

CORRELACIÓN ANUAL Y ESTACIONAL ENTRE DOSIS DE IRRADIACIÓN ERITÉMICA Y GLOBAL, EN LA REGIÓN DE PUNA (SALTA, ARGENTINA)

H.Suárez^{1,2}, G. Salazar^{1,2}, D.Acosta¹, C.Cadena^{1,2} y G.Suárez¹.

¹UNSa, Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta Capital, Argentina.

²INENCO, Avda. Bolivia 5150, A4408FVY, Salta Capital, Argentina.

Departamento de Física – Facultad de Ciencias Exactas — UNSa C.P. 4400 – Salta

Tel. 0387-4255389 e-mail: galossuárezh@gmail.com.ar

Recibido 27/07/17, aceptado 28/09/17

RESUMEN: Mediciones de irradiación solar eritémica (UVER) y Global (G) se realizaron durante los años 2014, 2015, 2016 y 2017 en la localidad de Tolar Grande (lat:-24.59, long:-67.40 y 3560 m.s.n.m), región de PUNA de la provincia de Salta (Argentina). Se analizó el índice UV al mediodía solar y las dosis eritémicas diarias de UVER y G; mensual, estacional y anual. Se obtuvieron correlaciones empíricas para cada estación y anual. Los valores de índice UV calificaron de riesgo *muy alto o extremo* en el 67 % de los casos al mediodía solar y solo en el 9 % el riesgo es *moderado o bajo*. Las relaciones UVER/G % diarias estacionales fueron 0.026 %, 0.019 %, 0.018 % y 0.023 % y las contribuciones porcentuales a la dosis UVER acumulada anual fueron 34.24 %, 17.12 %, 16.40 % y 32.24 %, para la estaciones de verano, otoño, invierno y primavera respectivamente.

Palabras clave: irradiación eritémica, índice UV, irradiación global, dosis de radiación, energía solar.

INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la cantidad de radiación ultravioleta que reciben los hombres, plantas y animales, resulta de gran importancia para muy diversos campos de investigación (McKenzie et al., 1991). En dosis apropiadas sus efectos son favorables para ciertos procesos biológicos, pero en dosis excesivas sus consecuencias pueden ser muy perjudiciales para los seres vivos debido a que son acumulativas. Los efectos dañinos de la UV pueden ser envejecimiento prematuro de la piel, diversos tipos de cáncer, cataratas, afecciones oculares y numerosas enfermedades denominadas fotodérmicas (WHO, 2002).

Para caracterizar el riesgo solar se instaló una estación meteorológica en la localidad de Tolar Grande, conocida como el corazón de la PUNA. Se registraron datos de irradiancia global y eritémica sobre superficie horizontal. Existe una dependencia de la irradiación, en un determinado emplazamiento, con diversos factores meteorológicos (ozono diario, aerosoles atmosféricos, etc.) y geográficos (altitud sobre el nivel del mar, latitud, longitud, etc.). Por lo tanto, para determinar las características de la radiación UV en una región deberían instalarse gran cantidad de sensores (Salum y Piacentini, 2004).

Un efecto negativo frecuente en la piel humana es la quemadura o eritema solar, que depende de la energía de la radiación incidente (inversamente proporcional a la longitud de onda), por lo que el espectro de acción CIE eritematogénico (Mc Kinlay y Diffey, 1987), es utilizado para cuantificar el efecto dañino de la radiación UV sobre la piel. El espectro CIE se emplea como un peso dependiente de la longitud de onda para la irradiancia espectral UV; integrando luego sobre todas las longitudes de onda se puede encontrar la irradiancia biológica efectiva real en W/m^2 . Multiplicando la UVER por 40 se obtiene el Índice ultravioleta (*IUV*), un número adimensional que facilita la transferencia y asimilación de la información por parte de la población. La International Commission on Non-Ionizing

Radiation Protection (ICNIRP) (1995, 2004), recomienda un *valor límite umbral* (TLV, threshold limit values) personal de exposición a la radiación UV eritémica de 109 J/m^2 para un período de 8 hs, de acuerdo a la escala CIE. Estas dosis de irradiación también se miden en SED (Standart Eritémical Dosis), donde 1 SED equivale a 100 J/m^2 (Guies et al, 2009).

Un modelo de estimación de radiación eritémica a partir de radiación global nos permitiría caracterizar el riesgo solar abaratando los altos costos de los sensores de UVER. Sobre todo en regiones áridas y de altura, donde existen pocos estudios realizados. Esta correlación entre dosis de irradiación UVER y G se realizó para todos los días del año (cielo claro, parcial y completamente nublado) y consiste en una polinomial de primer orden (1), estacional y anual.

$$D_{UVER} = aD_G + b \quad (1)$$

Donde a y b representan coeficientes del modelo lineal, D_{UVER} y D_G son las dosis de irradiación eritémica y global diarias (Zabziparvar, 2009).

MATERIALES Y MÉTODOS

Emplazamiento

Tolar Grande está ubicado en la región de PUNA de Salta a 3560 m.s.n.m, con una población de 248 habitantes. Los niveles de radiación en este emplazamiento de altura son incrementados por efectos de reflexión debido a los depósitos superficiales de sal que se encuentran distribuidos en toda la región. La ubicación geográfica de la estación meteorológica y una vista panorámica de la zona se muestra en la figura 1.



Figura 1: Tolar Grande, ubicación geográfica y vista panorámica.

