

# CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA-B EN LA CIUDAD DE TACNA, PERIODO: 2012-2014

## QUANTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF ULTRAVIOLETA-B RADIATION IN THE CITY OF TACNA, PERIOD: 2012-2014

Carlos Polo-Bravo<sup>1\*</sup> , Guadalupe Miranda-Espinoza<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú

<sup>2</sup>Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, (SENAMHI), Tacna-Moquegua Perú

Recibido (Received): 21/02/2020 Aceptado (Accepted): 05/03/2020

---

### RESUMEN

El objetivo es cuantificar y caracterizar la radiación ultravioleta B sobre la ciudad de Tacna utilizando la información básica de radiación ultravioleta B (UV-B) correspondiente al periodo 2012 – 2014, registrada en la estación meteorológica agrícola principal MAP-Jorge Basadre Grohmann, ciudad de Tacna, operada por el SENAMHI, a través de la medición del índice de radiación ultravioleta (IUV). Los índices de radiación ultravioleta B determinados a nivel diaria, mensual, estacional y multianual alcanzaron valores máximos de 8 a 10 a niveles de riesgo muy alta y de 11 a niveles de riesgo extremadamente alta en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre con frecuencias de ocurrencia 67 % y 33 %, mientras que los índices mínimos registrados fueron de 3 a 5 con nivel de riesgo moderada en los horarios de 8:00 h y 17:00 h, con frecuencias del 40 % y 83 % durante los meses de junio y julio respectivamente. Los resultados obtenidos constituyen indicadores importantes para tomar medidas de prevención para la población frente a la exposición a la radiación ultravioleta UV-B y minimizar sus efectos dañinos por exposición contra la salud.

**Palabras clave:** índice de radiación, radiación ultravioleta, monitoreo, niveles de riesgo

### ABSTRACT

The objective is to quantify and characterize the ultraviolet B radiation on the city of Tacna using the basic ultraviolet B (UV-B) radiation information corresponding to the period 2012 - 2014, registered in the main agricultural meteorological station MAP-Jorge Basadre Grohmann, city of Tacna, operated by SENAMHI, through the measurement of the ultraviolet radiation index (IUV). The ultraviolet B radiation indices determined at the daily, monthly, seasonal and multi-annual levels reached maximum values of 8 to 10 at very high risk levels and 11 at extremely high risk levels in the months of January, February, November and December with frequencies of occurrence 67% and 33%, while the minimum rates recorded were 3 to 5 with a moderate level of risk in the hours of 8:00 am and 5:00 pm, with frequencies of 40% and 83% during the months of June and July respectively. The results obtained constitute important indicators to take preventive measures for the population against exposure to UV-B ultraviolet radiation and minimize its harmful effects on health.

**Keywords:** radiation index, ultraviolet radiation, monitoring, risk levels

---

\* Corresponding author.:  
E-mail: polodomando@gmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

La radiación ultravioleta (UV) es una forma de energía radiante que cubre el rango de longitudes de onda entre los 100 y 400 nanómetros correspondiente a una energía de aproximadamente 12 eV, el ozono atmosférico absorbe completamente la radiación entre 100 y 280 nm, mientras que para el rango entre los 280 y 315, la atmósfera absorbe casi el 90 % de esta radiación denominada UV-B. Dado que la cantidad de radiación UV-B que llega a la superficie está fuertemente relacionada con la capa de ozono, una reducción en esta capa implicará un aumento en la radiación que llega a la superficie terrestre. La radiación UV del espectro electromagnético emitido por el sol se divide en tres bandas siguientes: UV-A (315-400) nm, UV-B (280-315) nm y UV-C (100-280) nm, según la EPA [1], OMS [16]. Esta radiación se puede medir como una irradiancia incidente (potencia por unidad de área) expresada en  $W/m^2$ , o como una exposición radiante, o dosis de energía que incide por unidad de área de superficie durante un periodo de tiempo, expresada en  $J/m^2$  de acuerdo a la OMM [17, 18], Aguilera [2], Calle [3].

El progresivo deterioro que ha sufrido la capa de ozono en las últimas décadas tiene consecuencias importantes sobre los seres vivos en la Tierra, debido al incremento de la radiación ultravioleta B (280- 320 nm) la cual es principalmente absorbida por el ozono estratosférico, Cora [6], Chasseriaux [4].

En este contexto, se ha desarrollado el presente trabajo de investigación bajo el objetivo de determinar en el periodo 2012-2014 el índice de radiación ultravioleta B incidente (IUV-B) y la categoría de exposición determinada por cuatro colores: verde (baja), amarillo (moderada), naranja (alta), rojo (muy alta) y morado (extremadamente alta) fijados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), sobre la ciudad de Tacna, capital de la región Tacna, ubicada en el sur del Perú, frontera con Chile y Bolivia, sobre los 520 msnm, en la cabecera del desierto de Atacama, procesando los datos horarios registrados por el SENAMHI Tacna del IUV-B en dicho periodo, a efectos de la caracterización diaria, mensual, estacional, anual e interanual de dichos parámetros.

## 2. ANTECEDENTES

El SENAMHI, cuenta con una estación de vigilancia atmosférica global (VAG), ubicada en Junín Marcapomacocha en la sierra central del Perú

considerada la más alta del mundo a 4470 msnm, cuenta con el espectrómetro Dobson el cual mide la cantidad de ozono total en la atmósfera. Los niveles máximos y mínimos de ozono registrados en la Marcapomacocha fueron inferiores al promedio entre los años 1964-1992, pero en ningún momento fueron menores a los 220 UD que es el valor estación límite para determinar si una región presenta el agujero en la capa de ozono, Plasencia [19].

La radiación ultravioleta depende de los factores que determinan la intensidad en superficie tales como: altura del sol, latitud, nubosidad, altitud, el ozono, la reflexión por el suelo o albedo, material particulado constituido por partículas en suspensión (aerosoles) y gases traza ( $SO_2$ ,  $NO_2$ ) producto de la contaminación del aire, OMS [16]. El ozono troposférico absorbe parte de la radiación UV que podría alcanzar la superficie terrestre, la concentración de ozono varía a lo largo del año e incluso del día, aspecto que percibimos las personas cuando nos exponemos al sol por más de cinco minutos.

