



Modelo paramétrico de la radiación ultravioleta global para cielos claros en la ciudad de Puno

Matías Huillca^a ; Ciro Taipe^b

^aDocente de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional del Puno, Perú;
e-mail: mhuillca@unap.edu.pe; ^bInvestigador Independiente de la Región Puno, Perú

INFORMACIÓN DEL ARTICULO

Art. Recibido 08/03/15
Art. Aceptado 27/04/15
Publicado: 30/04/15

PALABRAS CLAVE:

* INDICE
* UVB
* cielo claro

ARTICLE INFO

Article Received 08/03/15
Article Accepted 27/04/15
Published:30/04/2015

KEY WORDS:

* INDEX
* UVB
* clear sky

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen las mediciones de la radiación ultravioleta tipo A; la de tipo B y el INDICE en la ciudad de Upina – Puno. La dependencia entre el INDICE y la radiación ultravioleta fue investigada y se encontró un excelente grado de asociación. Se observó que el INDICE es 1.6 veces la radiación ultravioleta tipo B, mientras que el INDICE es 3.207 veces el tipo A. Posteriormente en la Universidad Nacional del Altiplano, se ha medido la radiación ultravioleta tipo B para cielos despejados sin nubes. A partir de estos datos se ha estimado el INDICE, notándose un incremento de 5,92 hasta 9,376, desde el 28 de setiembre el 20 de noviembre del 2014. Si se considera la radiación tipo A y el efecto espejo del lago Titicaca, los valores del INDICE son mayores a 12 para el mes de noviembre, que es el valor máximo permitido por la Organización Mundial de la Salud. Para obtener los valores estimados de la radiación ultravioleta tipo A y tipo B en cielos claros, se ha utilizado el modelo paramétrico, programado en MATLAB. El modelo explica el comportamiento de la radiación para cielos parcialmente nublados, notándose que las características de las nubes pueden aumentar o disminuir dicha radiación

PARAMETRIC MODEL OF GLOBAL UV RADIATION FOR CLEAR SKIES IN THE CITY OF PUNO

ABSTRACT

In this work measurements of type A ultraviolet radiation exposed; Type B and INDEX in the city of upina - Puno. The dependence between the INDEX and ultraviolet radiation was investigated and an excellent degree of association was found. Be noted that the INDEX is 1.6 times the type B ultraviolet radiation, while the INDEX is 3,207 times the type A. Later in the Universidad Nacional del Altiplano, has been measured ultraviolet-B radiation for clear skies without clouds. From these data we estimated the INDEX, noticing increased from 5.92 to 9.376, from 28 September to 20 November 2014. Considering the type radiation and the mirror effect of Lake Titicaca, the values INDEX age to 12 for the month of November, which is the maximum value allowed by the World Health Organization. For the estimated values of the B type in clear skies and ultraviolet type A, has been used parametric model, programmed in MATLAB. The model explains the behavior of radiation to either partly cloudy skies, noting that the characteristics of clouds may increase or decrease such radiation

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el control de los niveles de la radiación solar que proviene del Sol tiene una importancia fundamental; sobre todo en los países altiplánicos en los que el interés turístico o el desarrollo de actividades de ocio los hacen especialmente susceptibles a los posibles efectos nocivos que la radiación solar puede provocar

La medición de la intensidad de la radiación solar es una cantidad básica para comprender el equilibrio térmico de la atmosfera terrestre, ya que el Sol es la fuente principal de energía que condiciona el valor de la temperatura del aire y por ende el calentamiento global del planeta

La radiación solar ultravioleta tipo B (UVB) en el rango de (280-315)nm es muy nocivo para el ser humano, la exposición prolongada puede generar cáncer en la piel, cataratas, envejecimiento prematuro [5]. El ozono bloquea gran parte de la radiación UVB y en menor medida la radiación ultravioleta tipo A UVA en el rango de (315-400)nm

La radiación solar en un determinado lugar geográfico depende de la distancia tierra sol la que varía a lo largo del año y el ángulo cenital. Además del ozono, estas radiaciones también son afectadas por los aerosoles presentes en la atmosfera. Debido a posición geográfica, la ciudad de Puno alcanza valores muy altos la radiación solar UVB, particularmente, cuando el cielo es claro sin nubes y a finales del año

En este trabajo presentamos un modelo parametrico para la ciudad de Puno, que permita estimar la radiación UVB, a partir de las mediciones para cielos claros y sin nubes. Posteriormente se estima el ÍNDICE debido a la radiación UVB, varios autores ([3],[2],[8]) han propuesto diversos modelos para obtener en un determinado lugar la Irradiación directa normal, difusa y global

MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo parametrico utiliza como variables del lugar, altitud, longitud, latitud, etc. Mientras que las variables de entrada externas son, el día Juliano, visibilidad V , parametro α ; finalmente el espesor de la capa de ozono en unidades Dobson (U.D.)