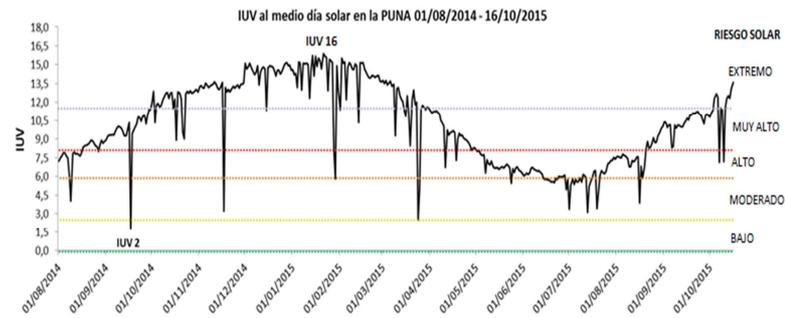
Los sensores

Para realizar la recolección de datos se usaron dos sensores. 1) Piranómetro de radiación solar UV eritémica, marca Kipp & Zonen modelo UV-SET 2) Piranómetro de radiación global marca Kipp & Zonen modelo CM3, rango entre 350-1500 nm. Se midió la radiación solar global y UVER sobre superficie horizontal. El equipo de adquisición y almacenamiento de datos utilizado fue el CR1000 de la firma Campbell Scientific. El error en los datos de UVER, IUUV y G es del 5 %. Más detalles del funcionamiento y calibración de los instrumentos se dieron en Suárez (2013). Los datos se recolectaron en dos campañas, la primera entre el 28/07/2014 y el 16/10/2015, mientras que la segunda, entre el 23/03/2016 y el 04/08/2017.

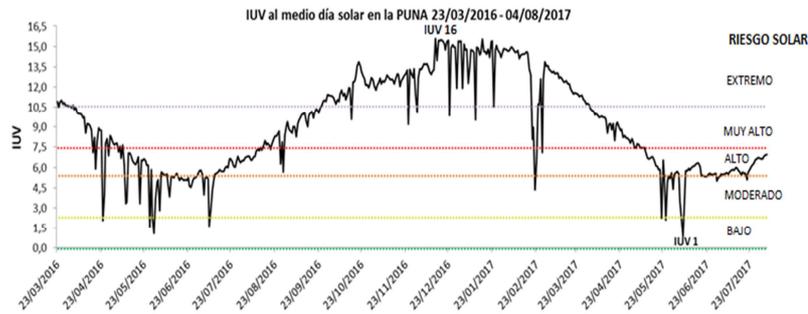
DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Índice Ultravioleta al mediodía solar

Los valores de índice UV se obtuvieron a partir del valor promedio de diez minutos centrados en torno del mediodía solar. El valor máximo de IUUV medido el 21/01/2015 fue de 15.88 y el mínimo fue de 1.75 el 17/09/2014 para la primera campaña de medida. En la segunda campaña, estos valores fueron de 15.59 y 0.87 los días 14/12/2016 y el 06/06/2017 respectivamente. Ambas distribuciones y valores máximos y mínimos se presentan en la figura 2 a) para la primer campaña y en la figura 2 b) para la segunda campaña.



(a)



(b)

Figura 2: Índice ultravioleta al mediodía solar y clasificación según el riesgo solar, la PUNA, campañas 2014-2015 (a) y 2016-2017 (b).

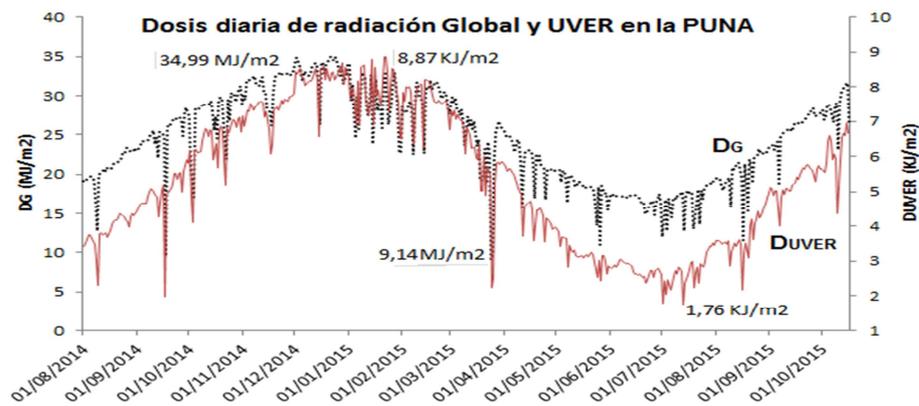
Los parámetros estadísticos descriptivos fueron derivados de esta distribución, para el total de datos de IUV al mediodía solar ($n=942$). Los IUV se clasifican según su categoría de riesgo de acuerdo a las directivas de la WHO (Organización mundial de la salud). En las figuras 2 (a) y 2 (b) se muestran las distintas categorías de riesgo según el valor y colores recomendados por la WHO.

El IUV promedio fue de 9.70 y clasificó como de riesgo *muy alto* ($IUV > 8$). El valor IUV máximo medido fue 15.88 o sea de riesgo *extremo* (> 11). El porcentaje de días en que el IUV clasificó como riesgo *extremo* fue del 42,6 %; de riesgo *muy alto* ($11 > IUV > 8$) y *extremo* en el 66,9 % y si le sumamos el riesgo *alto* ($8 > IUV > 6$) el porcentaje de ocurrencia es del 90,9 % de los días del año. O sea que estamos en un emplazamiento de gran riesgo eritémico ya que menos del 10 % de los días clasifican como de riesgo *moderado* ($5 > IUV > 3$) o *bajo* (< 2).

