

VARIABILIDAD DIARIA Y ANUAL DE RADIACIÓN SOLAR ERITÉMICA EN TRES REGIONES DE LA PROVINCIA DE SALTA

Suárez H.^{1,2}, Castillo J.^{1,2}, Salazar G.^{1,2}, Acosta D.¹, Cadena C.^{1,2}, Marín M.J.³, Utrillas P.³ y Martínez L.J.A.³

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

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

³Universitat de Valencia, Dr. Moner 50, 46100, Valencia, España.

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

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

Recibido 13/08/14, aceptado 21/09/14

RESUMEN: Se presentan resultados obtenidos al medir la radiación eritémica (UVER) en tres lugares de la provincia de Salta (Argentina) y que se encuentran a distintos niveles de altura sobre el nivel del mar, durante el período Diciembre 2012 – Diciembre 2013. La variabilidad en las medidas de UVER se determinó mediante comparación horaria, diaria y promedio mensual. Los resultados experimentales obtenidos para periodos anuales, indican elevados niveles de riesgo solar en la ciudad de Salta (1.232 msnm), San Carlos (1.629 msnm) y El Rosal (3.354 msnm) tanto alrededor del mediodía solar como también en los distribuidos horariamente a lo largo del día. Al mediodía solar se dan valores de IUV máximos de 17 y 15 para El Rosal y Salta en el verano, mientras que en invierno se midieron valores promedios (IUV) de 6 y 5 respectivamente. Las mediciones muestran incrementos de UVER con la altura.

Palabras clave: Radiación UV, Índice UV, radiómetro, eritema.

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). La radiación solar ultravioleta (UV), en los rangos ultravioleta B (UVB, 280-320 nm) y ultravioleta A (UVA, 320-400 nm), tiene múltiples consecuencias para la vida en nuestro planeta, ya que en dosis apropiadas sus efectos son favorables para ciertos procesos biológicos, pero en dosis excesivas y debido a que son acumulativas sus consecuencias pueden ser muy perjudiciales para los seres vivos. Los efectos dañinos pueden ser envejecimiento prematuro de la piel, diversos tipos de cáncer, cataratas, afecciones oculares y numerosas enfermedades denominadas fotodérmicas (WHO, 2006).

La exposición a la radiación solar UV puede dar lugar a efectos crónicos en la salud de la piel, ojos y sistema inmunológico. La intensidad de la radiación UV aumenta con la altitud sobre el nivel del mar debido a dos efectos. Por una parte, a mayor altitud es menor el espesor de atmósfera que recorre la radiación. Por otra parte, a mayor altitud la radiación UV se atenúa por una menor cantidad de componentes atmosféricos debido a la importante disminución de la densidad atmosférica con la altura (Blumthaler et al., 1997). El efecto de las nubes es muy variable, ya que depende del tipo y la cantidad de nubes presentes en la atmósfera. En presencia de nubes, la radiación solar ultravioleta puede disminuir, en términos medios, un 44 % (Al-Aruri et al, 1990).

Los efectos dañinos de la radiación UV no sólo dependen de la dosis de radiación recibida sino también del fototipo cutáneo. El IUV es una herramienta importante para la toma de conciencia de la población sobre los riesgos de la exposición excesiva a la RUV y para advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección (WHO, 2006). Mediciones precisas son necesarias tanto para el contraste de datos satélites como para la comprobación de modelos. En este trabajo se presentan resultados obtenidos al medir UVER sobre plano horizontal en tres lugares de la provincia de Salta (Argentina) y que se encuentran a distintos niveles de altura sobre el nivel del mar durante el período Diciembre 2012-Diciembre 2013.