El modelo se ha programado en MATLAB (ver Apencice) y se compara con las con las mediciones de la estacion UPINA

A continuación se muestra una serie de expresiones tomadas básicamente IQBAL [1], [14] y otros autores, con las que se ha formulado el modelo parametrico para estimar la componente directa y difusa, para luego obtener la radiación global ultravioleta como la suma apropiada de ambas componentes

La medición de la irradiación solar ultravioleta directa en una superficie horizontal no son afectados por el vapor de

agua, O_2 , N_2 debido a que en esta región no ocurre la absorción de esta radiación. La expresión para la irradiancia solar ultravioleta directa:

$$I_h = I_{0n} E_0 T_R T_a T_{o3} \text{Cos}(sza) \quad (1)$$

Donde

I_{0n} es la constante solar espectral a la distancia media Tierra – Sol

E_0 es el factor de corrección para la distancia Tierra-Sol

T_R es la transmitancia de Rayleigh

T_a es la transmitancia de los aerosoles

T_{o3} es la transmitancia del ozono

E_0 se obtiene de la siguiente expresión (Spencer, 1971)

$$E_0 = \left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = 1.000110 + 0.034221 \text{Cos}(\Gamma) + 0.001280 \text{Sen}(\Gamma) + 0.000719 \text{Cos}(2\Gamma) + 0.000077 \text{Sen}(2\Gamma) \quad (2)$$

Donde Γ se conoce como el ángulo diario (radianes), y esta dado por

$$\Gamma = \frac{2\pi(d_n - 1)}{365} \quad (3)$$

Donde d_n es el día juliano, variando 1 para el primero de enero y 365 para el 31 de diciembre

sza , es el ángulo cenital del lugar, en grados, el cual se obtiene de la siguiente expresión

$$\text{Cos}(sza) = \text{Sen}\delta \text{Sen}\phi + \text{Cos}\delta \text{Cos}\phi \text{Cos}\omega \quad (4)$$

Donde:

ϕ es la latitud geográfica, en grados, sur negativo

ω es el ángulo horario solar, cero el mediodía y en la mañana positivo

δ , en grados, es la declinación, es la posición angular del sol al mediodía solar con respecto al plano del Ecuador, sur negativo. Se obtiene de la siguiente relación (Spencer, [7])

$$\delta = 0.006918 - 0.399912 \text{Cos}(\Gamma \cdot \text{PI}/180) + 0.070257 \text{Sin}(\Gamma \cdot \text{PI}/180) - 0.006758 \text{Cos}(2 \cdot \Gamma \cdot \text{PI}/180) + 0.000907 \text{Sin}(2 \cdot \Gamma \cdot \text{PI}/180) - 0.002697 \text{Cos}(3 \cdot \Gamma \cdot \text{PI}/180) + 0.00148 \text{Sin}(3 \cdot \Gamma \cdot \text{PI}/180) \quad (5)$$

Transmitancia debido al Ozono

Se tiene la siguiente expresión para la transmitancia del Ozono ([1] Iqbal, 1983)

$$T_{o3} = 1 - \left[0.1611 U_3 (1 + 139.48 U_3)^{-0.3035} - \frac{0.00275 U_3}{1 + 0.044 U_3 + 0.0003 U_3^2} \right] \quad (6)$$

Siendo $U_3 = m_r l$ donde l es el espesor de la capa de ozono en cm, este espesor se obtiene en unidades Dobson (U.D.) que son proporcionados por el instrumento TOMS y por el instrumento OMI (Ozono Monitoring Instrumente)/Aura Spacecraft a bordo del Earth Probe, en la siguiente página de internet

http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/ozone_overhead_current_v8.md.

Transmitancia de los Aerosoles

Parametrizada por Machtlar [15] viene expresada en función de m_a y de los coeficientes de angstrom [2] como:

$$T_{a\lambda} = (0.12445\alpha - 0.0162) + (1.003 - 0.125\alpha) \exp[-\beta m_a (1.089\alpha + 0.5123)] \quad (7)$$

Donde α es un exponente relacionado con el tamaño y forma de la distribución de las partículas

β se llama coeficiente de turbiedad de Angstrom y es proporcional a la cantidad de materia presente en una columna vertical de sección unitaria

Los trabajos de Gueymard,[12], proporcionan una formula empírica de β en función de la visibilidad V , que es la siguiente:

$$\beta = 0.55\alpha \left(\frac{3.912}{V} - 0.01162 \right) (0.02472(V-5) + 1.132) \quad (8)$$

Transmitancia de Rayleigh

Una expresión parametrizada entre otros por Louche et al [2]. La transmitancia debida a la dispersión de Rayleigh se puede expresar como:

$$T_R = \exp(-0.0903 m_a^{0.84} (1 + m_a - m_a^{1.01})) \quad (9)$$

Donde m_a es la masa de aire óptico que a su vez, está relacionado con la altitud del lugar ([14])