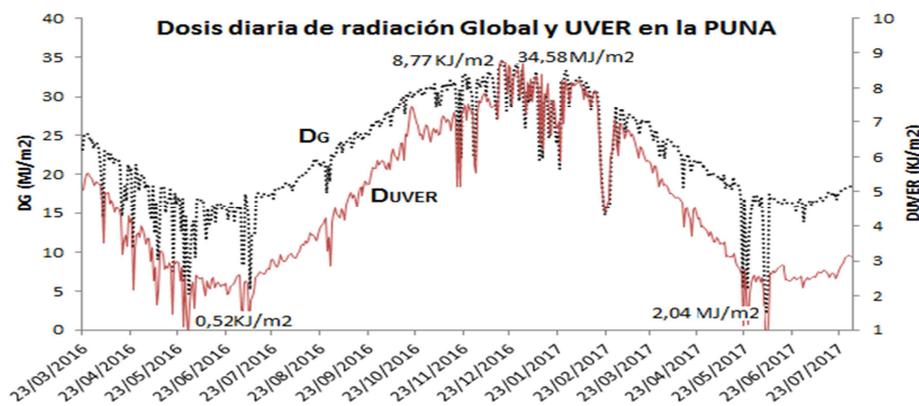
Variabilidad anual de dosis diaria de irradiación Global y eritémica

Los factores más importantes que influyen en la variación de la irradiación UVER y Global son: la altura del sol y las condiciones atmosféricas (concentración de ozono, turbidez del aire, nubosidad, aerosoles, partículas en suspensión). El incremento en la razón UVER/G se debe a dos factores, decrecimiento de la radiación Global debido al agua en estado de vapor o líquido y a la relativamente alta transmitancia en la región UV y azul (Riordan et al, 1990).

En la figura 3(a) se mostró la variación de dosis diarias de irradiación global (D_G) y eritémica (D_{UVER}) en la PUNA, para la campaña 2014-2015. Se indicaron los valores máximos y mínimos en ambas. La dosis máxima global ocurrió el 02/12/2014 y correspondió a un día de cielo claro, con 34.99 MJ/m^2 . La correspondiente UVER fue de 8.87 KJ/m^2 el 21/01/2015. Los mínimos de global (9.14 MJ/m^2) y UVER (1.76 KJ/m^2) se midieron el 24/03/2015 y el 13/07/2015 respectivamente. Estos valores máximos y mínimos nos dan idea de la amplitud de variación de las dosis diarias, 25.85 MJ/m^2 para global y 7.11 KJ/m^2 en el caso de UVER.



(a)



(b)

Figura 3: Dosis diaria de radiación Global y UVER, máximo y mínimo, la PUNA, campañas 2014-2015 (a) y 2016-2017 (b).

Durante la segunda campaña llevada a cabo en los años 2016 y 2017, representada en la figura 3(b), los valores extremos de dosis diaria de radiación global fueron de $34,58 \text{ MJ/m}^2$ y $2,04 \text{ MJ/m}^2$ los días 16/12/2016 y 07/06/2017 con un rango de variabilidad de $32,54 \text{ MJ/m}^2$. Las correspondientes dosis diarias de radiación eritémica fueron $8,77 \text{ KJ/m}^2$ y $0,52 \text{ KJ/m}^2$ en idénticas fechas. El rango de variación de estas fue de $8,25 \text{ KJ/m}^2$. Ambos rangos de variación en esta segunda campaña son superiores a los de la primera. Para la descripción de esta base de datos de radiación, se calcularon los parámetros estadísticos derivados de estas series temporales de irradiación Global y UVER.

Razón UVER/G % diaria y estacional

En la figura 4(a) se mostró la variación a lo largo del día, de la relación UVER/G % para un día de cielo claro y otro nublado, durante dos meses de condiciones extremas, diciembre y julio. Se observó que la razón UVER/G % se incrementó hacia el mediodía solar, mostrando una dependencia con la masa de aire. A mayor masa de aire, primeras horas del amanecer y cercanas a la puesta de sol, existen mayor espesor óptico por lo que la absorción por ozono y dispersión Rayleigh del espectro UV son mayores (UVER/G % bajas), en cambio hacia el mediodía, la masa de aire es menor y la razón UVER/G % se incrementa. La UVER/G % para cielo nublado, se incrementa debido a absorción por vapor de agua de ciertos rangos de radiación Global. Debido a nubosidad, la UVER también disminuye pero en menor proporción que G, por lo que, para cielos nublados la razón UVER/G % aumenta. También se ilustró en la figura 4(a) cambios en los valores entre los meses de diciembre y julio, por variación del ángulo cenital. A mayores ángulos cenitales, como en el mes de julio, le corresponden menores valores de UVER/G %; sucede lo inverso en el mes de diciembre. Aunque estas diferencias son menores a las obtenidas en el emplazamiento Salta Capital, debido a su clima, que presenta alta frecuencia de cielos nublados y abundantes precipitaciones (Suárez et al, 2016).

