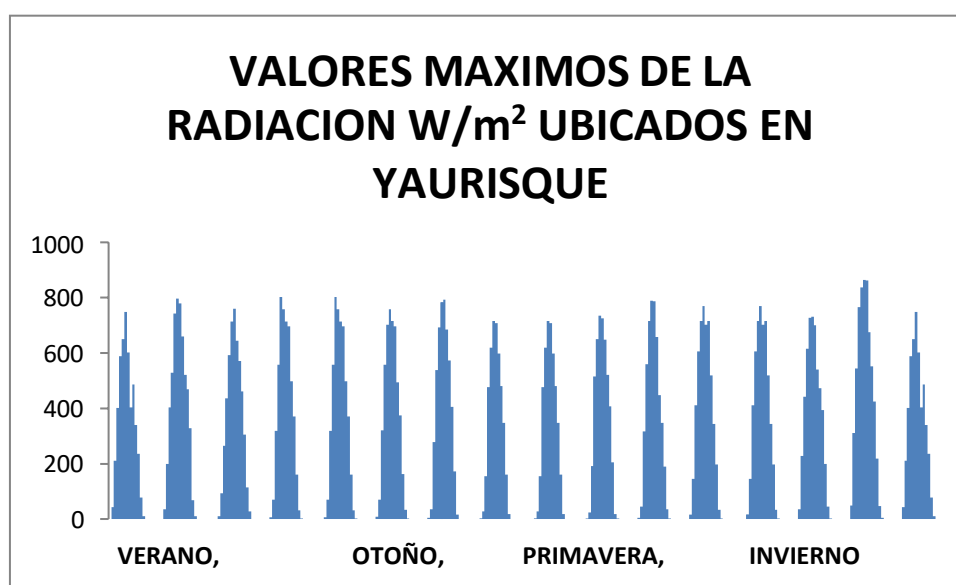
Altitud : 3330 m, Longitud : 71° 51' 6,59" O , Latitud : 13° 39' 37,24" SSe

tiene la proyección para el día 23 de Agosto Máximo IUV: 13,5 = 14

Sin embargo, no siempre es posible consultar los índices, pero lo que hay que retener es que las horas centrales del día (10 de la mañana a 4 de la tarde) son las que suelen presentar mayor índice de radiación UV, como se puede observar en el ejemplo de la gráfica, donde se presenta cómo se distribuye la magnitud de radiación solar en un día.

Además de las horas centrales del día, en verano es aún más intensa la radiación solar, al igual que en lugares con mayor altitud respecto al nivel del mar, como lo son las zonas alto andinas.

Es importante tener en cuenta que los días nublados también existe radiación UV, las nubes dejan pasar el 90% de la radiación y por ello es necesario protegerse.



**Figura 103** Valores máximos de IUUV 2016.

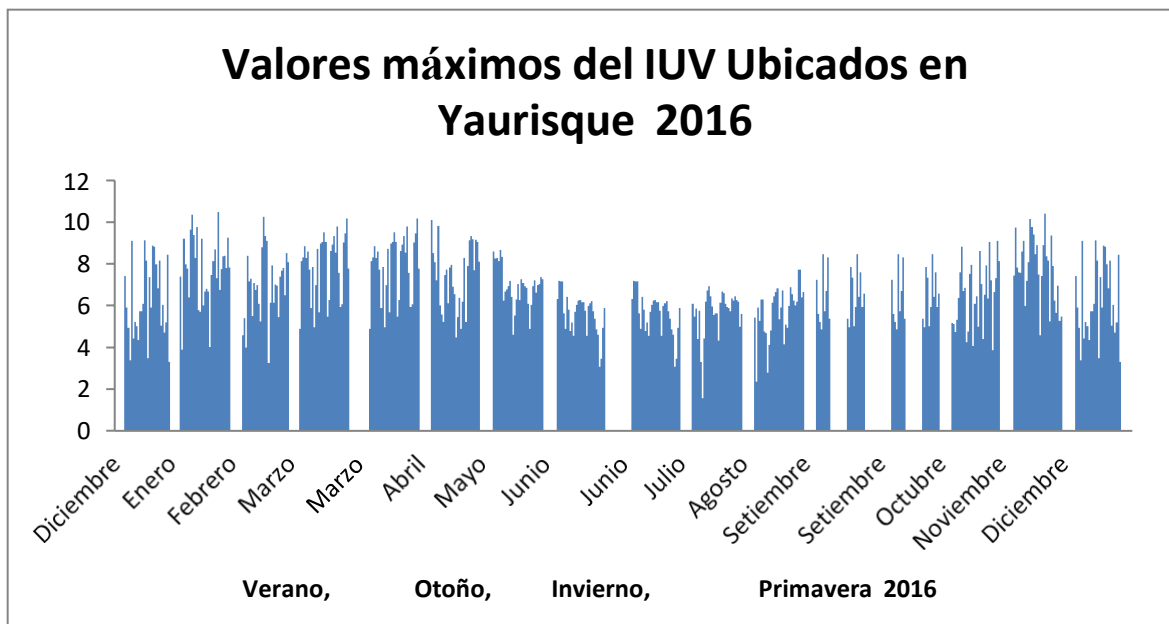
**Tabla 81 Valores horario promedio mensual del IUV para las estaciones meteorológicas 2016.**