La información científica demuestra que la exposición excesiva y/o acumulada de radiación ultravioleta de fuentes naturales y/o artificiales produce efectos dañinos a corto y largo plazo, principalmente en ojos y piel, que van desde quemaduras solares, queratitis actínica y alteraciones de la respuesta inmune hasta foto envejecimiento causado por cambios a nivel celular en cada uno de las capas de la piel, del tejido fibroso, cataratas a nivel ocular y tumores malignos de piel. Frente a esta última patología, en las últimas décadas, a nivel mundial ha aumentado el número de casos de cáncer de piel, siendo el más frecuente en la población, según lo establecido por el Ministerio de Salud de Chile [15], Gonzales [10]. Las últimas estadísticas que maneja el Ministerio de Salud del Perú, según la revista Peruana de Dermatología [26], elaboradas en 2014, indican que el cáncer de piel se presenta con más frecuencia en el sexo femenino (54,5 %), de entre 50 y 89 años (78,7 %); y la región que registra más casos es Lima, con 45,9 % de los casos; seguida de las regiones norteñas de La Libertad y Cajamarca, con 14 % y 5 %, respectivamente. Suárez [23], indica que en la región andina del Perú sobre los 3000 msnm el pico de radiación de UV llega hasta 25 puntos durante el mediodía, cuando el sol se encuentra en su máximo apogeo, lo que significa un incremento en el riesgo de cáncer a la piel.

El Perú, es el país más afectado por la incidencia de la radiación UV de mayor actividad, ya que, por su cercanía a la zona ecuatorial y a la presencia de la cordillera de los andes, hacen que nuestro territorio

soporte altos índices de radiación debido a la altura, Suarez [23], según los reportes del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú [25] desde el año 2007 se viene recibiendo niveles de radiación ultravioleta cuyo índice supera el nivel extremadamente alto (11), uno de los más altos a nivel mundial. La región Tacna, debido a que dos terceras partes de su territorio corresponden a zonas áridas y semiáridas, la tercera parte se encuentra situada en la zona alto andina, su configuración geográfica y la complejidad de la variabilidad climática, soporta diferentes niveles de radiación UV, por lo que es importante conocer el comportamiento dinámico del índice anual de la radiación UV-B.

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, según lo indica la OMS [16]. También se ha comprobado que estas radiaciones aminoran la eficacia del sistema inmunitario. La mayor carga de morbilidad causada por la RUV se debe a las cataratas corticales, los melanomas cutáneos malignos y las quemaduras solares, aunque las estimaciones de estas últimas son muy inciertas debido a los escasos datos disponibles EPA [1].

Según la OMM [18] utiliza el término de "epidemia" para calificar el significativo incremento del número de nuevos casos de cáncer cutáneo en los últimos años, una de las primeras causas de mortalidad en el ámbito mundial, hoy en día la radiación ultravioleta asoma como una amenaza real a la salud.

Según estudio de la Dirección de Meteorología de Chile [9], indica la radiación ultravioleta que llega a la superficie diariamente, posee una distribución normal, con valores máximos en las horas centrales del día, correspondiente a los mayores ángulos cenitales solares, es decir, cuando los rayos solares se reciben con mayor perpendicularidad; según la estación de Iquique, durante el verano se registra índices altos, durante el mediodía, con niveles de riesgo alto, muy alto y extremos y durante el invierno índices bajos con nivel de riesgo moderado. En Puno, Perú, Mamani [13] indica que los valores máximos de radiación ultravioleta ocurrieron en la estación veraniega, principalmente en el mes de agosto debido a la presencia de nubosidad, con cielos con 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 a que si

hubiera un cielo totalmente despejado, debido al efecto espejo que aumenta la reflexión de la radiación UV.

En Arica, Chile, ciudad limitante con Tacna para el periodo 2006-2015, Rojas et al. [22], indican que el índice de radiación ultravioleta durante la estación del verano alcanzan máximas medias mensuales de 10 a 12 caracterizado como riesgo Extremadamente Alta y Muy Alto (frecuencias de 84 y 16 % respectivamente); en primavera índices máximas medias mensuales de 8 a 11 caracterizado como riesgo Extremadamente Alta y Muy Alto (frecuencias de 63 y 34 % respectivamente); en otoño se registraron índices máximas medias mensuales de 5 a 9 caracterizado como riesgo Moderado, Alto y Muy Alto (frecuencias de 5,9 %, 57,4 % y 34,2 % respectivamente), y finalmente durante la estación de invierno se registraron índices máximas medias mensuales de 5 a 10 caracterizado como riesgo Moderado, Alto y Muy Alto (frecuencias de 22,5 %, 22 % y 25 % respectivamente).

En Moquegua, la Dirección Regional de Salud [8], informa que el inicio de la estación de la primavera trae como consecuencia un aumento en los niveles de radiación ultravioleta el cual tiene un gran impacto sobre el ecosistema terrestre más aún a la salud de las personas; asimismo, concluye que la radiación ha tenido un incremento desde julio hasta noviembre, esto debido a las condiciones atmosféricas propio de la estación (primavera), observándose que los promedios horarios de RUV durante los meses de julio a diciembre para las 13:00 h, índices que superan valores de +11, con niveles de riesgo extremadamente alta y 14:00 h, índices de radiación muy alta (10 UV). Igualmente se observa una incidencia mínima de exposición de 4UV (Moderada) en el horario de las 13:00 horas mientras que a las 14:00 horas presenta una incidencia mínima de exposición de 3UV (Moderada).

En Piura, Perú, Dedios [7], concluye que existe una influencia horaria en el comportamiento del índice de radiación ultravioleta siendo las horas donde se debe tener un mayor cuidado y protección en la piel entre las 11:00 h a 14:30 h del período observado, febrero es el mes que registra los mayores índices de radiación ultravioleta en costa y sierra. Se corrobora la influencia directa de la altitud sobre los niveles de radiación ultravioleta. La estacionalidad es un factor determinante en el comportamiento del IUV durante el tiempo observado en el que se identifica a los meses entre junio y julio como los de menor registro descartándose durante este tiempo días con niveles extremos de radiación ultravioleta.