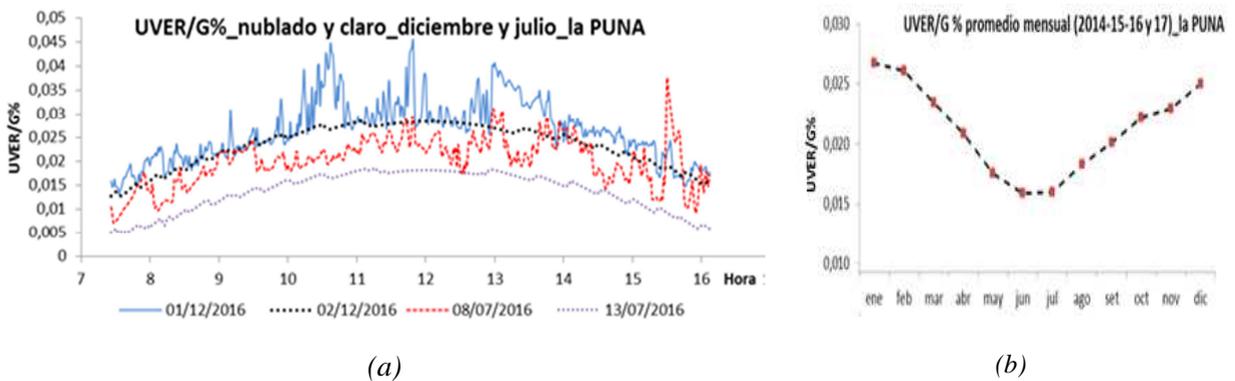


Figura 4: Distribución de la razón UVER/G % en la PUNA: a) para día de cielo claro y otro nublado, en diciembre y julio b) promedio mensual anual.

En la figura 4 (b) se ilustró la distribución de UVER/G% a lo largo de un año típico en la PUNA. El año típico se obtuvo promediando los datos obtenidos durante las dos campañas. Se observó elevados valores de UVER/G % en la estación de verano, donde los ángulos cenitales y espesores ópticos son menores. En cambio en la estación de invierno, los ángulos cenitales y masas de aire son mayores, por lo que se incrementa la cantidad de ozono que el haz de radiación debe atravesar y por lo tanto hay mayor absorción de UV, además al incrementarse la trayectoria a recorrer, aumenta la dispersión Rayleigh en este rango del espectro de radiación.

La mayor componente de la variación de concentración de ozono en latitudes medias es el ciclo estacional, el cual es controlado por el balance entre el transporte de aire rico en ozono desde los trópicos hacia los polos y la pérdida fotoquímica. En general, existe una disminución hacia los meses de enero, febrero, marzo y abril (fin del verano e inicio del otoño), cuando la fotoquímica domina sobre el transporte, debido a los altos valores de radiación solar. Luego, conforme avanza el otoño, disminuye la radiación solar y por lo tanto, decrece la actividad fotoquímica y crece el efecto del transporte sobre el fotoquímico. La acumulación de ozono se desarrolla en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre (fin del invierno y toda la primavera) en esta situación es cuando el transporte predomina sobre la fotoquímica (Puliafito, 1999). Este ciclo anual se ve reflejado en la distribución de UVER y consecuentemente en UVER/G %.

Correlación estacional entre UVER y G

Se realizó el estudio de la variación de dosis diaria de radiación eritémica y global para cada estación del año. Los datos se obtuvieron de mediciones realizadas en los años 2014, 2015, 2016 y 2017. A modo de ejemplo del tratamiento de datos, en la figura 5 se representó la distribución de DUVER y DG durante el otoño 2015 (a), 2016 (b) y 2017 (c). Se observó que existen relaciones entre ambas distribuciones, lo que permitió encontrar una correlación lineal entre ambas. Las variaciones entre la dosis acumuladas entre el principio de la estación y el final de la misma son similares durante los tres años, aproximadamente 10 MJ/m^2 para DG y de 2 KJ/m^2 para DUVER. La dosis acumulada para la estación otoñal promedio fue de 1728.2 MJ/m^2 para radiación Global y de 332.9 KJ/m^2 para radiación UVER.

De las gráficas de la figura 5, se puede deducir que hubo alta ocurrencia de días de cielo claro en el año 2017, por la mayor suavidad en la pendiente de su curva de distribución. En el año 2016 hay mayor frecuencia de días con nubes, de acuerdo a la gráfica que presenta mucha dispersión en las medidas de dosis de radiación global y eritémica. En el otoño del 2015 dichas variaciones fueron menores a las del año 2016. En la figura 5 (d) se obtuvo la distribución promedio de los tres años de medida en la estación otoñal.