VERANO	MARZO	
mensual		UV
Date	Time	Index
promedio	12:00 PM	13,02666667
OTOÑO	ABRIL	
mensual		UV
Date	Time	Index
promedio	11:00 AM	13,03666667
INVIERNO	SETIEMBRE	
mensual		UV
Date	Time	Index
promedio	11:00 AM	11,5289474
PRIMAVERA	NOVIEMBRE	
mensual		UV
Date	Time	Index
promedio	11:00 AM	13,59833333

En la ilustración de valores máximos se puede apreciar que los valores del IUV registrados en el distrito de Yaurisque 2016 demuestran que durante la mayor parte del año existe un nivel de riesgo elevado de generar lesiones cutáneas por la exposición sin protección a la radiación solar ultravioleta.

Para la irradiancia UV el valor máximo se registró en el mes de noviembre con un valor de 13,5983333 = 14 y un mínimo en el mes de Setiembre con un valor de 11,5289474 = 12. Los valores máximos ocurrieron en primavera mientras que los valores mínimos en los meses de invierno (Tabla de estaciones meteorológicas promedio). La variación estacional es resultado de factores como la masa óptica de aire debido al ángulo cenital y otros factores atmosféricos como la nubosidad y los aerosoles.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.



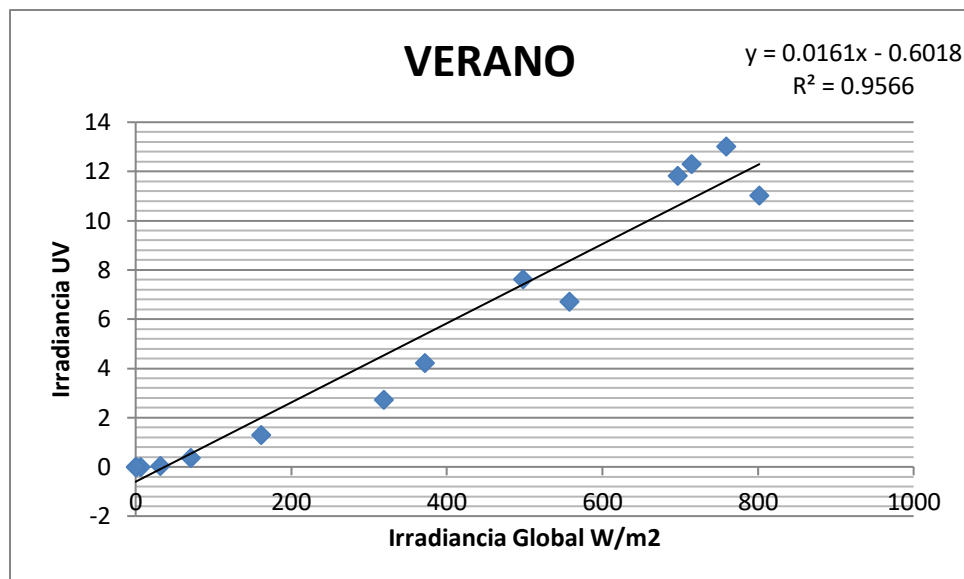
**Figura 104** Valores máximos de IUV 2016. Fuente propia Yaurisque 2016

Como se observa en las figuras 97,98,99 el comportamiento de la radiación global y ultravioleta siguen las mismas secuencias de oscilación; lo que comprueba la hipótesis de que se pueden establecer relaciones empíricas entre ambas variables. Diversos estudios han comprobado que la radiación solar global, así como la radiación solar ultravioleta tiene una relación de tipo lineal representada por la ecuación 5.4.1.