IRRADIANCIA ERITÉMICA, NIVEL DE RIESGO SOLAR Y EMPLAZAMIENTOS

Un efecto negativo frecuente en la piel humana es la quemadura o eritema solar por lo que el espectro de acción CIE eritematogénico (Mc Kinlay, 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 o IUV. La respuesta biológica de formación del eritema por exposición a una dosis de radiación UV es lo que se denomina Dosis Eritémica Mínima o MED (Madronich y Flocke, 1997). Los diferentes individuos no presentan la misma sensibilidad a la radiación UV debido a la protección propia de la piel por pigmentación melánica (fototipos), es por eso que 1 MED varía entre 200-450 J/m^2 según la escala Fitzpatrick y norma DIN 50-50 ($MED_I=200 J/m^2$, $MED_{II}=250 J/m^2$, $MED_{III}=350 J/m^2$ y $MED_{IV}=450 J/m^2$). Para uniformizar la toma de datos y comunicación, se define la Dosis Eritémica Standart (SED, por sus siglas en inglés), donde $1SED = 100 J/m^2$. Las categorías de riesgo solar y la escala de colores internacional se muestran en la tabla 1 y son

recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP); aunque existen países donde utilizan otro código de colores (ej: Australia) (WHO, 2002).

Las medidas de UVER se realizaron en Salta (Capital), en la localidad de San Carlos (Valle Calchaquí) y en el paraje El Rosal. En tabla 2 se muestran latitud, longitud y altura de los emplazamientos. Los instrumentos utilizados fueron radiómetros de banda ancha UVS-E-T de Kipp & Zonen y el almacenamiento de datos se realizó con dataloggers CR1000.

Índice UV	Riesgo solar	Color
< 3	Bajo	Verde
3 - 5	Moderado	Amarillo
6 - 7	Alto	Naranja
8 - 10	Muy alto	Rojo
> 10	Extremo	Purpura

Tabla 1: Nivel de Riesgo Solar (O.M.S, O.M.M) en IUUV y en escala internacional de colores.

Emplazamientos	Salta	San Carlos	El Rosal
Latitud	24°43'43" S	25°54'29" S	24°23'35"
Longitud	65°24'35" W	65°56'35" W	65°46'06" W
Altura(m.s.n.m)	1232	1629	3354

Tabla 2: Coordenadas geográficas y altura de los emplazamientos.

MEDICIONES Y RESULTADOS

La Radiación Ultravioleta Eritémica en Salta

Los datos de irradiación UVER, presentados en el mapa climatológico anual (figura 1) en la ciudad de Salta, fueron tomados durante un periodo anual, desde diciembre del 2012 hasta diciembre del 2013. Estos se muestran en su totalidad (días claros, nublados y parcialmente nublados), para los meses del año. Se utilizó el código internacional de colores para representar las variaciones de UVER en unidades de IUUV.