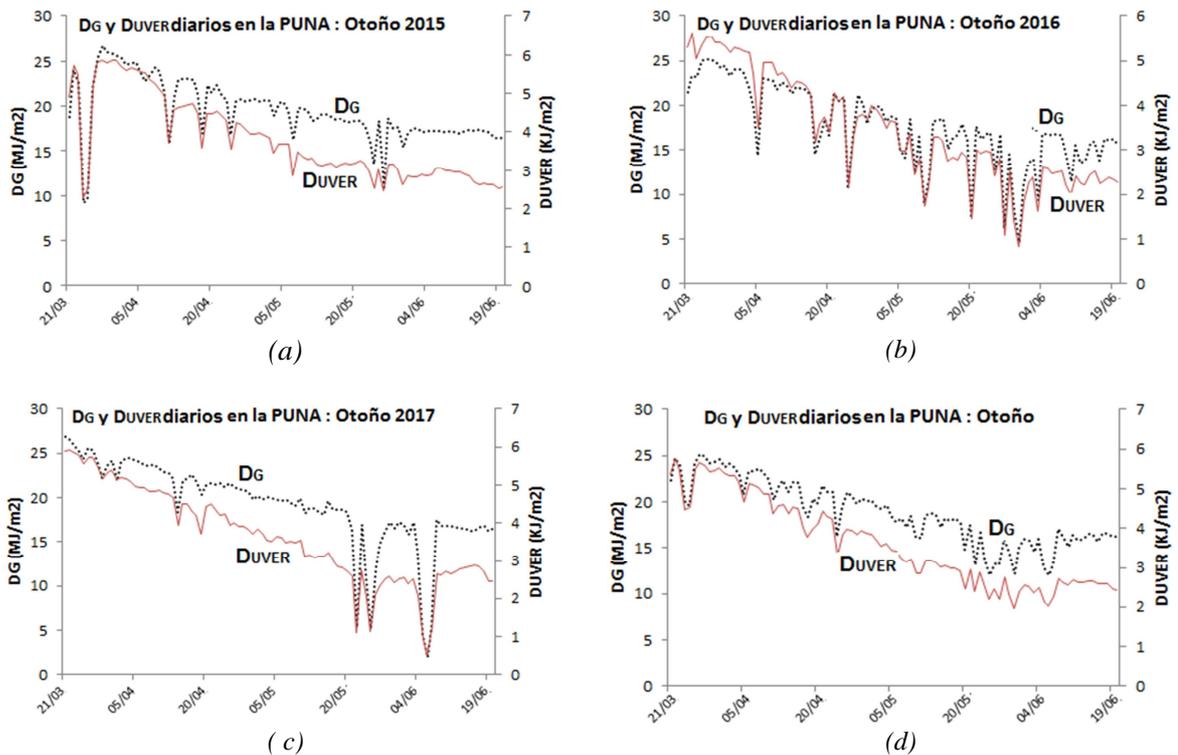


Figura 5: Variación de la dosis de radiación Global y UVER diaria, en la estación otoñal durante el año 2015 (a), 2016 (b), 2017 (c) y promedio trianual (d) en la región de PUNA.

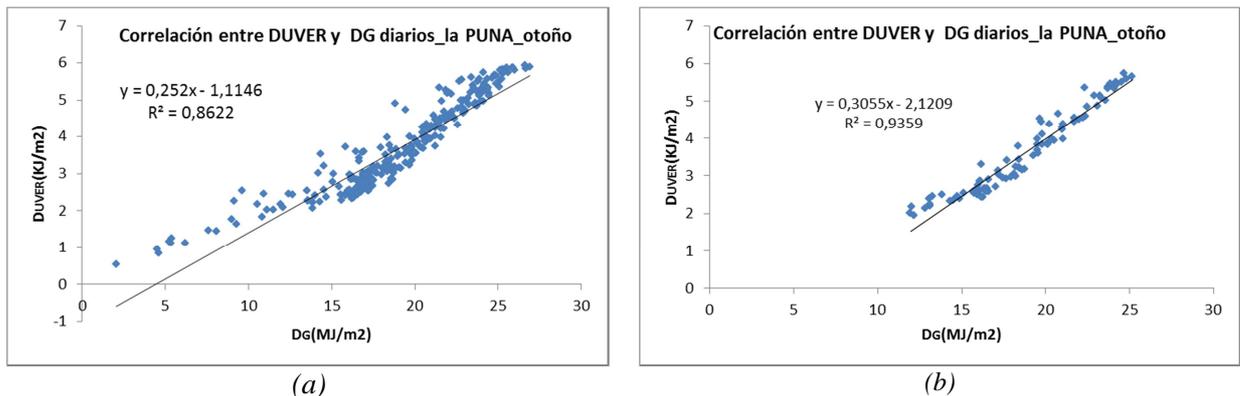


Figura 6: regresión lineal entre dosis diarias de UVER y Global en la estación de otoño en la PUNA: (a) mediciones de tres años y (b) promedio de tres años.

El ajuste entre la DUVER y DG se muestra en la figura 6. En la nube de puntos de la figura 6 (a), que utiliza los datos de tres años, se observa que existe una buena correlación lineal (2) con un valor de R^2 de 0.86. En la figura 6 (b), basada en los datos promedios de tres años, esta correlación (3) es mejor con un R^2 de 0.93. Esto nos permitió estimar la D_{UVER} (KJ/m^2) a partir de medidas de D_G (MJ/m^2) en la PUNA, durante la estación otoñal.

$$D_{UVER} = 0.252 \cdot D_G - 1.1146 \quad (2)$$

$$D_{UVER} = 0.3055 \cdot D_G - 2.1209 \quad (3)$$

Los procedimientos descritos con anterioridad se aplicaron a cada una de las estaciones del año, verano, primavera, otoño e invierno. Los resultados del ajuste se detallan en la tabla 1, donde se observó que las correlaciones calculadas a partir de los valores promedios, tienen mayores pendientes

que las obtenidas a partir de los datos integrales. Además las dosis acumuladas UVER, en las estaciones de primavera (627.17 KJ/m²) y verano (665.90 KJ/m²) son prácticamente el doble de las acumuladas en las estaciones de otoño (332.93 KJ/m²) e invierno (319.05 KJ/m²). Las globales también son muy superiores en primavera y verano (2729.22 MJ/m² y 2569.82 MJ/m²) comparadas con las de otoño e invierno (1728.21 MJ/m² y 1792.94 MJ/m²).

Estación	Correlación totales	R ²	Correlación promedio	R ²	D _G (MJ/m ²)	D _{UVER} (KJ/m ²)
Invierno	$D_{UVER}=0.2494*D_G - 1.3927$	0.92	$D_{UVER}=0.2675*D_G - 1.7447$	0.97	1792.94	319.05
Primavera	$D_{UVER}=0.2901*D_G - 1.8448$	0.80	$D_{UVER}=0.326*D_G - 2.8866$	0.85	2729.22	627.17
Verano	$D_{UVER}=0.2191*D_G + 1.1449$	0.86	$D_{UVER}=0.2517*D_G + 0.2133$	0.88	2569.82	665.96
Otoño	$D_{UVER}=0.252*D_G - 1.1146$	0.86	$D_{UVER}=0.3055*D_G - 2.1209$	0.94	1728.21	332.93

Tabla 1: Dosis acumuladas y correlaciones entre D_{UVER} y D_G estacionales en la PUNA.

