

## MEDICIONES DE RADIACIÓN UV-B EN IBARRA- ECUADOR Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO

Autor José HUACA PINCHAO<sup>1</sup>, autora Eliana ORMEÑO MEJIA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Carrera de Electricidad. Universidad Técnica del Norte.*

<sup>2</sup>*Carrera de Electricidad. Universidad Técnica del Norte.*

**jmhuaca@utn.edu.ec, ecormeno@utn.edu.ec**

### RESUMEN

En el presente trabajo se han tomado medidas de Irradiancia Solar UV-B (280-315 nm), en la Universidad Técnica del Norte en la ciudad de Ibarra - Ecuador. Se han analizado estadísticamente los datos correspondientes al periodo 11 de abril al 31 de octubre de 2017. Los resultados encontrados, hasta el momento, muestran que la Radiación UV-B diaria alcanza valores homogéneos a lo largo del periodo medido, con una media de 43 kJ/m<sup>2</sup>. La irradiancia solar por su parte, tiene para un día promedio su valor más alto entre las 12h00 y 13h00 horas con una media aproximada de 2.07 W/m<sup>2</sup>. Si bien al analizar la información anterior, permite estimar la atenuación de la Radiación debido a la nubosidad, existen ciertos días semiclaros en donde se observan valores que superan el promedio de días claros. Se presume un refuerzo de la radiación debido a la presencia de nubes en días semi-glaciales. Los valores de radiación UV-B medidos son tan altos en las horas mencionadas que afectan directamente a la salud humana y se relacionan con un posible agotamiento de la capa de ozono en latitud ecuatorial ligada a los factores de cambio climático.

**Palabras clave:** Radiación, Irradiancia, Ultravioleta, Solar, UV-B.

### ABSTRACT

In the present work, UV-B Solar Irradiance measurements (280-315 nm) has been taken at the Technical University of the North in the city of Ibarra - Ecuador. The data corresponding to the period from April 11 to October 31, 2017 has been statistically analyzed. The results found, so far, show that the daily UV-B radiation reaches similar values during the measurement period, with an average of 43 kJ / m<sup>2</sup>. The solar irradiance has an average daily value with its highest between 12h00 and 13h00 with an approximate average of 2.07 W / m<sup>2</sup>. This information, allow us to estimate the attenuation in radiation due to clouds. There are some semi-glacial days in which the measured values exceed the average measurement obtained during clear days. It is assumed that there is a reinforcement of the radiation due to the presence of clouds in semi-glacial days. The measured UV-B radiation values are so high at the mentioned hours that have a direct effect on human health and are related to a possible depletion of the ozone layer in equatorial latitudes, this can be also linked to climate change factors.

**Key words:** Radiation, Irradiance, Ultraviolet, Solar, UV-B.

## 1. INTRODUCCIÓN

El Ecuador es un país localizado sobre la línea ecuatorial terrestre por lo cual su territorio se encuentra en ambos hemisferios, los niveles de índice ultravioleta que inciden sobre esta zona de Sudamérica superan el máximo de 11 Unidades Dobson (DU) aceptado por la OMS para la tolerancia humana (Organización Mundial de Salud. OMS, 2003), llegando incluso hasta duplicar esta medida. La cantidad y potencia de radiación que llega a nuestra región es la más alta en todo el planeta, siendo la parte más afectada la subregión andina (Agencia Espacial Civil Ecuatoriana. EXA, 2008).

La radiación ultravioleta (100 – 400 nm), corresponde aproximadamente a un 6% de la energía solar total que llega a la parte superior de la atmosfera, la cual normalmente es subdividida en: UV-A (315 – 400 nm), UV-B (280 – 315 nm) y UV-C (200 – 280 nm) (Lunche, Wei, Ming, Bo, & Ming, 2015). Siendo esta última absorbida totalmente por la por la capa de ozono que afecta en menor medida a la radiación UV-A y UV-B.