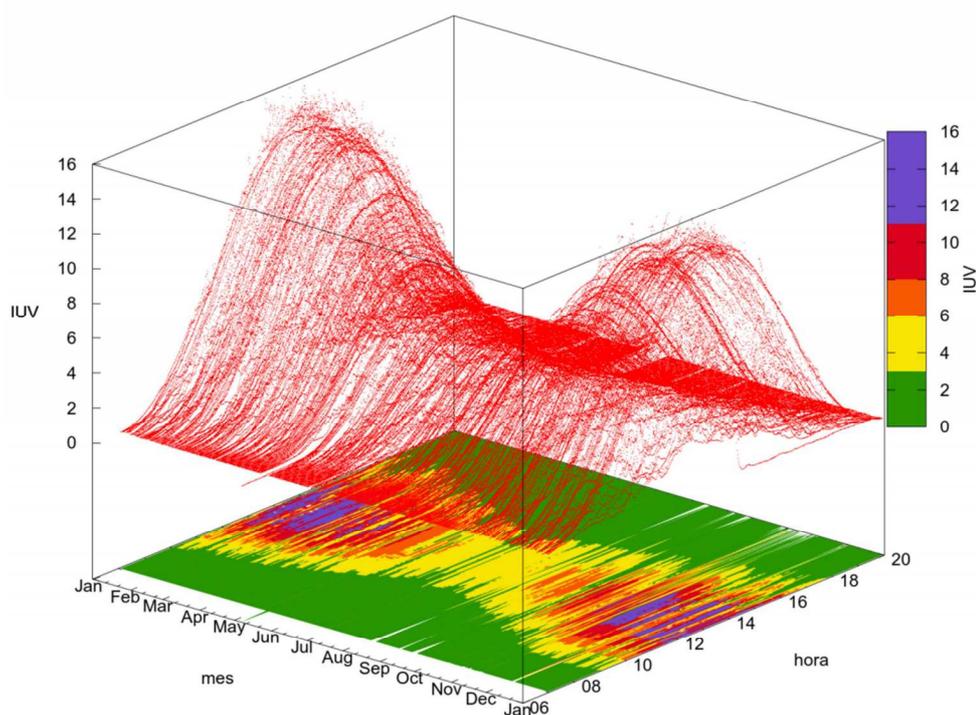


Fig 1: Distribución de la radiación UVER para Salta utilizando el código internacional de colores.

En esta figura se puede identificar las zonas de riesgo extremadamente alto (color purpura) alrededor del mediodía solar desde enero a marzo (época de vacaciones y donde mayor actividad al aire libre realizan principalmente los jóvenes y niños, por lo que deberían extremar medidas de fotoprotección) y desde octubre del 2013 hasta diciembre. Índices UV muy altos (color rojo) se dan desde enero hasta abril y desde agosto hasta diciembre, alrededor del mediodía solar. Durante la temporada estival estos índices muy altos suceden a partir de las 10:00 hs en la mañana hasta las 16:00 hs a la tarde. El riesgo moderado (color amarillo) prevalece en la época invernal, desde las 10.00hs a 16:00 hs en tanto que en la época estival su presencia comienza a las 9:00 hs en la mañana y hasta las 10:00 hs y desde las 16:00 hs hasta las 17:00 hs en la tarde. También en esta temporada invernal hay que guardar recaudos dado que es la época del año donde mayor cantidad de horas de sol se presentan por tener cielos claros. Índices UV bajos se dan antes de las 9.00 hs y después de las 17:00 hs para la temporada estival y antes de las 10:00 hs y después de las 16:00 hs en la estación invernal.

Radiación UVER en días típicos durante las estaciones del año

Durante el transcurso de cada hora y a lo largo del día se pueden observar importantes variaciones de la radiación UVER, debido al efecto de las nubes y/o a los cambios en la posición del sol. Los efectos que se derivan de la exposición a dicha radiación aumentan a medida que disminuye la masa de aire atravesada por la radiación solar y, por tanto, dependen de la hora solar. El estudio de la radiación UV horaria que alcanza la superficie permitirá estudiar el comportamiento dinámico de los principales factores que la afectan. Concretamente se realiza un estudio comparativo a lo largo de todo un año para conocer el comportamiento de la radiación UVER para diferentes condiciones climatológicas de Salta.

La distribución diaria de radiación UVER (presentada como IUUV) correspondiente a cuatro días claros distribuidos a lo largo del periodo de medición son presentados en la figura 2. Corresponden a los medidos en días próximos a los equinoccios (de setiembre y marzo) y solsticios (de diciembre y junio). Estos días se eligieron por ser de cielo claro y representativos de la variación anual de la radiación UVER. Se utiliza el código internacional de colores para una mejor visualización e interpretación de la distribución de los niveles de riesgo solar ultravioleta, durante el transcurso del día en las diferentes estaciones del año. Se ilustró un día de cielo claro representativo de otoño, el 21/03/2013; otro de invierno, el 05/06/2013; un día típico de la estación primaveral, el 21/09/2013 y finalmente un día que refleje las variaciones de UVER durante el verano, el 28/12/2013 en Salta (Capital). En la figura 2, la simetría de las curvas de septiembre y junio indican días con ausencia de nubes mientras en diciembre y marzo existen asimetrías al final de la tarde, indicando presencia de nubes y/o aerosoles que reducen los valores de radiación incidente.