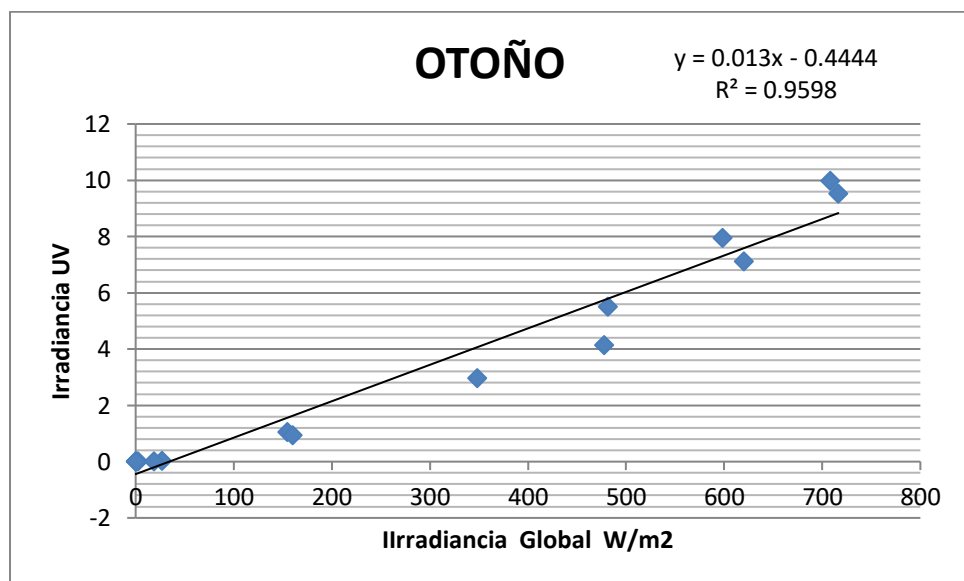
5.6. Relación de tipo lineal de la radiación solar global así como la radiación solar ultravioleta