La radiación UV-B es la más peligrosa de las dos debido a su mayor contenido energético que puede ocasionar daños sustanciales en los tejidos vivos. Ha sido relacionado en seres humanos con problemas de cáncer de piel (Koh, Geller, Miller, Grossbart, & all., 1996), mutación genética (Cabrera & López, 2006), foto envejecimiento (Yaar & Gilchrest, 1998), inmunosupresión (Nishigori, Yarosh, Donawho, & Kripke, 1996), y cataratas (Sliney, 1994). En ecosistemas puede ocasionar la reducción de la fotosíntesis en plantas (Kataria, Jajoo, & Guruprasad, 2014), daños a nivel de ADN (Carrasco, 2009), interferir en la reproducción sexual (Llorensa, Badenes, Julkunen-Tiittoc, Zidornd, & all, 2015), (Gonzales, Vernhes, & Sánchez, 2009). Los materiales para uso externo también se ven afectados por su incidencia produciendo el envejecimiento de ligantes y mezclas asfálticas (Martínez & Caicedo, 2005) (American Society For Testing And Materials. ASTM, 2017), daños a estructuras y degradación de sus propiedades mecánicas.

El análisis de las series de tiempo de la radiación UV-B surge de la necesidad de estimar datos de radiación basada en históricos. Y puesto que en esta región no se cuenta aún con información detallada que sea útil para estimar su influencia en organismos vivos, se busca conocer su comportamiento para ser comparados con trabajos en la misma línea de investigación.

### 1.1 El calentamiento global

Es el aumento observado y proyectado en la temperatura promedio de la atmósfera terrestre y los océanos. La temperatura global promedio de la Tierra ha aumentado en 0.6 ° C en los últimos 140 años menciona el Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. (IPCC, 2014). El polvo fino o las partículas de aerosol que flotan a gran altura en la atmósfera pueden alterar el balance térmico de

la tierra al reflejar el calor solar entrante, enfriando la superficie y reflejando el calor que escapa hacia la superficie haciéndolo más cálido. La atmósfera está sustancialmente influenciada por la acción de la radiación UV en el ozono y el vapor de agua. Las principales causas del calentamiento global son los gases de efecto invernadero, las centrales eléctricas, la explosión demográfica, la deforestación, el sector del transporte y la destrucción de las tierras mojadas.

El aumento de la radiación UV -B en la superficie de la tierra debido al agotamiento de la capa de ozono estratosférico es uno de los cambios del patrón cambio-climático. Existen varios estudios respecto a aumentos significativos en la radiación UV-B en las regiones templadas del norte y del sur, así como en la Antártida, lo que expone a los ecosistemas críticos de agua dulce a ciertos cambios pues la penetración de la radiación UV solar en los lagos de agua dulce está controlada principalmente por las concentraciones de carbono orgánico disuelto (DOC) en el agua. Por lo tanto, las alteraciones antropogénicas y naturales como el cambio climático y la precipitación ácida que alteran las concentraciones de DOC en los ecosistemas de agua dulce pueden alterar los cambios futuros en los ambientes submarinos, en ecosistemas de agua dulce de DOC bajos (Williamson & Craig, 1996).

## 2. MÉTODOS

Se realizó un análisis estadístico para examinar, cuantificar y determinar las características de los niveles de radiación UV-B, información de interés para futuros trabajos a desarrollar en esta área. La serie de Irradiancia UV-B está compuesta por 406.768 datos, de ellos 203.384 son datos diurnos (06h00 – 18h00). Se calcularon valores promedios diarios de la radiación UV-B y se midió la coherencia estadística de los mismos utilizando criterios de Chauvenet y Z-Score modificado. Se encontraron cinco con valores atípicos.

Para el tratamiento estadístico de datos se determinan los estimadores más representativos, tales como Media (M), mediana (Md), Mínimo (Mn), Máximo (Mx), Cuartil 1 (Q1), Cuartil 3 (Q3), Rango intercuartil (Q3-Q1), que se muestran de manera gráfica en capítulos posteriores. Mediante técnicas de minería de datos, se analizó las series de tiempo de Irradiancia en  $W/m^2$  e Irradiación en  $kJ/m^2$  tomando como referencia rangos horarios y mensuales para establecer valores promedios.