Según Suarez [23], en Huancayo, se registraron valores máximos de 18 en días despejados y con

picos de más de 20 unidades, esto debido a la capacidad de dispersión, reflexión y refracción de las nubes acorde con lo reportado por Ccora [6], para una evaluación con énfasis en la región tropical. Esta alta RUV que recibe Huancayo se debe principalmente a la reducida concentración de la capa de ozono y por su ubicación por sobre los 3000 msnm, la altura incrementaría la RUV en 7 % y 2 % cada 1000 m.

El SENAMHI [21], viene monitoreando el comportamiento temporal de la radiación ultravioleta con la información proveniente de su red de 9 estaciones radiométricas a nivel nacional y ha reportado que en el territorio peruano se vienen recibiendo niveles de radiación ultravioleta cuyo índice supera el nivel extremo (11) especialmente en el verano, lo cual se corrobora con los niveles reportados en el mapa mundial sobre la intensidad de la radiación ultravioleta y su variación en todo el planeta.

La Organización Mundial de la Salud, con la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante y la Oficina Federal Alemana para la Protección contra la Radiación, definen una escala de riesgo de un sistema estándar de medición del índice UV y una forma de presentarlo al público incluyendo un código de colores asociado; dicha escala para el Índice UV va de 1 a +11, las cuales están divididas en cinco categorías de exposición, tal como se visualiza en la tabla I.

TABLA I

Escala de categoría de exposición de riesgo de un sistema estándar de medición del índice de radiación ultravioleta, según la OMS y el PNUMA

Categoría de Exposición	Intervalos de valores del IUV
Baja	<2
Moderada	3 a 5
Alta	6 a 7
Muy Alta	8 a 10
Extremadamente Alta	11+

Nota: Identificación de la categoría de exposición e intervalos del IUV. [11].

### 3. METODOLOGÍA

La información empleada en la presente investigación, fue recopilada por el SENAMHI a través de la red de monitoreo de la radiación ultravioleta B en la ciudad de Tacna generada en la estación meteorológica agrícola principal (MAP) Jorge Basadre Grohmann, ubicada en latitud sur 18°01'36", longitud oeste 70°15'2,4", y una altitud de 560 msnm, ciudad universitaria fundo los Pichones, Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann de Tacna,

registrada y almacenada automáticamente a nivel horario, para el periodo (2012 – 2014).

La información recopilada de radiación ultravioleta B, se ha realizado mediante un biómetro, instrumento que sirve para medir los niveles de radiación Ultravioleta, específicamente se trata de un Biometer Solar Light modelo 501, con una constante de calibración del sensor RUV de 3,2271, Ccora [5], [27], consta de un sensor o piranómetro, quien capta los rayos solares ultravioleta en longitudes de onda entre 280–320 nm, un sistema de almacenamiento de datos que registra la información el cual consta de un display y un menú de archivos. El biómetro ha sido calibrado periódicamente cada año, la información recopilada por el biómetro es en unidades de Med/h a nivel de minutos, procesada para luego convertir en índice de radiación ultravioleta, mediante la ecuación:

$$IUV = (\text{Med} / \text{h}) * 0,0583(\text{W}/\text{m}^2) \quad (1)$$

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

## 4. RESULTADOS

### 4.1 CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE DE LA RADIACIÓN UV-B HORARIA PROMEDIO A NIVEL MULTIANUAL (2012- 2014)

En la fig. 1, durante las 11:00 h a 13:00 h el índice de radiación UV promedio a nivel multianual para el periodo (2012-2014) es de 7 a 8 con nivel de riesgo muy alta; asimismo, durante las 10:00 h y 14:00 h de 5 a 6 con nivel de riesgo alta; durante las 09:00 h y 15:00 h de 3 a 4 con nivel de riesgo de moderada, y durante las 07:00 a 08:00 h y 17:00 h, se registraron índices de 1 a 2, con nivel de riesgo baja.

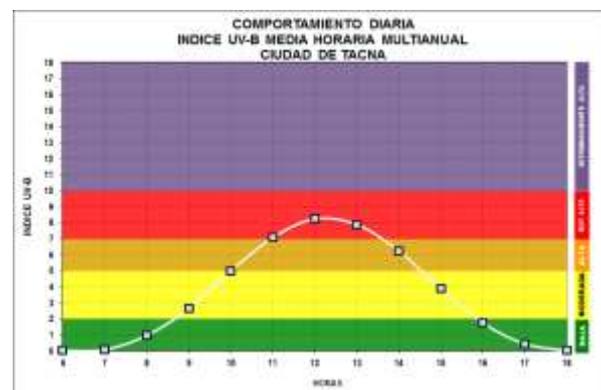


Fig. 1. Caracterización del índice de radiación UV-B horaria promedio multianual y niveles de riesgo para la ciudad de Tacna, periodo (2012-2014).

#### 4.2 CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL UV-B MÁXIMA DIARIA A NIVEL ESTACIONAL MULTIANUAL, PERIODO (2012-2014)

En la fig. 2, se observa el comportamiento de índice de radiación UV-B máxima media diaria multianual durante la estación de verano (del 21 diciembre al 22 de marzo), registra valores de 9 a 12, con niveles de riesgo muy alta y extremadamente alta, se incrementa de marzo a febrero y disminuye ligeramente entre febrero y marzo.

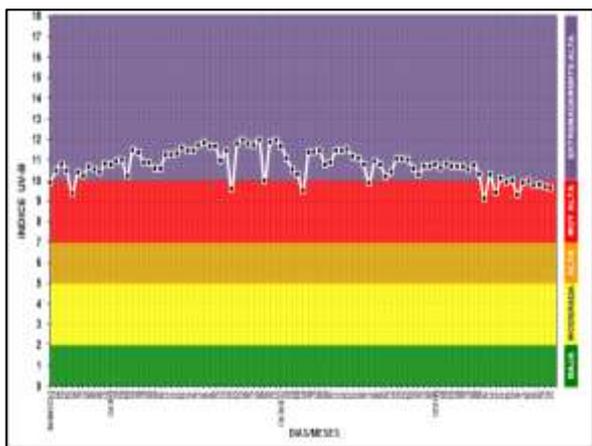


Fig. 2. Caracterización de índice de radiación UV-B sobre la ciudad de Tacna, para la estación de verano, para el periodo (2012-2014).