$$H_{UV} = m.H_G \quad (5.4.1)$$

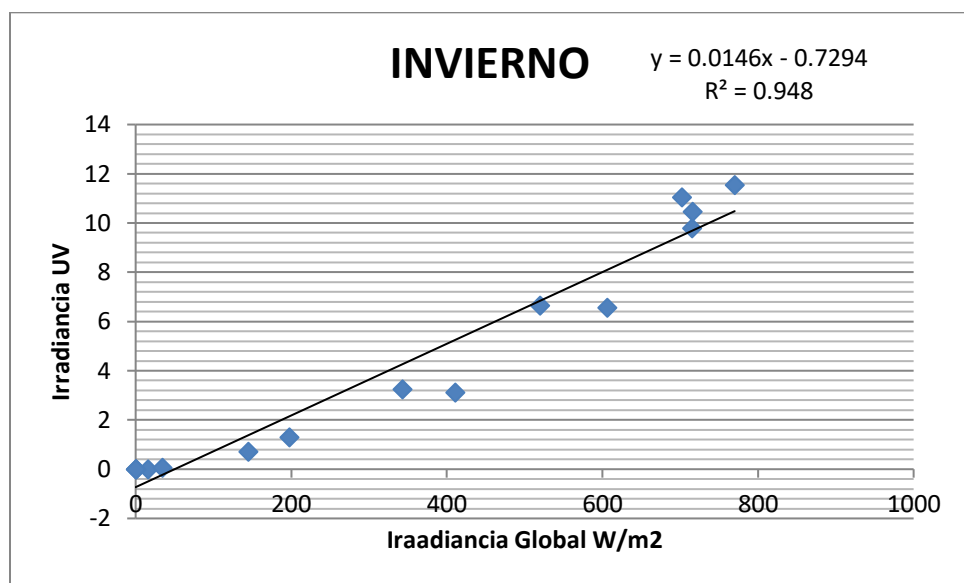




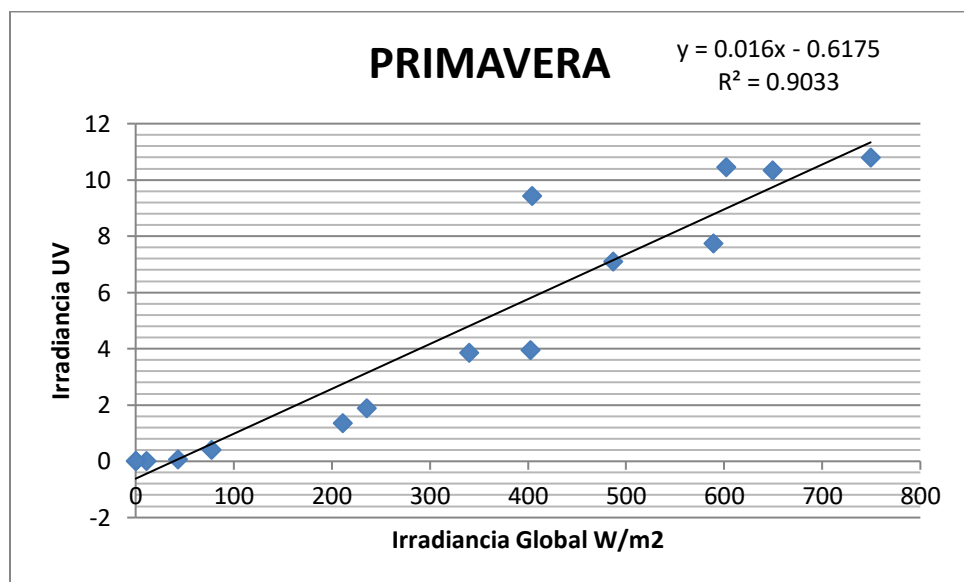
**Figura 105** Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, verano.



**Figura 106** Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, otoño.



**Figura 107 Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, invierno.**



**Figura 108 Modelo lineal de la Radiación Ultravioleta como función de la Radiación Global, primavera.**

Para el caso del Distrito de Yaurisque se buscó la correlación de linealidad estacional para el año 2016 y se encontró los siguientes resultados: lo que demuestra que este método de correlación lineal puede ser aplicado para hallar la radiación UV en lugares donde no se cuente con equipos que midan este tipo de radiación.

$$U_v = a + b R_G$$

**Tabla 82 Valores de la correlación de linealidad estacional para el año 2016.**

Estación del Año	Pendiente (m)	Coefficiente de Correlación ( $R^2$ )	Ajuste
Verano	0,0161	0,9566	$H_{UV} = 0,0161H_G$
Otoño	0,013	0,9598	$H_{UV} = 0,013H_G$
Invierno	0,0146	0,948	$H_{UV} = 0,0146H_G$
Primavera	0,016	0,9033	$H_{UV} = 0,016H_G$

Modelo lineal entre radiación Global y la radiación Ultravioleta en el Distrito de Yaurisque

Se obtuvieron pendientes de 0,0161; 0,013; 0,0146; 0,016 para la dependencia entre la radiación Ultravioleta y la radiación Global que depende de la nubosidad los aerosoles y otros factores que contribuyen a la atenuación de la radiación Ultravioleta.

En el caso de verano la dependencia entre la radiación Ultravioleta con respecto a la radiación Global resulta de un 95,66 % y por tanto un 3,34 % dependerá de otros factores.

En otoño se registró un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de un 95,98 %, se observa que es el más alto con relación a las demás estaciones, por lo que un 4,02 % será debido a los demás factores que influyen en la atenuación o incremento de la radiación Ultravioleta.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

En invierno se registró un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de un 94,8 % se observa que un 5,2 % será debido a los demás factores que influyen en la atenuación o incremento de la radiación Ultravioleta.

En primavera se registró un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de un 90,33% se observa por lo que un 9,67 % será debido a los demás factores que influyen en la atenuación o incremento de la radiación Ultravioleta.

De las figuras 106, 107, 108, 109 se puede visualizar una tendencia de crecimiento de UVB durante el año 2016 ,podemos realizar un ajuste por mínimos cuadrados para encontrar una regla de tendencia del UVB observando que los datos están dispersos 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  $-2 \text{ W / m}^2$  y así poder tener un ajuste con menor grado de dispersión.

Al observar la ecuación de regresión se observa que hay un incremento de radiación  $UV = f(R_G)$

Se logro aplicar el modelo matemático de regresión lineal para el cálculo de la variable UV, graficando la radiación UV para el año 2016; con valores medidos y calculados; se observa un comportamiento similar entre las curvas, validando de esta manera la ecuación. lo que demuestra que este método de correlación lineal puede ser aplicado para hallar la radiación UV en lugares donde no se cuente con equipos que midan este tipo de radiación.

$$Uv = a + b R_G$$

En cantidades pequeñas las radiaciones ultravioletas son beneficiosas para la salud y desempeñan una función especial en la producción de vitamina D, sin embargo la exposición excesiva a ellas se relaciona con diferentes tipos de cáncer cutáneo, quemaduras , envejecimiento , cataratas y otras enfermedades según indica la OMS.