Dosis diaria mensual UVER y Global: promedio, máxima y mínima

La evolución temporal de los valores de dosis diarias de radiación Global y UVER, en el período estudiado se ha evaluado a fin de obtener promedios y dispersiones mensuales. Se calculó dosis máxima/mínima mensual, dosis media mensual y desviación estándar porcentual (dispersión porcentual de las mediciones respecto del promedio).

Los datos completos se mostraron en las figuras 7 (a y b), con curvas de valores de radiación acumulada G y UVER para un día promedio mensual durante un año. Este año se obtuvo con los valores medios durante las dos campañas de medición. Estas curvas se pueden utilizar para evaluar dosis biológicamente activas y su rango de dispersión. Los valores extremos acumulados mostraron la amplitud de variación respecto al promedio. Esto nos permitió comparar con otros emplazamientos con diferentes características físicas y climáticas.

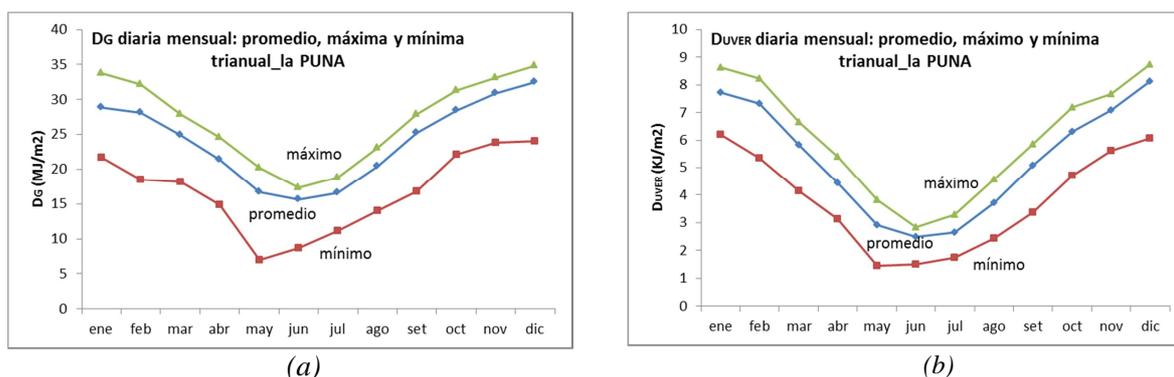


Figura 7: Variación de la dosis de radiación diaria Global(a) y UVER (b) promedio, máximos y mínimos mensuales, en la PUNA.

La distribución promedio durante el año muestra una clara dependencia con la estacionalidad en ambas variables, con curvas que se distribuyen suavemente desde los valores de dosis mayores en verano, hasta las menores de la estación invernal. Los valores máximos mensuales acompañan esta distribución pudiendo decir que son buenos indicadores de las dosis promedios mensuales. Los valores mínimos se dispersan más de los correspondientes en la distribución promedio. Por lo tanto no son buenos indicadores de las dosis de radiación en el emplazamiento. A similares conclusiones se arribaron cuando se analizaron estas distribuciones en los emplazamientos El Rosal y Salta Capital (Suárez et al, 2016).

Los valores máximos de D_G y D_{UVER} se producen en diciembre. Existe asimetría en sus distribuciones anuales, ya que las pendientes de disminución en ambas, correspondiente al período de verano-otoño son más pronunciadas que las de crecimiento en el período de invierno y primavera.

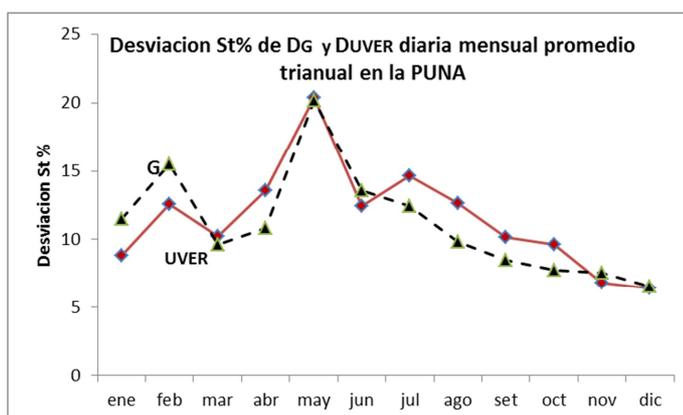


Figura 8: Desviación standart porcentual en los cálculos de promedios mensuales trianual de dosis de radiación Global y UVER, en la PUNA.

Las fluctuaciones respecto del promedio serán menores cuando haya mayor estabilidad climática, como ocurre en la PUNA, y viceversa. Valores extremos de dispersión para G y UVER oscilan entre 6.54% y 6.40% durante el mes de diciembre a 13.54% y 12.41% en el mes de Junio y los máximos, 20.17% y 20.39% en el mes de mayo (figura 8). En Salta Capital esas dispersiones son mucho más elevadas, 17.81% y 16.22% en el mes de julio a 30.40% y 27.68% en diciembre. Estos valores de dispersión en la PUNA, rondan el 10 %, indican la posibilidad de realizar buenas estimaciones de irradiación. Los valores extremos se dan en las estaciones opuestas para la PUNA respecto de Salta capital, esto es debido a mayor estabilidad climática en el verano puneño comparada con el de Salta Capital. El caso inverso ocurre en la estación de invierno (Suárez et al, 2016).