En la fig. 3, se observa un proceso de descenso de los índices de radiación UV en el periodo de otoño, registrándose valores altos de 10 y 6 con niveles de riesgo muy alta y alta durante los meses de marzo y abril; los valores bajos de 5 a 4 con niveles de riesgo moderada durante mayo y junio.

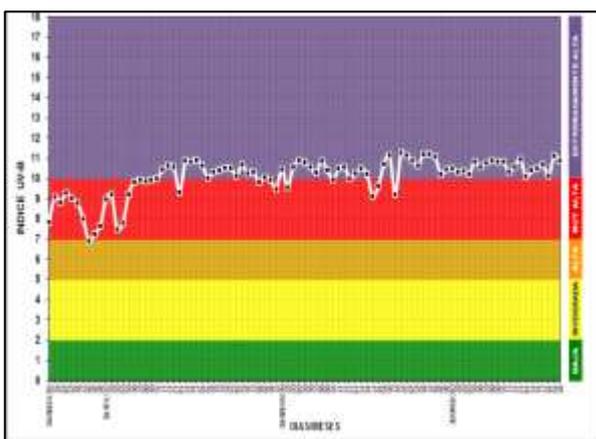


Fig. 3. Caracterización de índice de radiación UV-B sobre la ciudad de Tacna, para la estación de otoño, para el periodo (2012-2014).

En la fig. 4, se observa el comportamiento de índice de radiación UV-B máxima media diaria multianual durante la estación de invierno (del 21 de junio al 20 de setiembre), registrándose valores más

bajos de 5 a 3 con niveles de riesgo moderada entre junio y julio; valores altos de 6 a 9 con niveles de riesgo muy alta y alta entre en agosto y setiembre, desde el inicio de la estación hasta el final los índices de radiación UV se incrementan.

En la fig. 5, se observa el comportamiento de índice de radiación UV-B media diaria multianual para la estación de primavera, registrándose valores bajos de 7 a 9 con niveles de riesgo muy alta en setiembre; mientras que los valores altos de 9 a 11 con niveles de riesgo extremadamente alta y muy alta ocurren en octubre, noviembre y diciembre; entre setiembre y mediados de octubre se incrementa de 7 a 11, para luego permanecer casi constante hasta fines de la estación el 21 de diciembre.

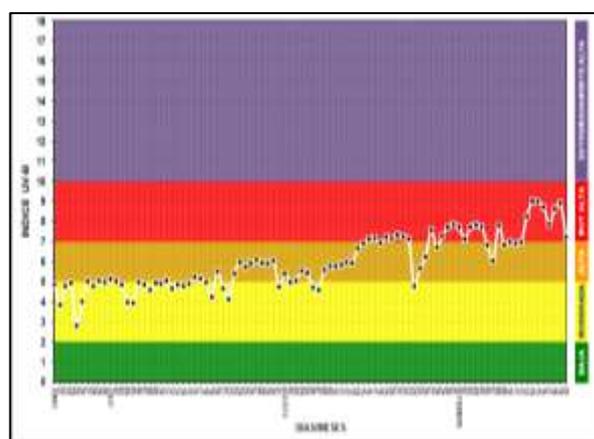


Fig. 4. Caracterización de índice de radiación UV-B media diaria multianual para la estación de invierno, para el periodo (2012-2014) sobre la ciudad de Tacna.

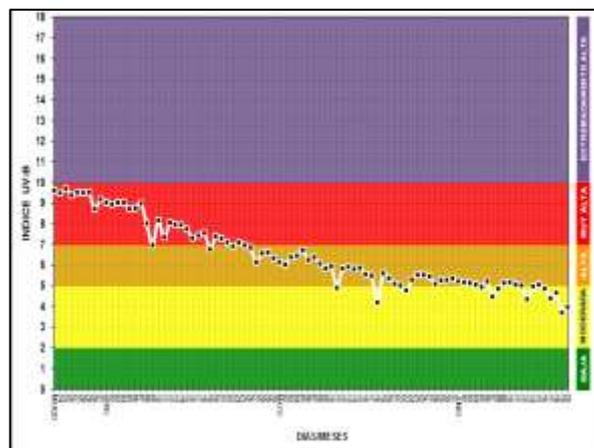


Fig. 5. Caracterización de índice de radiación UV-B máxima media diaria multianual, para la estación de primavera, para el periodo (2012-2014) sobre la ciudad de Tacna.

#### 4.3 FRECUENCIAS DE LOS NIVELES DE RIESGOS PARA EL PERIODO MULTIANUAL 2012 -2014

En la fig. 6, observamos los valores de la variación de la frecuencia de los niveles de riesgo de exposición en función del índice de radiación UV-B

máxima media diaria multianual (2012-2014), durante la estación de verano se tiene que el 67% del periodo registro un nivel de riesgo extremadamente alta y un 33% del periodo registro un nivel de riesgo muy alta.

En la fig. 7, cuantificamos la frecuencia de los niveles de riesgo de exposición en función del índice de radiación UV-B máxima media diaria multianual (2012-2014), durante la estación de invierno, se tiene que el 17% del periodo registra un nivel de riesgo muy alta, el 40% del periodo registra un nivel de riesgo alta, y un 43% del periodo registra un nivel de riesgo moderada.

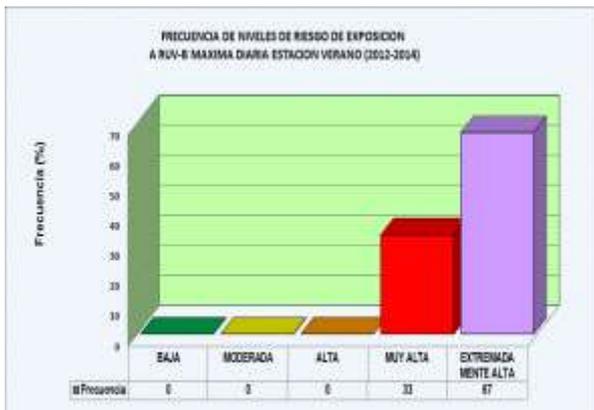


Fig. 6. Frecuencia relativa de niveles de riesgo del índice de radiación UV-B máxima diaria multianual, durante el verano, periodo (2012-2014) sobre la ciudad de Tacna.