Radiación UV-B Difusa

Siguiendo el modelo parametrizado de M. Iqbal [1] podemos expresar la irradiancia difusa recibida por un plano horizontal como:

$$I_{d\lambda} = I_{Rd\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda} \quad (10)$$

$I_{Rd\lambda}$: Es la irradiancia UV-B difusa producido por la dispersión de Rayleigh que llega al suelo después de su primer paso a través de la atmosfera

$I_{da\lambda}$: Es la irradiancia UV-B difusa producido por los aerosoles que llegan al suelo después de su primer paso a través de la atmosfera

$I_{dm\lambda}$: Es la irradiancia UV-B difusa espectral por las múltiples reflexiones entre el suelo y la atmosfera

Irradiancia UV-B difusa espectral producido por la dispersión de Rayleigh

se obtiene de la siguiente relación:

$$I_{Rd\lambda} = I_{0n\lambda} \cos(sza) T_{o3} [0.5(1 - T_{R\lambda}) T_{a\lambda}] \quad (11)$$

Irradiancia difusa dispersada por los aerosoles $I_{da\lambda}$

Esta Irradiancia que llega al suelo, después de su primer paso a través de la atmosfera se obtiene a partir de la siguiente relación:

$$I_{da\lambda} = I_{0n\lambda} \cos(sza) T_{ma\lambda} [F_c \omega_0 (1 - T_{a\lambda}) T_{R\lambda}] \quad (12)$$

F_c : Es el factor que se define como el cociente entre la energía dispersada en la dirección entrante y la energía dispersada total

ω_0 : Es la dispersión simple del albedo definido como el cociente entre la energía dispersada y la energía total atenuada por los aerosoles (sin dimensiones), para aerosoles no absorbentes se puede asumir $\omega_0 = 0.5$ (Iqbal.1983 [1]) Se utilizo la expresión de Robinson (1962,[5]) que relaciona

F_c y sza para cualquier hora del día

Esta expresión es la siguiente

$$F_c = 0.9003 + 0.00325(sza) - 0.0494x10^{-5} x(sza)^2 \quad (13)$$

Irradiancia difusa espectral producido por múltiples reflexiones $I_{dm\lambda}$

se obtiene mediante la siguiente relación:

$$I_{dm\lambda} = Q_\lambda \left(\frac{\rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right) \quad (14)$$

Donde:

Q_λ : es la irradiancia difusa resultante de múltiples reflexiones entre el suelo y la atmosfera Definida de la siguiente manera

$$Q_\lambda = (I_{Rd\lambda} + I_{da\lambda}) + I_{n\lambda} \cos(sza) \quad (15)$$

Donde

$\rho_{a\lambda}$: es el albedo de la atmosfera, el cual constituye la componente difusa reflejada de nuevo al espacio, se obtiene

en forma aproximada como:

$$\rho_{a\lambda} = T_{ma\lambda} \left[0,5(1 - T_{R\lambda})T_{a\lambda} + (F_c - T_{R\lambda})\omega_h(1 - T_{a\lambda})T_{R\lambda} \right] \quad (16)$$

El valor del albedo de la atmosfera $\rho_{a\lambda}$ es muy pequeño, se utiliza el albedo del suelo $\rho_{g\lambda} = 0,2$

Irradiancia UVB global en el suelo

La irradiancia solar global UVB se define como la suma apropiada de la irradiancia solar directa y difusa en una superficie horizontal. E la ecuaciones (1) y (14) se tiene la siguiente expresión

$$I_G = I_{0R} E_0 T_R T_{a\lambda}^2 \cos(\theta_{za}) + I_{R\lambda} + I_{ad\lambda} + I_{md\lambda} \quad (17)$$

Finalmente se recurre al lenguaje de programación en MATLAB para el modelo

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La ciudad de Upina, está ubicado en el distrito de Ituata, provincia de Carabaya, como se muestra en la figura 2. Sus coordenadas geográficas son:

Longitud: 70° 04' 58.1"; Latitud: 13° 53' 05.7"; Altura : 3873 m.s.n.m.

Para la medición de la radiación UVA, UVB y el INDICE, se empleo la estación meteorológica VAISALA, modelo MAWS-300, como se muestra en la figura 1.

Los sensores de radiación ultravioleta, están en el Rango de UVB [280-315] nm y UVA [315-400] nm

Las mediciones de esta estación meteorológica han sido proporcionada por la institución Senamhi Región –Puno.



Figura 1 Radiómetro VAISALA, modelo MAWS-300, Empleado en la medición de la radiación en la ciudadde Upina



Figura 2 Ciudad de Upina Provincia, Carabaya Puno

Para estimar el ÍNDICE a partir de la radiación UVB en la Ciudad de Puno, se utilizo el instrumento DELTAOHM modelo HD 2102.2 con foto radiómetro (sensor) LP 471 UVB rango (280-315)nm ubicado en la azotea del pabellón nuevo de la Ingeniería Civil, ubicado dentro del campus de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, como se muestra en la siguiente figura 3.