### Discusión de la variación de la dosis UV en las estaciones del año 2016.

En verano del 2016, la dosis UV fue de 12 horas, es decir, desde las 06:00 a. m. hasta las 06:00 p. m., llegó a su nivel más alto de 713,298424 Wh/m<sup>2</sup> a las 12:00 pm.

VERANO		SolarW/m <sup>2</sup>	SolarWh/m <sup>2</sup>	UV
Date	Time	Rad.	Energy	Index
promedio	12:00 PM	714,1079023	713,298424	11,89310669

En otoño, la dosis UV fue aproximadamente de 11,5 horas, de 06:30 a. m. hasta las 06:00 p. m., llegó a su valor máximo de 751,5536256 Wh/m<sup>2</sup> a las 11:00 a m.

OTOÑO		SolarW/m <sup>2</sup>	SolarWh/m <sup>2</sup>	UV
Date	Time	Rad.	Energy	Index
promedio	11:00 AM	754,1051075	751,5536256	11,90102151

En invierno, la dosis UV fue de 12 horas, desde las 06:00 a. m. hasta las 06:00 p. m. a las 12:00 p.m. registró su valor máximo de 730,3576644 Wh/m<sup>2</sup>.

INVIERNO		SolarW/m <sup>2</sup>	SolarWh/m <sup>2</sup>	UV
Date	Time	Rad.	Energy	Index
promedio	12:00 PM	730,6674165	730,3576644	10,49656126

En primavera, la dosis UV fue de un promedio de 12 horas desde las 06:00 a. m. hasta las 06:00 p. m, su valor máximo de 778,3323363 Wh/m<sup>2</sup> lo alcanzó a las 11:00 a. m.

PRIMAVERA		SolarW/m <sup>2</sup>	SolarWh/m <sup>2</sup>	UV
Date	Time	Rad.	Energy	Index
promedio	11:00 AM	778,6230141	778,3323363	11,91560772

## Estadísticas sobre el daño que ocasionan los Rayos UV a personas y plantas – Yaurisque 2016.

Índice de Radiación Ultravioleta IUV, según promedio mensual año 2016

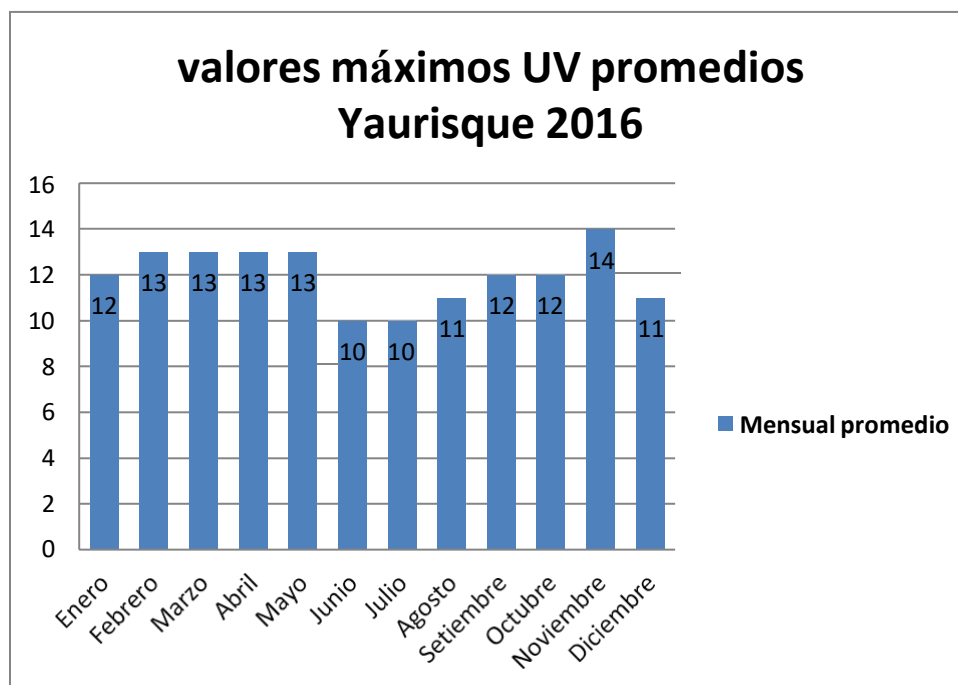


Figura 109 Fuente propia en base a datos de CECADE.