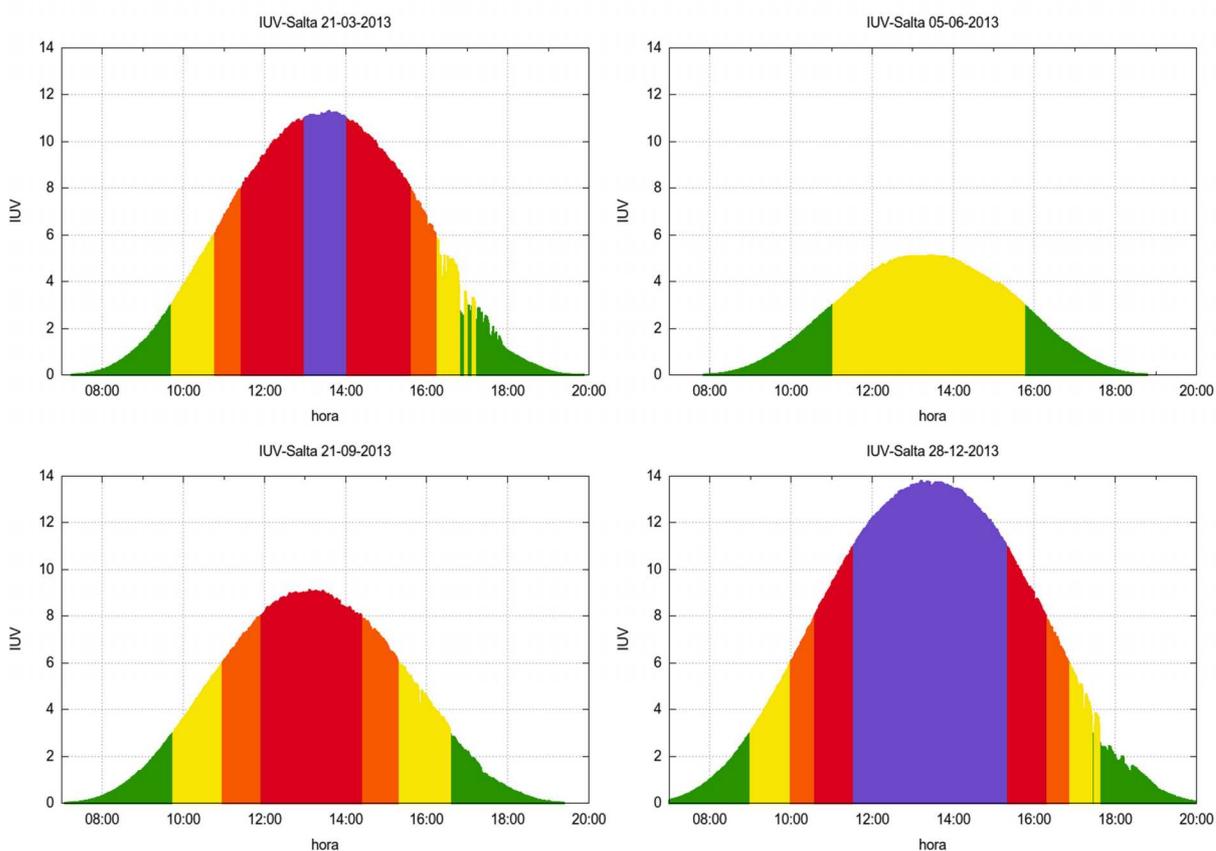


Fig 2: Distribución de IUUV diario para días claros a lo largo del periodo de medición en Salta, utilizando el código internacional de colores (OMS).

A medida que avanza la mañana, los valores de radiación solar ultravioleta, van aumentando hasta alcanzar un valor máximo en torno al mediodía solar, a partir del cual vuelven a disminuir a lo largo de la tarde. La variación anual de los niveles de radiación registrados desde las primeras horas de la mañana, pasando por el mediodía y hasta las últimas horas de la tarde expresados como IUUV y utilizando el código internacional de colores se muestran en la figura 2.