Figura 3: Lugar de medición de la radiación UVB para luego estimar el INDICE UV, Pabellón nuevo - Ingeniería Civil-UNA-Puno.

RESULTADOS

El comportamiento característico de la radiación ultravioleta desde las 6 am hasta las 6 pm, en la estación UPINA, para un día despejado sin nubes, por ejemplo el 30 de mayo, se muestra en el siguiente figura 4; mientras que para un día parcialmente nublado; por ejemplo el 10 de junio del 2014, se muestra en el siguiente figur 5

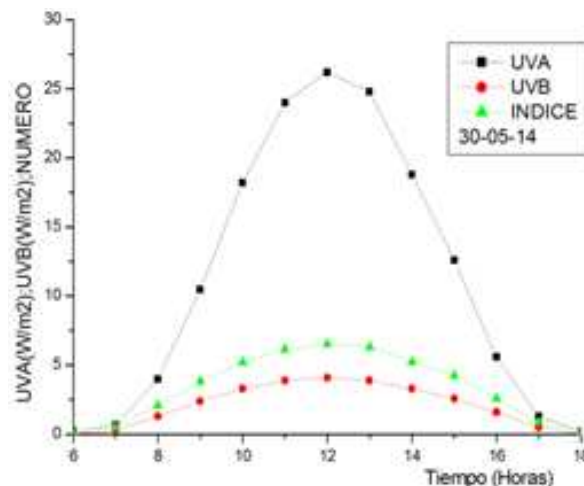


Figura 4 Comportamiento típico de la radiación, INDICE para un cielo despejados sin nubes

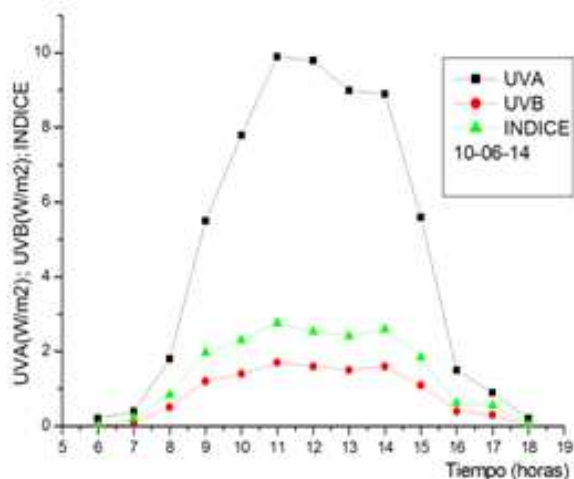


Figura 5 Comportamiento típico de la radiación, ÍNDICE para un cielo con nubes

Según el artículo de Jaime W. Gilmore [8], hallamos el área bajo la curva diaria, desde las 6 am hasta las 6 pm para estas tres variables, desde el 26 de Mayo al 18 de Setiembre del 2014 para cielos despejados y cielos con nubes, posteriormente, buscamos las relaciones entre estas variables y su evolución en función del tiempo

DIVISION DE LA RADIACION UVA CON EL INDICE EN FUNCION DEL TIEMPO

De las mediciones, se tiene el comportamiento de la división de la radiación UVA con el INDICE, como se muestra en la figura 6. El valor promedio es 3.207 siendo el error 0.0223. Mientras que la radiación UVA en función del INDICE, desde el 25 de Mayo al 18 de Setiembre se muestra en la siguiente figura 7. La correlación es 0.98234 lo que significa un buen estimador del INDICE a partir de la radiación UVA

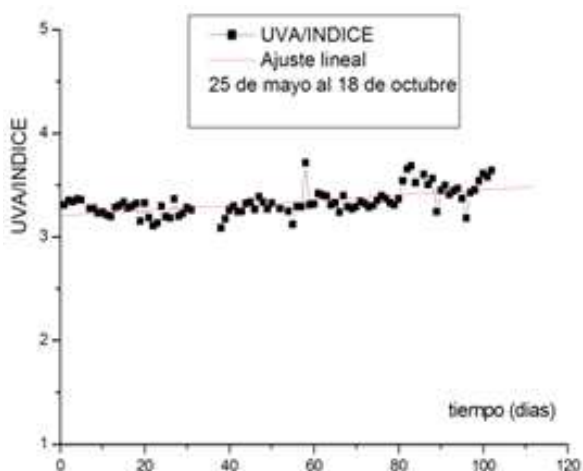


Figura 6 Comportamiento de la división UVA/INDICE en función del tiempo del 26 de mayo al 18 de setiembre