Dosis anual de irradiación UVER y Global

En la Tabla 2 se mostró las dosis diarias de irradiación promedio anual de DG (MJ/m²/día) y DUVER (KJ/m²/día), además de su dispersión y la razón UVER/G %. Durante el año la DUVER constituye el 0.021% de la global. Idéntico valor que el obtenido en El Rosal, región con algunas características físicas similares a las de PUNA (altura, clima árido, escasa humedad). En Salta Capital (1260 msnm, clima húmedo) este valor fue de 0.022%. Las dispersiones respecto del promedio (11.14% y 11.53% para G y UVER) rondan el 10% (en El Rosal son elevadas, 23.9% y 36.3%, y mucho mayores, 40.1% y 47.2% respectivamente en Salta Capital). Los promedios diarios anuales de G y UVER son mayores en la PUNA, con 24.14 MJ/m² y 5.31 KJ/m², comparados con el Rosal con 23.81MJ/m² y 5.00 KJ/m² y Salta Capital con valores mucho menores, 17.02 MJ/m² y 3.77 KJ/m² respetivamente (Suárez et al, 2016). O sea que en la PUNA se recibió el 42% más de dosis de radiación global que en Salta Capital y el 41% más de DUVER. Los máximos de DG y DUVER fueron de 34.79 MJ/m² y 8.74 KJ/m². Los mínimos correspondientes, 6.92 MJ/m² y 1.46 KJ/m².

LA PUNA	promedio diario anual	
	G (MJ/m2)	UVER (KJ/m2)
promedio	24,14	5,31
desv St	2,53	0,55
mínimo	6,92	1,46
máximo	34,79	8,74
desv st%	11,14	11,53
UVER/G%	0,021	

Tabla 2: dosis de radiación Global y UVER diaria promedio,máximo y mínimo,dispersiones y razón UVER/G % anual en la PUNA.

Los valores acumulados de G y UVER durante un año, se mostraron en la Tabla 3, en global 8811.9 MJ/m² y en UVER 1938.1 KJ/m². Estos valores son superiores a los medidos en El Rosal (8691.2 MJ/m² y 1825.8 KJ/m²) y en Salta Capital (6210.8 MJ/m² y 1377.4 KJ/m²). Las diferencias relativas porcentuales entre el sitio más irradiado y alto, la PUNA; y el de menor altura, Salta Capital, fueron del 38% y 41% mayores para DG y DUVER respectivamente. La dosis diaria eritémica promedio fue de

53.1 SEDs, mientras que lo recomendado por WHO es de 1.09 SEDs para una exposición de 8 hs diaria.

Dosis Anual de Irradiación Global y UVER en la PUNA	
G (MJ/m ²)	8811,9
UVER (KJ/m ²)	1938,1
UVER (SED)	19381,4

Tabla 3: dosis anuales de radiación Global y UVER en la PUNA

Estación	D _G /D _G año %	D _{UVER} /D _{UVER} año %
Invierno	20,33	16,40
Primavera	30,94	32,24
Verano	29,14	34,24
Otoño	19,59	17,12

Tabla 4: Contribución porcentual de cada estación a la radiación acumulada anual G y UVER.

De acuerdo a los valores de D_G y D_{UVER} acumulados para las cuatro estaciones del año (Tabla 1), y las dosis anuales (Tabla 3), podemos calcular los porcentajes acumulados en cada estación, lo que nos da información del riesgo eritémico al que se expone la población de esta región de PUNA. La contribución a la dosis anual de las cuatro estaciones se presentan en la Tabla 4.

Correlación D_{UVER} y D_G anuales

El ajuste entre la dosis diarias de UVER y G, a partir de datos de tres años de medición, se presentó en la figura 9. Se observó una buena correlación con R² de 0.91 muy superior a los ajustes en el Rosal (R² = 0.83) y Salta Capital (R² = 0.72) (Suárez et al, 2016). Esto nos dice que en la PUNA, las dosis diaria de UVER se pueden obtener directamente de sus correspondientes medidas de dosis G diarias.

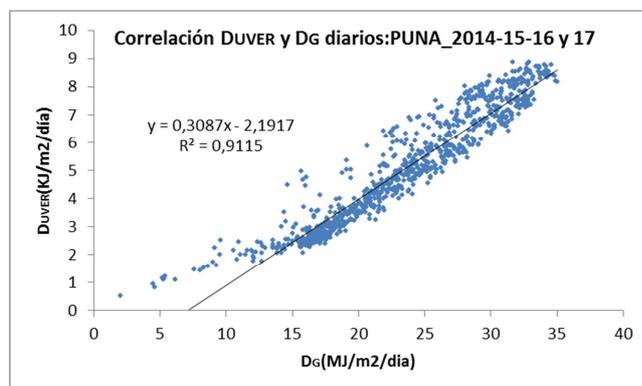


Figura 9: regresión lineal entre dosis diarias de radiación UVER y Global en la PUNA

Utilizando los datos de las campañas 2014-2015-2016 y 2017, de dosis UVER y G (sin discriminar entre cielos despejados o con nubes), se estableció la correlación lineal (4). Esta tiene una pendiente (0.3195) que es superior a las obtenidas para el Rosal (0.2903) y Salta Capital (0.2192) (Suárez et al, 2016). La ordenada al origen (-2.459 KJ/m²) es del orden de las dispersiones por lo que es posible afirmar que la expresión (4) cumple la condición matemática que para D_G nulas, la D_{UVER} también será nula.

$$D_{UVER}(KJ/m^2) = 0.3195 * D_G(MJ/m^2) - 2.459 \quad (4)$$

CONCLUSIONES

Se estudió y analizó mediciones de irradiación eritémica y Global recopiladas durante los años 2014, 2015, 2016 y 2017 en la región de PUNA de la provincia de Salta (Argentina). Se analizó el índice UV al mediodía solar y las dosis eritémicas diarias de UVER y G; mensual, estacional y anual. Los valores de índice UV calificaron de riesgo *muy alto* y *extremo* en el 67 % de los casos al mediodía solar y solo en el 9 % de los mismos el riesgo fue *moderado* o *bajo*.