Fig. 7. Frecuencia relativa de niveles de riesgo del índice de radiación UV-B máxima diaria multianual, durante el invierno, periodo (2012-2014) sobre la ciudad de Tacna.

#### 4.4 CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE DE LA RADIACIÓN UV-B HORARIA PROMEDIO A NIVEL ESTACIONAL, PERIODO MULTIANUAL (2012- 2014)

En la fig. 8, se observa que en las estaciones de primavera y verano durante las 09:00 h a 15:00 h, se registraron índices de radiación con valores de 6 a 11 con nivel de riesgo alta, muy alta y extremadamente

alta, alcanzando valores máximos en verano; mientras que en las estaciones de invierno y otoño durante las 11:00 h a 14:00 h, se registraron índices de radiación máximos de 5 a 7 con nivel de riesgo moderada y alta, el máximo es ligeramente mayor en otoño.

#### 4.5 CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ÍNDICE UV-B MEDIO MÁXIMO MENSUAL, A NIVEL ANUAL 2012, 2013 Y 2014

En la tabla II, para el año 2012 se muestra el comportamiento de índice de radiación UV-B, en los meses de enero y febrero la media varió de 11 a 12 con nivel de riesgo extremadamente alta; en marzo, abril, setiembre, octubre, noviembre y diciembre la media varió de 8 a 10 con nivel de riesgo muy alta; en mayo

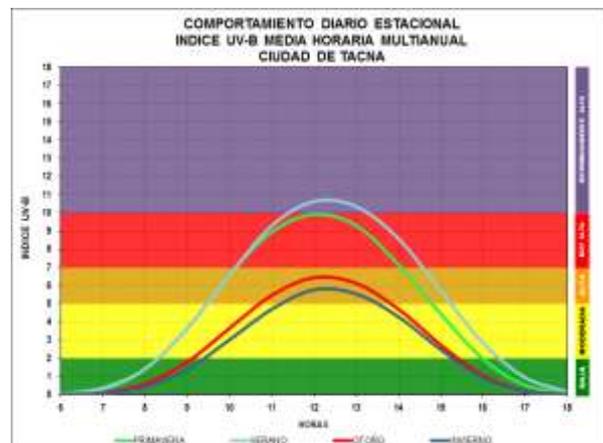


Fig. 8. Caracterización del índice de radiación UV-B horaria promedio a nivel estacional y niveles de riesgos, para el periodo (2012-2014) sobre la ciudad de Tacna.

y agosto la media varió de 6 a 7 con nivel de riesgo alta, y finalmente en junio y julio se tuvo una media de 5 con nivel de riesgo moderada.

Asimismo, para el 2013, durante los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre se registraron valores medios de 9 a 11 con nivel de riesgo extremadamente alta; en marzo, abril, setiembre y octubre se registró una media de 8 a 10 con nivel de riesgo muy alta; en los meses de mayo y agosto se registró una media de 6 con nivel de riesgo alta, y durante junio y julio se tuvo una media de 5 con un nivel de riesgo moderada.

Por otro lado, en la tabla II, para el 2014, se observa el comportamiento de índice de radiación UV-B, durante enero, febrero, noviembre y diciembre se registró una media de 11 con nivel de riesgo extremadamente alta; en marzo y octubre se registró una media de 9 a 10 con nivel de riesgo muy alta; en abril, agosto y setiembre se registró una

media de 7, con nivel de riesgo alta, y finalmente en mayo, junio y julio se registró una media de 5 con

nivel de riesgo moderada.

TABLA II

Valores del Índice UV-B medio máximo mensual (IUVM) y nivel de riesgos, a nivel anual para los años 2012, 2013 y 2014 y la desviación estándar (STD) correspondiente

2012													
Mes	enero	febre	marzo	abril	mayo	Junio	Julio	agosto	Setiem	Octub	novi	Dic	media
IUVM	12	11	10	8	7	5	5	6	8	10	10	10	9
2013													
IUVM	11	11	10	8	6	5	5	6	9	10	11	11	9
2014													
IUVM	11	11	10	7	5	4	5	7	7	10	11	11	8
media	11	11	10	8	6	5	5	6	8	10	11	11	8
STD	0.8	0.2	0.6	1.0	0.5	0.4	0.1	0.4	0.6	0.1	0.2	0.6	0.3

Nota: Valores medio máximo mensual y nivel de riesgos a nivel anual del IUV.

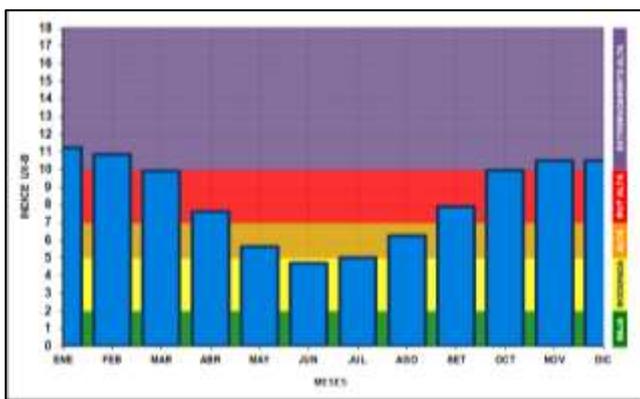


Fig. 9. Variación del índice de radiación UV-B para valores máximos medios mensuales, para el periodo multianual (2012-2014), sobre la ciudad de Tacna.

#### 4.6 CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL IUV-B, MÁXIMA MEDIA MULTIANUAL PERIODO (2012-2014)

En la fig. 9, visualizamos la variación índice UV-B máxima media multianual, durante los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre se registró una media de figura 10, se observa la caracterización de índice de la radiación 11 con nivel de riesgo extremadamente alta; en marzo, abril, setiembre y octubre se registró una media de 8 a 10 con nivel de riesgo muy alta; en mayo y agosto se registró una media de 6, con nivel de riesgo alta, y en junio y julio se registró una media de 5, cuyo nivel de riesgo fue moderada.