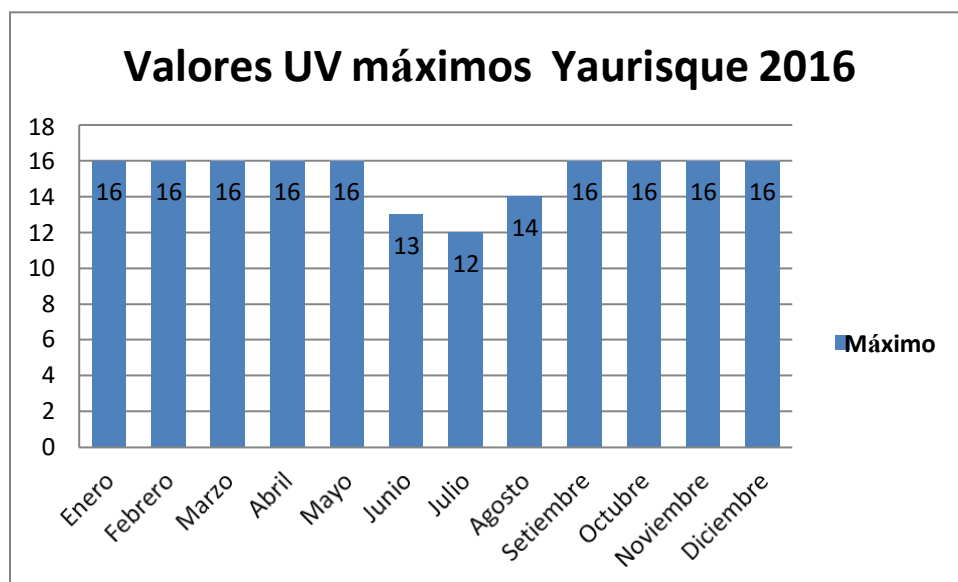


Figura 110 Fuente propia en base a datos de CECADE.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

El monitoreo por el CECADE en el distrito de Yaurisque provincia de Paruro (Cusco) corresponde al mes de julio del 2016 fue de un índice muy alto para la salud el cual fue de 10 mensual promedio y 12 máximo de nivel de radiación ultravioleta (UV - B) el índice tuvo un aumento del 25 % en el mes de noviembre de 14 mensual promedio y 16 máximo que es extremadamente alto peligroso para la salud del poblador de Yaurisque.

Es decir que los resultados superan los IUV permitidos por la OMS.

Para los meses del año 2016 se reportan emergencias ocurridas que fueron ocasionadas por fenómenos naturales, como lluvias intensas, deslizamientos inundaciones, vientos fuertes, derrumbes que causan daños a las plantaciones en Yaurisque , heladas en los meses de junio, julio monitoreadas por la estación CECADE, las temperaturas más bajas se registraron en el mes de julio temperatura mínima – 0,9 °C y temperatura máxima 21,6 °C que afectan considerablemente a las plantaciones.

## CONCLUSIONES

1. – Los niveles de radiación ultravioleta en el distrito de Yaurisque registrados por la estación meteorológica de CECADE. en el periodo 2016 llegaron a categorías altas , muy altas y extremas .Durante el año 2016 los valores de índice UV mensual fueron respectivamente :

IUUV -B		
Mes	Mensual promedio	Máximo
Enero	12	16
Febrero	13	16
Marzo	13	16
Abril	13	16
Mayo	13	16
Junio	10	13
Julio	10	12
Agosto	11	14
Setiembre	12	16
Octubre	12	16
Noviembre	14	16
Diciembre	11	16

Sin embargo, durante los meses de noviembre y julio el valor de índice ultravioleta entre las 10 am y 14 pm fueron los mas altos de 16 y 12 llegando a la categoría extrema señalado por la OMS. (11+).

2.- En el Distrito de Yaurisque, se considera la mayor intensidad de radiación solar entre las 10 am y 14 pm del día, como consecuencia de esta radiación se generan daños causados a largo plazo.