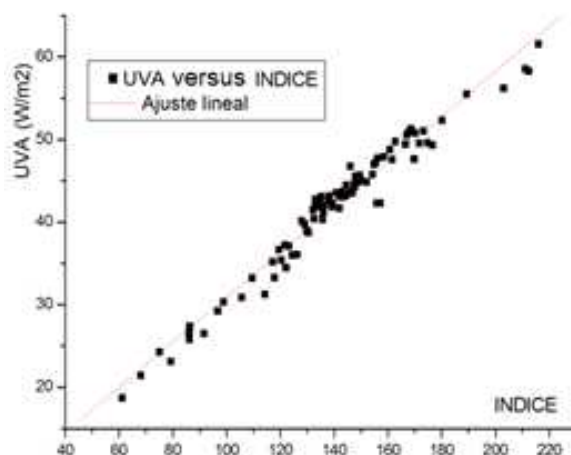


Figura 7 Comparación UVA en función del INDICE del 26 de mayo al 18 de setiembre

DIVISION DEL INDICE CON LA RADIACION UVB EN FUNCION DEL TIEMPO

A continuación mostramos el comportamiento de la división del INDICE con el UVB en función del tiempo en la figura 8. El promedio es 1.6 y el error 0.00494 se observa una muy buena relación entre ambas variables. La comparación del INDICE con la radiación UVB se muestra en la siguiente figura 9

Siendo la correlación 0.99658, esta comparación de las variables permite estimar con muy buena aproximación el INDICE a partir de la radiación ultravioleta UVB

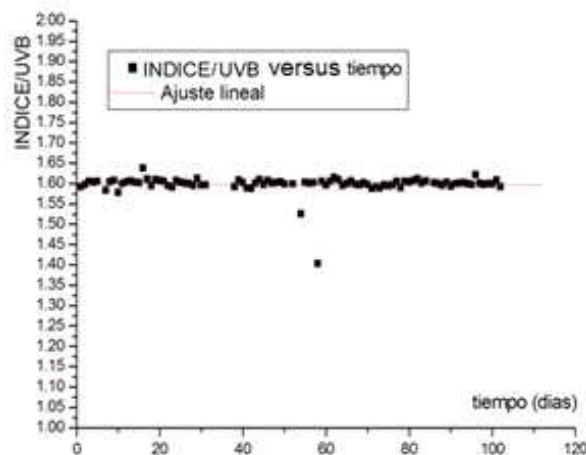


Figura 8 División del INDICE con UVB en función del tiempo del 26 de mayo al 18 de setiembre

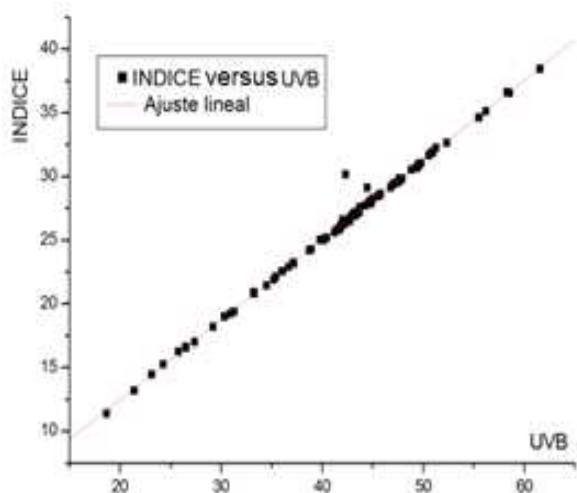


Figura 9 Comportamiento del INDICE con la radiación UVB función notese que la realcion es casi lineal

COMPARACION DEL MODELO CON LAS MEDICIONES PARA DIFERENTES DIAS

A continuacion realizamos la comparacion de los valores estimados por el modelo de la radiacion UVA, UVB, con las mediciones de la estacion Upina, para diferentes dias de cielo despejado; por ejemplo para el 30 de mayo y 7 de setiembre como se muestra las figuras 10, 11, 12 y 13; se nota una buena correlacion entre el modelo y las mediciones para las radiaciones UVA y UVB

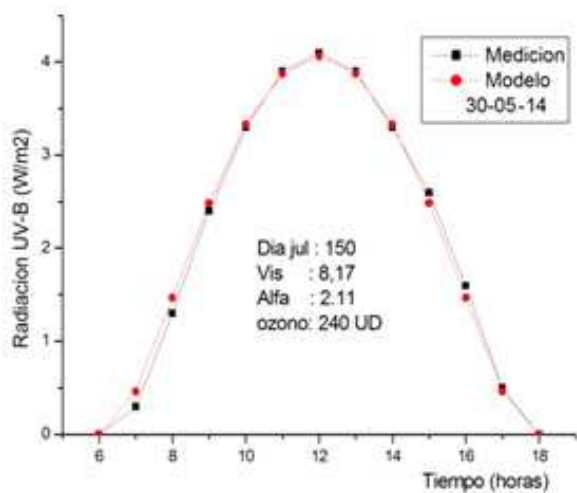


Figura 10 Comparación del modelo, con la medición de la radiación UVB en cielos claros y sin nubes