#### 4.7 CUANTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL IUV-B MÁXIMOS MEDIOS MENSUALES EXTREMOS EN EL PERIODO MULTIANUAL (2012-2014)

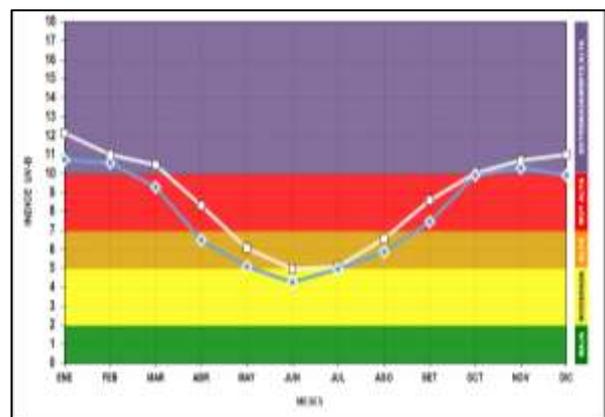


Fig. 10. Variabilidad del índice de radiación UV-B máximo media extremas multianual (2012-2014).

En la fig. 10, se observa la caracterización de índice de la radiación UV-B en valores máximos medios extremos, durante enero, febrero, noviembre y diciembre se registraron valores de 11 a 12 con nivel de riesgo extremadamente alta; en marzo, abril, setiembre y octubre valores de 9 a 10 con nivel de riesgo muy alta; mientras que mayo y agosto registraron valores de 6 a 7 con nivel de riesgo alta; y finalmente, junio y julio el índice varió de 4 a 5 con un nivel de riesgo moderada.

#### 4.8 DESVIACIÓN ESTÁNDAR MULTIANUAL DEL ÍNDICE DE UV- B MÁXIMA MEDIA MENSUAL MULTIANUAL (2012-2014)

En la fig. 10, durante los meses de enero y abril existe mayor variabilidad de radiación UV-B con valores de 0,8 y 1,0; y en los meses de julio, octubre y

noviembre se observa menor variabilidad de UV-B con valores de 0,1 y 0,2.

#### 4.9 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

##### 4.9.1 VARIACIÓN MULTIANUAL DEL ÍNDICE DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA B

A nivel de la ciudad de Tacna, en el periodo de estudio (2012-2014), se ha determinado que el índice de radiación UV máximo media multianual alcanza valor de 8, considerado como riesgo de exposición Muy alto, con una variación interanual de 0,3, el cual permitió determinar los índices extremos multianual, la cual varía de 8 a 9 caracterizado con nivel de riesgo muy alto; por lo cual se puede manifestar que en la ciudad de Tacna se caracteriza por la predominancia de índices de radiación ultravioleta B de nivel de riesgo de exposición muy alta. A nivel multianual diario estacional, se ha determinado que durante las estaciones de verano y primavera se registra índices de radiación UV de 6 a 11, entre las 09:00 h a 15:00 h, caracterizado como nivel de riesgo de exposición extremadamente alta, muy alta y alta; e índices de 1 a 5 entre las 07:00 h a 09:00 h, y 15:00 h a 17:00 h, caracterizado como nivel de riesgo de exposición moderado y baja, mientras que en las estaciones de otoño e invierno se registra índices de radiación UV de 5 a 7 entre las 11:00 h a 14:00 h, caracterizado como nivel de riesgo de exposición alta, y índices de 1 a 4 durante las 07:00 h a 11:00 h, y 14:00 h a 17:00 h, caracterizado como nivel de riesgo de exposición moderado y baja, valores muy similares a los reportados por la Dirección de Meteorológica de Chile [9] y El Ministerio de Salud de Chile [15]. En la región Piura, costa norte del Perú SENAMHI [9], el comportamiento diario del índice de radiación UV-B se intensifica sus niveles entre las 11:00 h a 14:30 h.

##### 4.9.2 VARIACIÓN ANUAL DEL ÍNDICE DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA B

La radiación ultravioleta presenta un comportamiento variable durante periodos anuales, mensual y diario, esto debido a diversos factores atmosféricos, efecto invernadero, gases presentes en la capa atmosférica actúan como filtros para ciertas frecuencias, y la capa de ozono que actúan como atenuantes de la incidencia de la irradiación de un determinado lugar, de igual forma la traslación y rotación de la tierra, sistemas que condicionan el grado de incidencia de la irradiación sobre un determinado lugar a nivel diario y anual. Por lo cual, se puede afirmar que la radiación total incidente sobre la superficie de la Tierra va a estar sujeta a variaciones, algunas previsible (diurnas y estacionales) y otras no previsible (las

meteorológicas, particularmente el vapor de agua condensado en las nubes), a nivel anual, la radiación ultravioleta B en la ciudad de Tacna durante el periodo de estudio, ha alcanzado promedios anuales máximos mensuales de 9 en el 2012, 9 en el 2013 y 8 en el 2014; y una media máxima multianual de 9, caracterizado como nivel de riesgo muy alta, según la Organización Mundial de Salud [16], muy similares a los niveles de 9,1 sobre la ciudad de Arica, Chile para el periodo 2006-2015, el más alto de todo Chile, Rojas y Rivas [21], Rivas et al. [22].

##### 4.9.3 VARIACIÓN ESTACIONAL Y MENSUAL, DEL ÍNDICE DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA B

Se ha determinado que en los meses de enero, febrero y marzo (verano) se registran índices máximos mensual de radiación UV de 10 a 12, alcanzando niveles de riesgo extremadamente alta y muy alto (frecuencias de 67% y 33 % respectivamente); mientras que durante la estación de primavera (octubre, noviembre y diciembre) se registran índices máximos mensual. de radiación UV de 8 a 11, alcanzando niveles de riesgo extremadamente alta y muy alto (frecuencias de 42 % y 55 % respectivamente), sin embargo, durante las estaciones de otoño (abril, mayo y junio) e invierno (julio, agosto y setiembre) se registran radiación de menor intensidad, debido a que los rayos del sol inciden de una forma más oblicua, por lo cual la radiación es menos intensa; en la estación de otoño se registraron índices máximos de 5 a 10 considerados como niveles de riesgo de exposición moderado, alto y muy alto (frecuencias de 37 %, 38 % y 25 % respectivamente); en la estación de invierno se registraron índices máximos de 4 a 9 considerados como niveles de riesgo de exposición moderado, alto y muy alto (frecuencias de 43 %, 40 % y 17 % respectivamente). En tanto que en Arica para el periodo (2006-2015) según Rojas y Rivas [21] concluyen que durante la estación del verano alcanzan máximas medias mensuales de 10 a 12 caracterizado como riesgo extremadamente alta y muy alto (frecuencias de 84 % y 16 % respectivamente); en la estación de primavera se registraron índices máximas medias mensuales de 8 a 11 caracterizado como riesgo extremadamente alta y muy alto (frecuencias de 63 % y 34 % respectivamente); de igual forma en la estación de otoño se registraron índices máximas medias mensuales de 5 a 9 caracterizado como riesgo moderado, alto y muy alto (frecuencias de 6 %, 57 % y 34 % respectivamente), y finalmente durante la estación de invierno se registraron índices máximas medias mensuales de 5 a 10 caracterizado como riesgo moderado, alto y muy alto (frecuencias de 23 %, 22 % y 25 % respectivamente). En diferentes