### 2.1 Mediciones

Las mediciones de la radiación UV-B fueron realizadas en las instalaciones de la Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador, Latitud:  $0^{\circ}21'31.35''$  N, Longitud:  $78^{\circ}06'41.12''$  O, Altitud 2223 m sobre el nivel del mar en el periodo del 11 de abril al 31 de octubre de 2017. El clima se presenta como templado seco-mediterráneo con ciertas influencias del clima subtropical árido de tierras altas (Echeverría, Bedón, & Narvaez, 2006), con una baja variación estacional de humedad y temperatura promedio de  $18^{\circ}$  C (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. INHAMI, 2017), única región que ofrece este tipo de clima en Ecuador y el norte de Sudamérica (Kotteck, Grieser, Beck, & Rudolf, 2006).

Los datos se obtuvieron mediante un radiómetro calibrado Kipp & Zonen modelo UVS-B-T. La salida del sensor se conectó a registradores de datos de LOGBOX SD suministrados por el fabricante. Se ha recolectado datos cada minuto durante 285 días entre los meses de abril del 2017 a enero del 2018 para radiación UV-B. Se debe indicar que el radiómetro continúa realizando mediciones.

### 3. RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran las series de tiempo de la Irradiancia UV-B en  $W/m^2$  correspondientes a días con menor (azul) y mayor (roja) contenido energético, para cada mes durante el periodo de mediciones. Se tiene un valor mínimo promedio para estos días de  $22.68 \text{ kJ/m}^2$  y un máximo promedio de  $61.9 \text{ kJ/m}^2$  respectivamente.

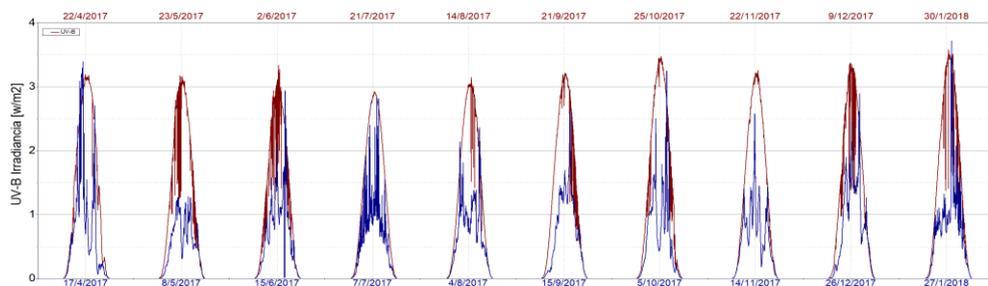


Fig. 1: Series de tiempo de Irradiancia UV-B para días extremos en cada mes.

En su mayoría, las gráficas en rojo presentan un comportamiento tipo de cielo claro, es decir, libre de nubosidad. Las gráficas en azul se ven normalmente atenuadas por el efecto de las nubes, muy típica de la zona. Sin embargo, se debe destacar en éstas últimas la existencia de “picos”, como se muestra en la Figura 2 que se estima son producto de la presencia de nubes blancas ubicadas en la tropósfera, que han reforzado el valor de la Irradiancia (Piacentini, Salum, Fraidenraich, & Tiba, 2010). En el conjunto total de observaciones se tienen 172 días con estas características lo que representa el 61% del total de días medidos.

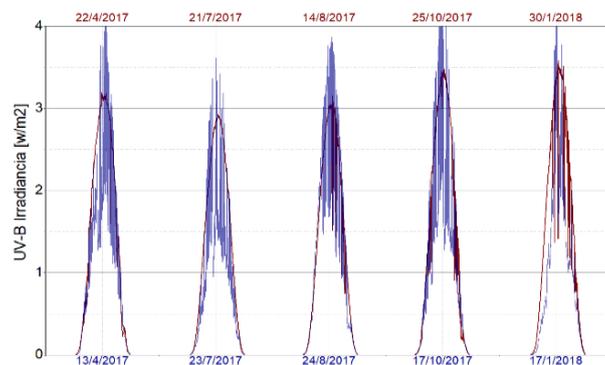


Fig. 2: Reforzamiento de la Irradiancia respecto a condiciones de cielo claro

En la Figura 3 se muestra la serie de tiempo de la Radiación UV-B, ubicándose el promedio en alrededor de 43 kJ/m<sup>2</sup>. Esta estabilidad nos revela precisamente la singularidad del estudio al realizarse en una zona muy próxima a la línea ecuatorial, por tanto, no se aprecian variaciones considerables respecto a las estaciones del año.