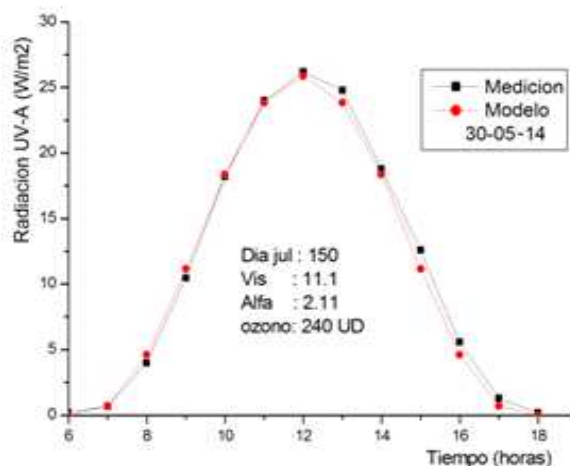


Figura 11 Comparación del modelo, con la medición de la radiación UVA, en cielos claros y sin nubes

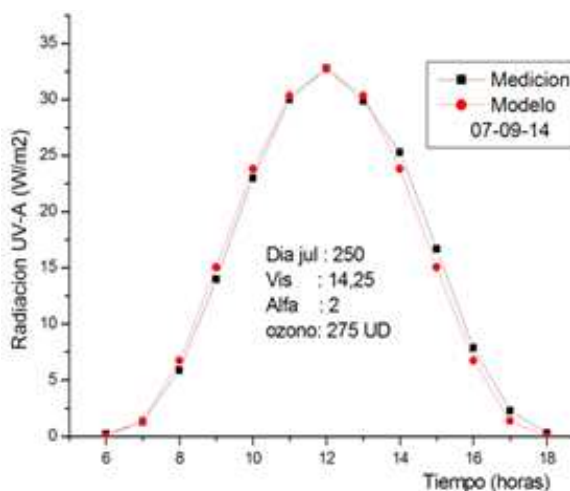


Figura 12 Comparación de la medición con el modelo radiación UVA

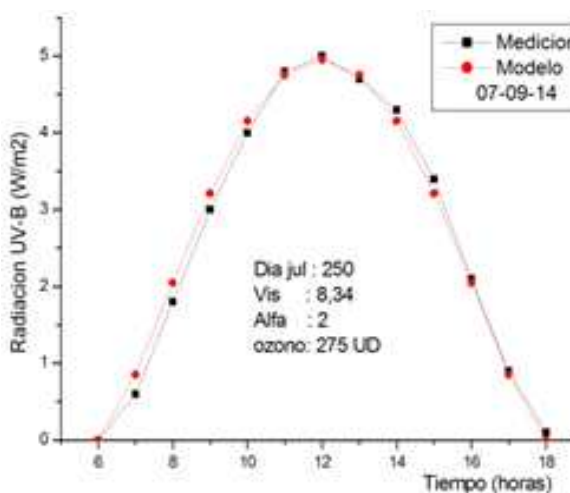


Figura 13 Comparación de la medición con el para la modelo para la radiación UVB

Para el día 28 de mayo Las mediciones de cielo despejado fueron hasta las 2 pm, posteriormente no se registraron mediciones en la estación, mientras que el modelo continúa con la estimación como se puede notar en las siguientes figuras 14, 15

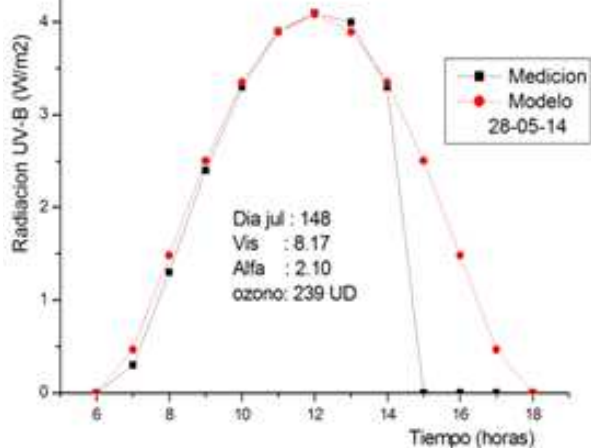


Figura 14 Comparación de la medición con el modelo para radiación UVB, se nota que el modelo continúa con la estimación cuando el instrumento se detuvo a las 2 pm