En cantidades pequeñas, las radiaciones ultravioletas son beneficiosas para la salud y desempeñan una función esencial en la producción de vitamina D. Sin embargo, la exposición excesiva a ellas se relaciona con diferentes tipos de cáncer cutáneo, quemaduras de sol,

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro,  
departamento Cusco.



envejecimiento acelerado de la piel, cataratas y otras enfermedades oculares. También se ha comprobado que estas radiaciones aminoran la eficacia del sistema inmunológico; se considera que el cáncer de piel se puede desarrollar en todas las personas, sin embargo, los hábitos y actitudes de los habitantes frente a las medidas de fotoprotección no son los adecuados.

En cuanto los daños a la naturaleza se tienen los efectos de la radiación UV en plantas provocando cambios en su composición genética en altos niveles de radiación, además de pérdidas de cosechas, etc.

3.- A partir del estudio estadístico preliminar de la radiación solar total y ultravioleta se extrae que las distribuciones presentan el mayor grado de estabilidad durante el periodo de verano y nuevamente en el caso de la radiación horaria en las horas centrales del día.

Con los resultados obtenidos en este trabajo de investigación se obtuvo un modelo lineal para la obtención de valores de radiación ultravioleta a partir de datos de radiación global con un grado de aproximación alto, principalmente para la época de otoño donde se presenta un error sistémico, aunque haya habido presencia de nubosidad, en los cielos existe una fracción mayor de la componente directa de la radiación global respecto de la radiación difusa; lo que ocasiona que la radiación ultravioleta alcance valores más altos, que si hubiera un cielo totalmente despejado. Esto es debido a que ocurre un efecto espejo que aumenta la reflexión de la radiación UV, por tanto, la cantidad de radiación UV recibida en la superficie terrestre será mayor,

Para el caso de Yaurisque se obtuvo la correlación de linealidad estacional para el año 2016.

Verano	$y = 0.0161x - 0.6018$	$R^2 = 0.9566$
Otoño	$y = 0.013x - 0.4444$	$R^2 = 0.9598$
Invierno	$y = 0.0146x - 0.7294$	$R^2 = 0.948$
Primavera	$y = 0.016x - 0.6175$	$R^2 = 0.9033$

## RECOMENDACIONES.

- Se debe evitar la sobreexposición a la radiación ultravioleta ya que su efecto es perjudicial para la salud, así que para protegerse adecuadamente se recomienda el uso de camisa, bloqueadores, sombrero y lentes especiales.
- Tratar de ponerse a la sombra durante las horas centrales del día, ya que los rayos ultravioletas del sol son más intensos y que la aplicación de bloqueadores no es para prolongar la exposición al sol, sino para reducir el riesgo de que perjudique su salud.
- Se debe educar y capacitar a toda la población sobre los efectos de la radiación ultravioleta y formar conductas de protección personal asociadas al índice ultravioleta global.
- Dado el elevado desconocimiento en la población se deben encauzarse campañas de educación ambiental y prevención.

## SUGERENCIAS

1. Para tener una idea más conveniente de la variación del índice UV y la dosis UV se debe procesar información de un mayor número de años, por lo que los futuros profesionales deben hacer trabajos de investigación referentes a este tema, que es de sumo interés para de la comunidad en general, por los cuidados que implica la peligrosidad de la radiación ultravioleta.

2. Se debe hacer difusión del peligro que representa la radiación ultravioleta a fin que la población haga un hábito de protección ya sea usando ropa con manga larga o sombrero a parte de los bloqueadores; de igual manera de no exponerse al sol en tiempos prolongados.

3. Es conveniente realizar investigaciones acerca de la implicancia de la radiación ultravioleta sobre la mutación de seres vivos sea vegetales o animales.

## Glosario de términos

- ✓ **IUV.** - Es la abreviatura de radiación ultravioleta.
- ✓ **UV.** - Ultravioleta.
- ✓ **RUV.** - Radiación ultravioleta
- ✓ **UV - A.** - radiación Ultravioleta de tipo A.
- ✓ **UV - B.** - radiación Ultravioleta de tipo B.
- ✓ **UV - C.** - radiación Ultravioleta de tipo C.
- ✓ **W / m<sup>2</sup>.** - Es la unidad de medida de Watts por metro cuadrado.
- ✓ **km / s.** - Es la unidad de medida de kilómetros por segundo.
- ✓ **J / m<sup>2</sup>.** - Joule por metro cuadrado.
- ✓ **m.s.n.m.** - Metros sobre el nivel del mar.
- ✓ **NASA.** - National Aeronautics and Space Administration.
- ✓ **nm.** - Unidad de nanómetros que equivale a una milmillonésima de metro.
- ✓ **µm.** - Unidad de medida micrómetro.
- ✓  **$E_{\lambda}$**  . - Unidad de medida de irradiancia espectral solar expresada en W/ m<sup>2</sup> nm
- ✓  **$\lambda$**  . - Unidad de longitud de onda.
- ✓ **Ser( $\lambda$ ).** - Es el espectro de acción de referencia para el eritema.
- ✓ **Ker.** - es una constante igual a 40 m<sup>2</sup> / W.
- ✓ **OMS.** - Organización Mundial de la Salud.
- ✓ **OMM.** - Organización Meteorológica Mundial.
- ✓ **UNEP.** - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- ✓ **CNIRP.** - Comisión Internacional de Protección contra Radiaciones No Ionizantes.
- ✓ **eV.** - Es la unidad de energía (Electrón voltio).
- ✓ **CECADE.** - Centro de Capacitación y Desarrollo.