sectores de la costa de la región Piura Dedios [7], en la estación de verano (febrero y la primera semana de marzo, 2009) se registraron los índices de radiación más altos los cuales superaron valores de +15 (nivel extremo); y la menor incidencia de los niveles de radiación se produce a fines de otoño e inicios de invierno, con índices de radiación máximo promedio de 8 considerado nivel de riesgo moderado, valores superiores a los registrados sobre la ciudad de Tacna.

#### 4.9.4 VARIACIÓN DIARIA DEL ÍNDICE DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA B

Los resultados de las mediciones del monitoreo reflejan la dependencia de los niveles de radiación ultravioleta respecto a la hora del día. Las observaciones horarias durante el transcurso del día reflejan el comportamiento de los niveles de radiación ultravioleta, debido al efecto de las nubes, aerosoles y/o a los cambios en la posición del sol durante el día. En la ciudad de Tacna a nivel horario se ha observado hasta cinco niveles de riesgo de exposición a la radiación ultravioleta de acuerdo a la influencia horaria: extremadamente alta, muy alta, alta, moderada y baja. Según análisis multianual diario, se tiene que durante las 11:00 h a 13:00 h, se registra índice de radiación UV de 7 a 8 considerado como nivel de riesgo muy alta; mientras que los horarios de 10:00 h y 14:00 h, se registra índice de radiación UV de 5 a 6 considerado como nivel de riesgo alta; durante los 09:00 h y 15:00 h se registra índice de radiación UV de 3 a 4 considerado como nivel de riesgo de moderado, y durante las 07:00 h a 08:00 h y 17:00 h, se registra índices de 1 a 2, considerado como nivel de riesgo baja. En tanto que en Moquegua la Dirección Regional de Salud Moquegua [7], ha determinado que durante el periodo de evaluación del 10 de julio al 31 de diciembre a nivel de riesgo es bajo a las 06:00 h, moderada a las 07:00 h, muy alta a las 08:00 h, extremadamente alta desde las 09:00 h hasta las 13:00 h, muy alta a 14:00 h, moderada a las 15:00 h y baja desde las 16:00 h hasta finales del día; en tanto que en Iquique-Chile según Grossi [13] durante el verano se registra índices altos de 6 a 12 durante las 10:00 h a 16:00 h, considerado con niveles de riesgo alto, muy alto y extremos; de igual forma durante el invierno se registra índices altos de 3 a 5 durante las 11:00 h a 16:00 h, considerado con niveles de riesgo moderado, estos valores se registran debido a que la mediodía solar el sol se encuentra en el zenit en el que la irradiancia solar alcanza la superficie terrestre con menor espesor de la capa atmosférica.

Por otro lado, comparando la caracterización del índice de radiación UV-B máxima media mensual durante el periodo 2012-2014 sobre la ciudad de

Tacna, mínima en los meses de junio y julio entre 4,8 – 5, máxima entre octubre y marzo entre 10 -12, se encuentra una concordancia en la variación mensual respecto a la energía solar global media incidente sobre superficie horizontal, la cual es mínima en los meses de junio y julio equivalente a 4,01 KWh/m<sup>2</sup>día y máxima entre noviembre a marzo de 6,98 KWh/m<sup>2</sup>día, según lo establecido por Polo [20].

#### CONCLUSIONES

- Los índices de radiación ultravioleta B sobre la ciudad de Tacna para el periodo 2012-2014 alcanzaron valores de 8, 10, 11 y 12 que exceden los estándares establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), con niveles de riesgo de radiación caracterizados como alta, muy alta y extremadamente alta, lo cual se debería a su ubicación geográfica en la cabecera del desierto de Atacama, el más árido del mundo, condiciones atmosféricas especiales y al deterioro de la capa de ozono en la región sur del Perú.
- Los índices máximos de radiación ultravioleta B para el periodo 2012-2014 a nivel horario se registraron con valores entre 8 y 10 entre las 11:00 h a 13:00 h con niveles de riesgo muy alta, mientras que a nivel mensual el índice de radiación ultravioleta B alcanzó el valor 11 en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre con nivel de riesgo extremadamente alta.
- A nivel estacional, los índices de radiación ultravioleta B incidente sobre la ciudad de Tacna durante el periodo 2012 - 2014, alcanzaron valores de 9 y 12 con niveles de riesgo muy alta y extremadamente alta durante la estación de verano. En la estación de otoño se observó un descenso con índices de 6 y 4 presentando nivel de riesgo alto y moderado; durante la estación de invierno, los índices de radiación ultravioleta B fueron 2 y 5 con niveles de riesgo bajos y moderados y en primavera se registraron valores de 7 y 9 con niveles de riesgo alto y muy alto, respectivamente.
- En cuanto a la variación mensual e interanual, se encuentra que el valor mínimo del índice de radiación ultravioleta acontece en los meses de junio y julio con valores entre 4,8 – 5 y valores máximos del IUV entre octubre y marzo con valores entre 10 – 12.
- Considerando los elevados índices de radiación ultravioleta UV-B registrados en la ciudad de Tacna durante el periodo 2012-2014 con niveles de riesgo muy alta y extremadamente alta, se recomienda a las autoridades implementar un plan de protección y prevención y ejecutar una masiva arborización en parques y avenidas que no permitan el paso de los rayos ultravioleta y se

tengan lugares sombreados, esto con la finalidad de mitigar los efectos adversos de la radiación ultravioleta y proteger la salud de la población en general.