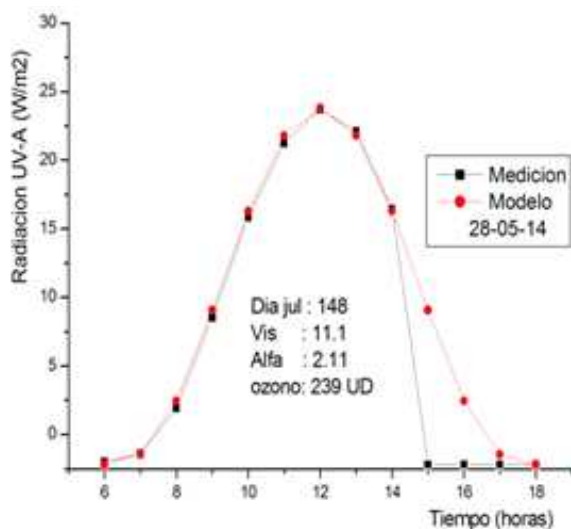


Figura 15 Comparación de la medición con el modelo para la radiación UVA

Para el día 25 de agosto, se puede notar la influencia de las nubes. Por ejemplo, entre las 11 am y 12pm aumenta la radiación, mientras que, entre las 12 pm hasta las 2 pm, la radiación disminuye; a partir de esta hora, se tiene cielo despejado. Este aumento o disminución de la radiación está relacionado con las características propias de las nubes *Estratocumulos Densos* [15] Luccini

Como se muestra en las figuras 16 y 17

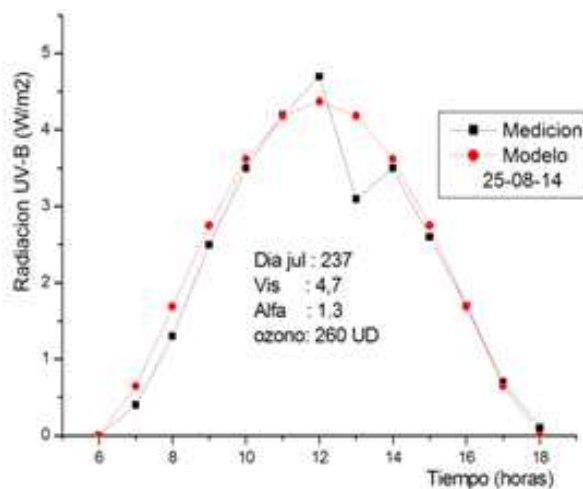


Figura 16 Comparación de la medición con el modelo para radiación UVB para un cielo parcialmente nublado

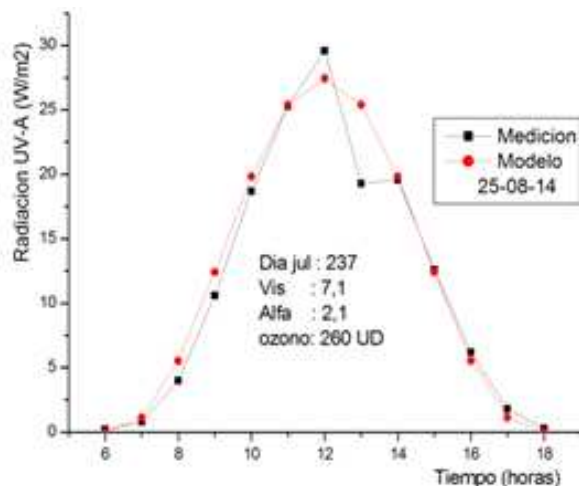


Figura 17 Comparación de la medición y el modelo para la radiación UVA para un cielo parcialmente nublado

Como se puede observar en las figuras anteriores, para que el ajuste del modelo sea el más aproximado, es necesario realizar más comparaciones con las mediciones de cielos despejados sin nubes con otros meses del año y en otras ciudades de la región Puno. Cuando se tiene cielos parcialmente o totalmente despejado, el modelo sirve para describir el comportamiento de la radiación, ya sea en aumento o disminución por la presencia de las nubes

El modelo también, es útil para estimar la variación del parámetro visibilidad V y alfa α durante todo el año, ya que no se dispone de equipos de medición para estas variables.

ESTIMACION DEL ÍNDICE A PARTIR DE LAS MEDICIONES DE LA RADICION UVB PARA LA CIUDAD DE PUNO

En el Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional del Altiplano, se ha medido el valor máximo de la radiación UVB para diferentes días de cielo despejado y sin nubes, con los resultados del presente trabajo se puede estimar INDICE considerando para ello el factor de proporción 1,6, como se muestra en el cuadro N° 1

Cuadro N° 1
ESTIMACION DEL INDICE A PARTIR DE LOS VALORES MÁXIMOS DEL LA RADIACIÓN UVB EN LA CIUDAD DE PUNO

Fecha	UVB (máximo) (W/m ²)	INDICE (máximo)
28 de setiembre	3,70	5,92
10 de octubre	4,50	7,20
21 de octubre	4,80	7,68
7 de noviembre	5,80	9,28
8 de noviembre	5,80	9,28
14 de noviembre	5,85	9,36
20 de noviembre	5,86	9,38