Los resultados de las mediciones reflejan la dependencia de la radiación UVER con respecto a la hora del día. Este comportamiento se debe al hecho de que el ángulo cenital solar y por tanto, el camino que la radiación recorre a través de la atmósfera hasta alcanzar la superficie, son mínimos al mediodía y máximos en las horas extremas del día. Consecuentemente, en las horas centrales del día, los procesos de absorción y dispersión que experimenta la radiación a su paso a través de la atmósfera son menores y los niveles de radiación UVER registrados son máximos.

Se observa, en la figura 2, la simetría de las distribuciones alrededor del mediodía solar y la disminución de las intensidades de radiación UVER desde el solsticio de verano hasta el solsticio de invierno y los equinoccios de primavera y otoño. El IUUV

para el día 28/12/2013, al mediodía solar alcanza el valor de 14 disminuyendo hasta llegar al equinoccio con un valor de 11.5 (18% de disminución) el día 21/03/2013 siendo muy notorio su descenso al acercarnos al solsticio de invierno donde su valor es de solo 5 (64% de disminución). Al acercarnos al equinoccio de primavera, al mediodía solar del 21/09/2013 el IUV tiene el valor 9.3 (34.5 % de disminución).

Radiación UVER máximas diarias

Los valores máximos de radiación ultravioleta se registran en torno al mediodía solar. Debido a las posibles aplicaciones tecnológicas y a los efectos biológicos de la UVER, resulta conveniente conocer dichos valores máximos así como los momentos en los que se registran. Especialistas han coincidido en que cuando se pronostica el IUV para el día siguiente se tienen que dar los valores de este al mediodía solar, asumiendo cielo despejado y con error del 10 % (WHO, 2002). La figura 3 es una gráfica de los valores máximos diarios de la irradiancia eritémica, tomados como un promedio alrededor de las 13:30 hs (mediodía solar local), correspondiente a todo el periodo de medición (enero 2013-diciembre 2013). Los valores de UVER están en unidades de IUV. Se observa un acentuado incremento de los niveles de radiación ultravioleta durante los últimos meses de primavera, alcanzando sus niveles más elevados a lo largo de los meses estivales (diciembre, enero y febrero) como así también un descenso pronunciado en los niveles de UVER a partir de marzo hacia la temporada invernal en junio. Los valores máximos diarios de radiación UVER pueden llegar a variar en un factor de 5.40, razón encontrada entre los valores observados en enero (IUV=15.05) y en junio (IUV=2.79). Si comparamos los valores promedios este factor se reduce a 2.53, razón encontrada entre los valores promedios observados en febrero (IUV=10.86) y en junio (IUV=4.30).

Los descensos “bruscos” de los valores de IUV corresponden a días nublados, en los que la cobertura de nubes reduce los valores de irradiancia. El valor más alto de irradiancia eritémica (IUV=19) se produjo el 20/01/2013 al mediodía solar, aunque es un valor atípico, siendo los IUV máximos más probables alrededor de 15, indicando riesgo extremo de quemadura solar. La caída más brusca, respecto a los valores esperados de la envolvente, corresponde a una reducción aproximada al 43% del IUV para verano e invierno.

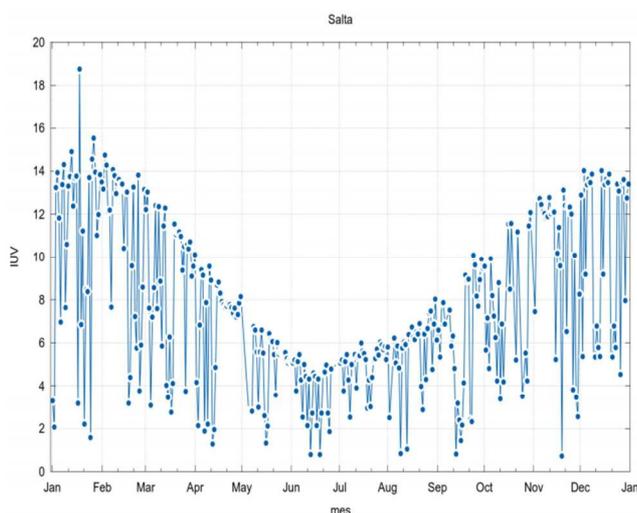


Fig.3: Radiación eritémica como IUV en el mediodía solar durante el año 2013.