- Asimismo, se recomienda a la población en general no exponerse directamente a la irradiación solar en horas de máxima radiación comprendidas entre las 10:00 h a 16:00 h durante todos los días del año, utilizar sombreros de ala ancha, sombrillas, lentes de sol cuyos cristales absorban la RUV y el uso de protectores solares.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a la ex-directora de del SENAMHI de las regiones Tacna-Moquegua por permitir utilizar la información de la radiación UV-B registrada para el tratamiento de los datos y mostrar los resultados correspondientes.

## REFERENCIAS

- [1] Agencia de Protección Ambiental (EPA), *Guía Sunwise para la exposición al sol: El sol, la radiación ultravioleta y usted*. Washington, USA: EPA, 2001.
- [2] J. Aguilera y A. Pérez, *Determinación de la dosis eritemática mínima y reacciones anómalas a radiación ultravioleta A según fototipo*. España: 2014.
- [3] A. Calle, M. Pérez y J. L. Casanova, "Estudio y análisis de la irradiación eritemática a partir de datos de ozono", *Revista Teledetección*, no. 9, pp. 1-7, 1998.
- [4] J. A. Chasseriaux, *Conversión térmica de la radiación solar*, 1st ed. Argentina: Librería Agropecuaria S.A., 1990.
- [5] O. Ccora Tuya, *Manual de operación funcionamiento del equipo de radiación ultravioleta UV-Biometer solar light, Modelo 501*, Lima, Perú, 2011.
- [6] O. Ccora Tuya, *El ozono y la radiación ultravioleta*. Lima: Senamhi, Dirección General de Investigación y Asuntos Ambientales, 2011.
- [7] N. J. Dedios Mimbela, "Radiación ultravioleta. Análisis de su comportamiento estacional en diferentes sectores de la región Piura, costa norte del Perú", *Ing. USB Med.*, vol. 7, no. 1, 2015.
- [8] Dirección Regional de Salud Moquegua, *Evaluación de la radiación ultravioleta en la región Moquegua*. Moquegua: Programa de vigilancia de la calidad del aire y radiación UV, 2010.
- [9] Dirección Meteorológica de Chile, *Comportamiento de la radiación ultravioleta (UV-B) en Chile*. Santiago, Chile: 2008.
- [10] M. González, M. Tamayo, A. Sánchez, "La radiación ultravioleta, su efecto dañino y consecuencias para la salud humana", *Revista Theoría*, vol. 18, no. 2, pp. 69-80, 2009.
- [11] OMS, OMM, UNEP, CIPR, *Guía práctica del índice de radiación ultravioleta*. Organización Mundial de la Salud, Organización Mundial Meteorológica, 2003.
- [12] G. Quiroz Alvarez, *Descenso del ozono sobre América Central*. Costa Rica: Instituto de Costas, 2000.
- [13] H. Grossi, Gallegos R. Lopardo, G. Atienza, M. García y M. Peralta, "Distribución de la energía solar en la región meridional de América del Sur", *Memoria técnica del 5º Congreso Latinoamericano de energía solar*, Valparaíso, Chile, 1986.
- [14] R. Mamani Mamani, A. Cajchaya Mamani y Y. Yucra Cola, *Monitoreo de la radiación UV en la región Puno*. Puno, Perú: Universidad Andina Nestor Cáceres Velasquez, 2018.
- [15] Ministerio de Salud de Chile, *Guía técnica radiación ultravioleta de origen solar*, Santiago, Chile: 2011.
- [16] Organización Mundial de la Salud (OMS), *Guía práctica índice*, Ginebra, Suiza: OMS, 2003.
- [17] Organización Meteorológica Mundial (OMM), "Compendio de apuntes sobre instrumentos meteorológicos para la formación del personal", *Meteorológica de las clases III y IV - OMM N° 622*, Ginebra, Suiza, 1994.
- [18] Organización Meteorológica Mundial (OMM), "Guía de instrumentos meteorológicos y métodos de observación meteorológicos", en WMO N° 8, Ginebra, Suiza, 1990.
- [19] E. Plasencia Sánchez, J. Y. Tacza Ordoñez y J. Astudilla Capcha, "Monitoreo del ozono estratosférico en Marcapomacocha", *Informe anual 2014*, Lima, Perú, 2014.
- [20] C. Polo Bravo, "Potencial energético solar y su impacto ambiental en la región Tacna", *Tesis de maestría*, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Escuela de posgrado, Tacna, Perú, 2013.
- [21] E. Rojas y M. Rivas, "Índice solar ultravioleta y espesor de la capa de ozono en Arica, norte de Chile", *Interciencia*, vol. 42, no. 2, pp. 115-118, 2017.
- [22] M. Rivas, E. Rojas, J. Méndez y G. Contreras, "Dosis eritemáticas, sobrexposición a la radiación solar ultravioleta y su relación con el cáncer de piel en Arica, Chile", *Interciencia* vol. 39, no. 7, pp. 506-510, 2014.
- [23] L. Suarez Salas, A. Contreras Marín, H. Trigo Avilés y J. Slusser, "Modelamiento y pronóstico del índice UV en Huancayo", *Instituto Geofísico del Perú, Apuntes de Ciencias Sociales*, vol. 2, no. 2, 2012.
- [24] Senamhi, "Boletín de radiación ultravioleta de Moquegua", Dirección Regional Tacna y Moquegua, Tacna, Perú, 2013-2015.
- [25] Senamhi, "Pronóstico del índice de radiación solar ultravioleta a nivel nacional", *Nota técnica 002-2016-Senamhi*, Lima, Perú, 2016.
- [26] Sociedad Peruana de Dermatología, "Dermatología Peruana", *Revista oficial de la Sociedad de Dermatología Peruana*, vol. 24, no.1, Perú, 2004.
- [27] *Manual del usuario UV-biometer Mod. 501*, Solar Light Co. Inc., Philadelphia, USA, 2006.



Los artículos publicados por TECNIA pueden ser compartidos a través de la licencia Creative Commons: CC BY 4.0. Permisos lejos de este alcance pueden ser consultados a través del correo [revistas@uni.edu.pe](mailto:revistas@uni.edu.pe)