Se obtuvieron correlaciones empíricas entre dosis globales y eritémicas para cada estación y anual. Las relaciones UVER/G % diaria estacionales fueron 0.026 %, 0.019 %, 0.018 % y 0.023 % para la estaciones de verano, otoño, invierno y primavera respectivamente.

Los valores de dispersión en la PUNA rondan el 10 %, siendo indicativo de la posibilidad de realizar buenas estimaciones de irradiación UVER a partir de G. Las contribuciones porcentuales a la dosis UVER acumulada anual para la estaciones de verano, otoño, invierno y primavera fueron 34.24 %, 17.12 %, 16.40 % y 32.24 %.

Los valores acumulados de G y UVER durante un año fueron de 8811.9 MJ/m² y 1938.1 KJ/m². Estos valores son superiores a los medidos en sitios de menor altura como Salta Capital (1200 msnm, latitud 24.72° S y longitud 65.40° O). Las diferencias relativas porcentuales entre el sitio más irradiado y alto, la PUNA; y el de menor altura, Salta Capital, fueron del 38% y 41% mayores para DG y DUVER respectivamente.

La dosis diaria eritémica promedio es de 53.1 SEDs, mientras que lo recomendado por WHO es de 1.09 SEDs para una exposición de 8 hs diaria. Esto nos dice que hay que emplear estrategias de fotoprotección para mitigar los efectos nocivos de la radiación UVER.

Los valores máximos diarios de dosis de radiación UVER y G tienen lugar en los meses de verano y los valores mínimos en invierno, esto como consecuencia de mayores ángulos cenitales solares en invierno. La relación UVER/G % presenta máximos coincidentes con una mayor frecuencia de nubosidad. Esto se debe a la mayor transmitancia de las nubes en la región UV, que en otras bandas que integran la radiación Global.

REFERENCIAS

- Guies P, Glanz K, O’Riordan D, Elliott T y Nehl E (2009). Measured Occupational Solar UVR Exposures of Lifeguards in Pool Settings. *Am J Ind Med.*: 645–653.
- McKenzie R.L., Matthews W.A, Johnston P.V., The relationship between erythemal UV and ozone, derived from spectral irradiance measurements, *Geophys. Res. Lett.*18 (1991) 2269–2272
- McKinlay A F y Diffey B L. (1987). A reference action spectrum for ultra-violet induced erythema in human skin”. En el libro *Human Exposure to Ultraviolet Radiation: Risks and Regulations*. W.F. Passchier and B.F.M. Bosnjakovich, eds. *International Congress Series*. 83-87.
- Puliafito, E.; Puliafito, C. (1999): “Ground based detection of stratospheric ozone using microwave radiometry-spectroscopy”. *Anales del Workshop Internacional organizado por la Inter-American Institute for Global Change Research (IAI)*. Buenos Aires, Argentina. Pps. 27-37. Setiembre.
- Riordan C, Hulstrom R y Myers D (1990): Influences of atmospheric conditions and air mass on the ratio of ultraviolet to total solar radiation. *Solar Energy Research Institute. Technical Report*.
- Salum G y Piacentini R. (2004). Índice UV de riesgo solar y su relación con la irradiancia global en Rosario y su región. *AVERMA*. Vol. 8, N° 2,. Impreso en la Argentina. ISSN 0329-5184
- Suárez H., Salazar G, Acosta D, Cadena C, Adámo J, Castillo J, Suligoy H, Fernández C, Marín M, Utrillas P y Martínez Lozano J. (2013): Medición del riesgo solar en Salta. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 17, pp.11.111-11.118. ISSN 2314-1433.
- Suárez H., Salazar G, Acosta D., Cadena C. y Suárez G. (2016): Dosis eritémica diaria a partir de irradiación global en Salta. *ASADES 2016*.
- WHO (World Health Organization) (2002). *Global solar UV index. A practical guide*. Publicado por World Health Organization.
- Zabziparvar A.(2009). Estimation of clear-sky effective erythema radiation from broadband solar radiation (300-3000nm) data in and arid climate. *International Journal of Climatology* 29:2027-2032

ANNUAL AND SEASONAL CORRELATION BETWEEN DOSES OF ERITEMIC AND GLOBAL IRRADIATION, IN THE PUNA REGION (SALTA, ARGENTINA)

Abstract: Measurements of erythemal irradiation (UVER) and Global (G) were performed during the years 2014, 2015, 2016 and 2017 in the town of Tolar Grande (lat: -24.59, long: -67.40 and 3560 msnm), PUNA region Of the province of Salta (Argentina). The UV index was analyzed at solar noon and daily erythemic doses of UVER and G; monthly, seasonal and anual. Empirical correlations were obtained for each season and yearly. UV index values rated *very high* or *extreme* risk in 67% of the cases at solar noon and only in 10% the risk is *moderate* or *low*. The seasonal UVER / G% ratios were 0.026 %, 0.019 %, 0.018 % and 0.023 % and the percentage contributions to the annual accumulated UVER dose were 34.24%, 17.12%, 16.40% and 32.24%, for the summer, autumn, winter and spring seasons respectively.

Keywords: erythemic irradiation, UV index, global irradiation, radiation dose, solar energy.