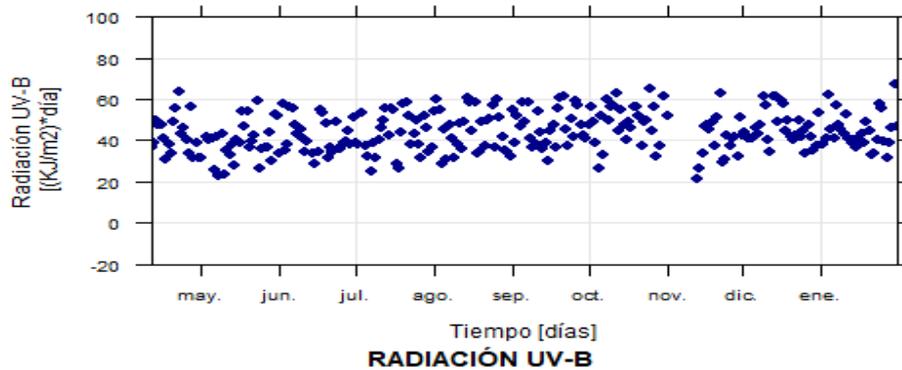


Fig. 3: Promedios diarios de la Radiación UV-B.

En la Figura 4 se observa que existe una mayor concentración de valores por encima de la media, siendo un indicador de los altos niveles de Radiación UV-B a los que está sometida esta región, por estar muy cercana a la línea ecuatorial.

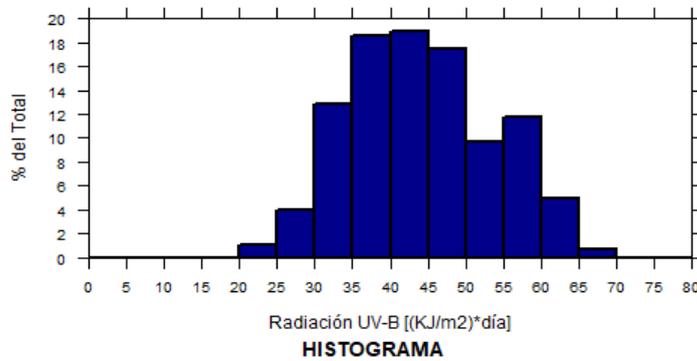


Fig. 4: Frecuencias de promedios diarios.

En la Figura 5 se muestran los valores estadísticos distribuidos de manera mensual, y se nota un comportamiento bastante similar respecto al conjunto total de datos, pues las medias mensuales oscilan alrededor de 43 kJ/m<sup>2</sup>.

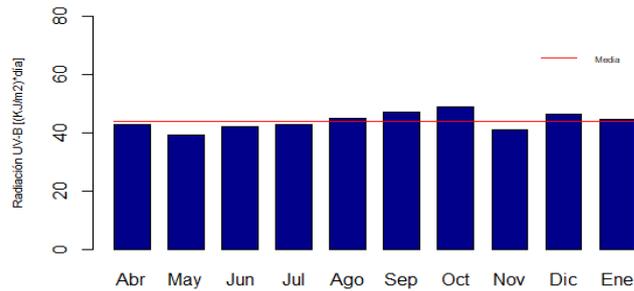


Fig. 5: Medias mensuales.

En los diagramas de cajas y bigotes de la Figura 6, se observa la simetría de datos, donde las medianas de cada mes oscilan muy próxima a la media y mediana del conjunto total de datos, así como los rangos intercuartiles cercanos a estos valores.