Fuente: Instrumento DELTAOHM modelo HD 2102.2 con foto radiómetro (sensor) LP 471 ubicado en la Ciudad Universitaria de la UNA-PUNO

Puede notarse un aumento del ÍNDICE al transcurrir los meses. Se debe mencionar, que este INDICE se debe solo a la radiación UVB. Si consideramos la radiación UVA y el efecto *espejo* debido al lago Titicaca, es muy probable que el INDICE en la Ciudad de Puno aumente a valores superiores que se menciona en el cuadro N° 2, en particular en el mes de noviembre, diciembre estos valores podrían ser superiores a 12 (valor extremos según la O.M.S.) que generan efectos nocivos en la salud de la población de Puno, siendo necesario la información oportuna, a través de los medios de difusión, para tomar las medidas de prevención

En el Anexo se muestra un boletín del modelo de la salida, estimada y medida, del comportamiento diario de la radiación UVB y UVA diaria. Este boletín se puede y difundir a través de los medios de comunicación de la Universidad u otro medio, para mostrar a la población y tomar conciencia y alertar de los efectos nocivos que ocasiona la radiación ultravioleta en la salud

AGRADECIMIENTO

Al Ingeniero Sixto Flores Sancho Director de SENAMHI-DR13-PUNO por las facilidades brindadas de las mediciones de la estación Upina

CONCLUSIONES

Durante el periodo de tiempo, 26 de mayo al 18 de setiembre en la ciudad de Upina; la relacion entre el INDICE con la radiacion UVB, tiene una correlacion de 0.99658, lo cual permite estimar con muy buena aproximacion el INDICE a apartir de la radiacion UVB, siendo el factor de comparacion aproximadamente 1.6. Mientras que la relacion entre el INIDCE y la radiacion UVA tiene una correlacion de 0.98234, siendo el factor de comparacion aproximado de 3,207

A partir de la relación entre el INDICE y la radiación UVB. Para la ciudad de Puno del 28 de setiembre el 20 de noviembre del 2014 la variación del ÍNDICE fue de [5.92 – 9.376], Debiendo precisar que el INDICE se debe solo la radiación UVB, si consideramos otros factores como la radiación UVA y el efecto espejo del lago Titicaca el valor del INDICE puede ser superior a 12

El modelo muestra una buena correlación con los valores medidos, para cielos despejados sin nubes, Para un cielo nublado y tomando como referencia el modelo se puede explicar el aumento o disminución de la radiación ultravioleta, por la presencia de nubes

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Iqbal M. (1983) An Introduction to Solar Radiation. Academic Press.
- [2] Louche A.,Maurel M.,Simonnot O, Peri G e Iqbal M. (1987). Determination of Angstrom's turbidity coefficient from direct solar irradiance measurements. Solar Energy 38, 89-96.
- [3] Jaime Wright Gilmore (2010) medición y predicción de la radiación solar global UV-B bajo cielos claros y sin nubes, *Departamento de Física, Universidad Nacional Heredia Costa Rica 2010- UNICIENCIA 24 pp. 111-121*
- [4] G. M. Saluma, y R. D. Piacentini (2007) desarrollo de un algoritmo para la modelización de la radiación solar global y del control de datos – *Octubre*
- [5] Robinson N. Solar Radiation. Amarian Elsevier, New York, 1962
- [6] Cañada J. Determination of Angstroms turbidity coefficient at Valencia, *Reviuw. Energy 3, 621-626, 1993*
- [7] Spencer J. W (1971) Fouries series representation of the position of the sun *Search 2(5), 172*
- [8] Leckner, B. (1978) The spectral distribution of solar of solar radiation at the earth surface- elements of model. *Solar Energy 38, 89-96*
- [9] R.E. Bird and R.L. Hulstrom (1981) A simplified clear sky model for direct and difusse Insolation on horizontal

- surfaces. *SERI/TR-642-761, Solar Energy Research Institute, Golden Colorado*
- [10] F.A. Kasten (1966) A new tabla and aproximate formula for relative optical air mass. *Arch Meteorol Geophys Bioklimatol, Ser B14,206-223*
- [11] BIRD E. Richard (1984) A simple solar spectral model for direct-normal and di_use Horizontal irradiance. *Solar Energy*
- [12] GUEYMARD A,Christian: (2005) Simple Model of the Atmospheric Radiative Transfer of Sunshine. NREL
- [13] Lucini , E (2007) , Efecto de incremento de radiación solar por nubes dispersas en el ambiente de Bahía paraíso, península antártica
- [14] Huillca A. modelo de la radiación solar UV-B para la ciudad de Puno, *Revista de Investigaciones Alto andinas UNA-PUNO*, Vol. 15 N° 1, 55-63, 2013
- [15] M.A. Machtler Parametrizacion of solar irradiation under clean skies , university of British Columbia Vancouver