## Bibliografía

(OMS), O. M. (2014). Índice UV Solar Mundial (Guía práctica). *Programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PUNUMA)*.

Aceituno, M., & Buendía, E. (2010). *Evaluación de la Incidencia del cáncer de piel 1978-2002*. Elsevier.

Ambiente, M. d. (2011). *Compendio de la Legislación Ambiental Peruana*. Lima: Dirección General de Políticas, Normas e Instrumentos de Gestión Ambiental del Ministerio del Ambiente Primera Edición.

Blesa, M., Navntoft, C., & Dawidowski. (2008). Modelado de la radiación solar UV para aplicaciones en tratamiento de aguas. *Solarsafewater*.

Duffie, J., & Beckman, W. (1974). *Solar Energy Thermal Processes*. London : Jhon Wiley & SONS.

Flores , Urquiaga , Hipolito (2012) . Registro y Análisis del Tiempo Atmosférico en la Ciudad de Trujillo Durante el Año 2012.

Grossi, H. (2001). *Medición de la Radiación solar en la superficie de la tierra. Instrumental y errores asociados*. Santa Cruz: III Jornadas Iberoamericanas sobre energías renovables.

Iqbal, M. (1983). *An Introduction to solar radiation* . Academic Press.

Hernández Sampieri, Fernández Collado, Baptista Lucio (2014) *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN*

Minas, S. N. (2003). *Electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú*. Lima: Atlas de energía Solar.

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, provincia de Paruro, departamento Cusco.

Pereira, C. (1996). *Radiación Solar, Ingeniería del secado solar CYTED-D*. Nuevas fuentes y conservación de energía.

Pulgar, J. (1985). *Regiones Naturales del Perú*. Lima.

Risco Franco, Francisco (2009) . *Estimación de la Radiación UVB con Dependencia del Ángulo Cenital para la Ciudad de Chimbote*

Técnica, G. (2011). Guía Técnica radiación ultravioleta de origen solar. *Minsal Santiago de Chile*.

Zanabria, P. (2003). *Radiación Solar en el Cusco, Memorias del X Simposio Peruano de energía solar, Cusco*. Cusco.

Environmental Protection Agency (EPA). (2014). Programa SunWise – Cómo se calcula el índice UV. Recuperado de: <http://www.epa.gov/sunwise/es/calcula.html> 10.

Estrella M. (2008). Modelo de Radiación Ultravioleta: Aplicación a la Península Ibérica.

Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España

Páginas webb consultadas:

<http://usuario.cicese.mx/~sreyes/LIBRO%20METEOROLOGIA/Meteo2.pdf>

<http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/2713/b15236572.pdf?sequence=1>

<http://aa.usno.navy.mil/faq/docs/SunApprox.html>.

<http://susdesign.com/sunangle/>

<http://www.cs.ucla.edu/~simonw/sunpos/>

<http://www.mimeteo.com/blog/tiempo-y-clima/estacione>

**ANEXOS****MEDIOS DE VERIFICACION.**

*Pobladores en Centro de Salud de Yaurisque*



*Estación meteorológica de CECADE YAURISQUE, PARURO, CUSCO 2016.*

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, Provincia de Paruro, departamento Cusco.



*Pobladores de Yaurisque – Paruro que presentan quemaduras por radiación UV*



Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, Provincia de Paruro, departamento Cusco.





*Visita al centro poblado de Yaurisque – Paruro 2016*



*Equipos de Estación Meteorológica Automática DAVIS modelo Vantage Pro2 de CECADE*

Estudio de la radiación solar ultravioleta en el distrito de Yaurisque, Provincia de Paruro, departamento Cusco.