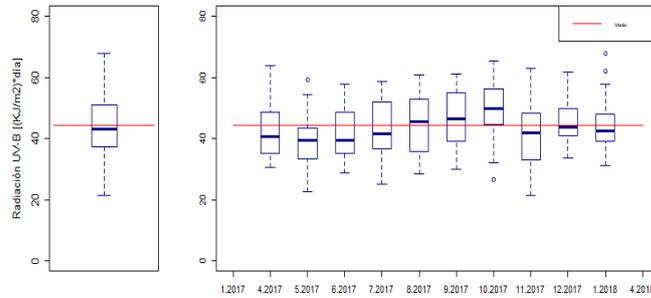


Fig. 6: Valores Estadísticos totales y mensuales de la Radiación UV-B.

Se han evaluado los datos en franjas horarias como se muestra en la Figura 7, donde se observa una alta simetría respecto al medio día en que los valores de irradiancia son mayores. Así entre las 11h00 y 14h00 la media registra valores que superan los  $2 \text{ W/m}^2$  los cuales son considerados elevados comparados con días de verano en latitudes septentrionales del planeta.

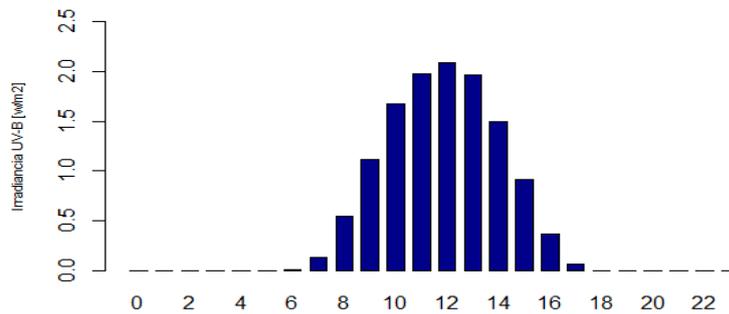


Fig. 7: Irradiancia media en franjas horarias.

En la Figura 8 se muestra la radiación acumulada en  $\text{kJ/m}^2$  para un día promedio, la misma se determina integrando la irradiancia durante un periodo. Esta información es importante en estudios sobre los efectos biológicos de la radiación UV-B o en la

disponibilidad de energía solar para aplicaciones tecnológicas, por ejemplo, para conocer la influencia de la radiación UV en materiales (Bilbao & De Miguel, 2010).

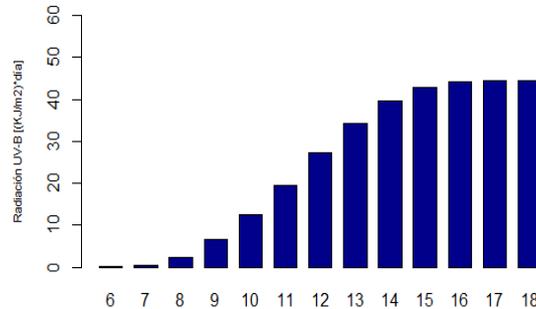


Fig. 8: Radiación media acumulada en franjas horarias.

#### 4. DISCUSIÓN

Durante el periodo de abril del 2017 a enero del 2018 se ha registrado un promedio de Radiación UV-B diaria de  $43 \text{ kJ/m}^2$  que se mantiene prácticamente uniforme en los meses que se han efectuado mediciones, valores comparables con los que se registran en latitudes de Europa o Estados Unidos en los meses de verano. Este comportamiento es debido a la proximidad a la línea ecuatorial. Se observa además que la curva de potencia de un día promedio, tiene un valor aproximado a  $2 \text{ W/m}^2$  que se da entre las 12h00 a 13h00, mientras que la energía acumulada durante el día desde las 06h00 hasta las 18h00 es de aproximadamente  $43.82 \text{ kJ/m}^2$ . Esta información es importante en estudios sobre los efectos biológicos de la radiación UV-B o en la disponibilidad de energía solar para aplicaciones tecnológicas, por ejemplo, para conocer la influencia de la radiación UV en materiales (Bilbao & De Miguel, 2010).

Finalmente se debe destacar la existencia de días en los cuales hay presencia de picos de radiación que superan los valores aproximados a cielo claro. Esto puede estar relacionado con el reforzamiento de la radiación causada por la presencia de nubes como se ha mencionado anteriormente. Los valores de radiación UV-B medidos son tan altos en las horas mencionadas, que afectan directamente a la salud humana y se relacionan con el agotamiento de la capa de ozono en latitud ecuatorial ligada a los factores de cambio climático.

#### REFERENCIAS

- Agencia Espacial Civil Ecuatoriana. EXA. (2008). *Informe Hiperión*. Quito: Agencia Espacial Civil Ecuatoriana. EXA.
- American Society For Testing And Materials. ASTM. (2017). *ASTM Volume 12.02 Nuclear (II), Solar and Geothermal Energy; Radiation Processing*. Conshohocken, Pensilvania: American Society For Testing And Materials. ASTM.

- Bilbao, J., & De Miguel, A. (2010). Estimation of UV-B irradiation from total global solar meteorological data in Central Spain. *115*, 1-13.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1029/2009JD012505>
- Cabrera, M., & López, M. (2006). *Efectos de la radiación ultravioleta (UV) en la inducción de mutaciones de p53 en tumores de piel*. Barcelona: Alpe Editores, S.A.
- Carrasco, L. (2009). *Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas*. Arica: IDESIA.
- Echeverría, F., Bedón, R., & Narvaez, D. (2006). Artificial Neural Networks-based methodological approach for Climatic variables prediction. *International Journal of Neural Networks and Advanced Applications*. ISSN: 2313-0563.
- Gonzales, V. S. (2009). *La radiación ultravioleta. su efecto dañino y consecuencias para la salud humana*. Habana: Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
- González, F., & Rodríguez, H. (1994). *Manual de radiación solar en Colombia*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. INHAMI. (2017). *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. INHAMI*. (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. INHAMI) Retrieved 11 09, 2017, from <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- IPCC. (2014). *Informe de Síntesis sobre Cambio Climático*. NY: ONU.
- Iqbal, M. (1983). *An Introduction to solar radiation*. New York: Academic Press.
- Kataria, S., Jajoo, A., & Guruprasad, K. N. (2014). Impact of increasing Ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic processes. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*(137), 55-66.
- Koh, H., Geller, A., Miller, D., Grossbart, T., & all., e. (1996). Prevention and early detection strategies for melanoma and skin cancer. *Arch Dermatol*(132), 436-443.
- Kottek, M. J. (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 259-263.
- Llorens, L., Badenes, F., Julkunen-Tiittoc, R., Zidornd, C., & all, e. (2015). *The role of UV-B radiation in plant sexual reproduction*. Madrid: Elsevier.
- Lunche Wang, W. G. (2015). Comparison of different UV models for cloud effect study. *Energy*, 698-705.
- Martínez, G., & Caicedo, B. (2005). *Efecto de la radiación ultravioleta en el envejecimiento de ligantes y mezclas asfálticas*. Bogotá D.C.: Universidad de los Andes.
- Nishigori, C., Yarosh, D., Donawho, C., & Kripke, M. (1996). The immune system in ultraviolet carcinogenesis. *J Invest Dermatol Symp Proc* (1), 143-146.
- Organización Mundial de Salud. OMS. (2003). *Indice UV solar mundial : guía práctica*. Ginebra: Organización Mundial de Salud. OMS.
- Piacentini, R. D., Salum, G. M., Fraidenraich, N., & Tiba, C. (2010). Extreme total solar irradiance due to cloud enhancement at sea level of the NE Atlantic coast of Brazil. *Renewable Energy*, 409 - 412.
- RESUMIDA, I. G. (2013). *Cambio Climático, Bases Físicas*. Madrid: ONU.

- Sliney, D. (1994). Epidemiological studies of sunlight and cataract: The critical factor of ultraviolet exposure geometry. *Ophthalmic Epidemiol*, 1, 107-119.
- Williamson, C. E. (1996). Effects of UV radiation on freshwater ecosystems. *International Journal of Environmental Studies*, Vol . 51, Iss 3.
- Yaar, M., & Gilchrest, B. (1998). Aging and photoaging: Postulated mechanisms and effectors. *Invest Dermatol Symp Proc*(3), 47-51.