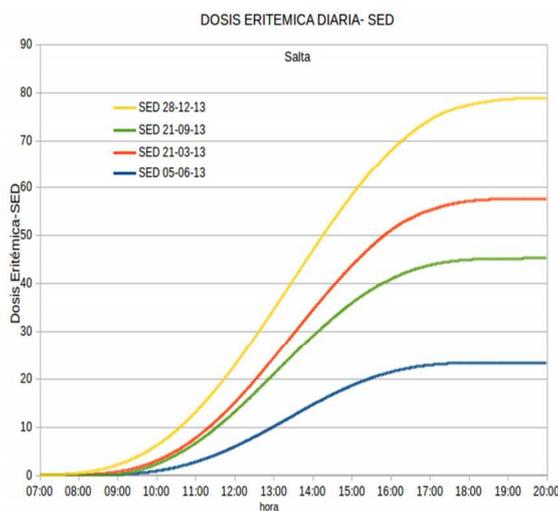


Fig. 4: Dosis eritémicas acumulados para 4 días en las distintas estaciones del año en Salta, 2013.

Radiación UVER acumulada

Desde el punto de vista de las consecuencias biológicas, es conveniente conocer el tiempo requerido para que se reciba una determinada cantidad de energía UVER. La energía eritémica, por unidad de área expresada en SEDs que se recibe durante todo el día, se obtiene por integración de los valores medios para cada minuto. La figura 4 ilustra estas acumulaciones diarias, para los cuatro días representados en la figura 2 en Salta (Capital).

Se observan valores de radiación UVER acumulados próximos a los 80 SEDs el día 28/12/2013 representando la temporada estival. Para el día 21/03/13 esta acumulación desciende a 58 SEDs, o sea el 27.5% de reducción respecto de la máxima. Luego, para el día 05/06/13 (inicio de la primavera) lo acumulado diario es 46 SEDs; representando el 46.5 % de reducción por último, el día 21/09/13, la UVER acumulada llega solamente a 23 SEDs o sea una reducción del 71.3%. La pendiente de estas curvas indica la velocidad de acumulación, ligado a la irradiación UVER disponible en esa franja horaria correspondiente. Para todos los días la mayor velocidad de acumulación (mayor pendiente de la curva) ocurre entre las 10:00hs y 16:00 hs. Esto se ve claramente en los gráficos de la figura 2 donde los colores correspondientes indican el nivel de riesgo. La energía eritémica acumulada a lo largo del día tiene una reducción de aproximadamente 22% en verano y del 50% en invierno.

La figura 5 muestra la variación a lo largo del año de la radiación solar UVER acumulada a lo largo del día, para todos los días del año y la acumulación diaria promedio mensual para todos los meses del año que se representan al final de cada mes. De acuerdo con ella se comprueba que mientras que los valores máximos de radiación UVER acumulada, se registran en el

mes de diciembre con 78 SEDs para la radiación UVER, con el máximo promedio mensual de 58.0 SEDs en idéntico mes, los mínimos se observan en el mes de junio con valores de 5 SEDs, aunque es un valor atípico, siendo el mínimo diario promedio mensual de 20.9 SEDs. De esta forma, la radiación solar UVER acumulada a lo largo de un día de diciembre supera, en términos medios, a la de un día de junio en un 177%, mientras que en los casos extremos, este incremento supera el 1000%. La razón entre la radiación diaria acumulada promedio máxima (correspondiente al mes de diciembre) y la mínima (registrada en el mes de Junio) es 2.8. Durante los meses de verano también se dan valores mínimos de dosis acumuladas de 20 a 30 SEDs debido a atenuación por nubes y precipitaciones.

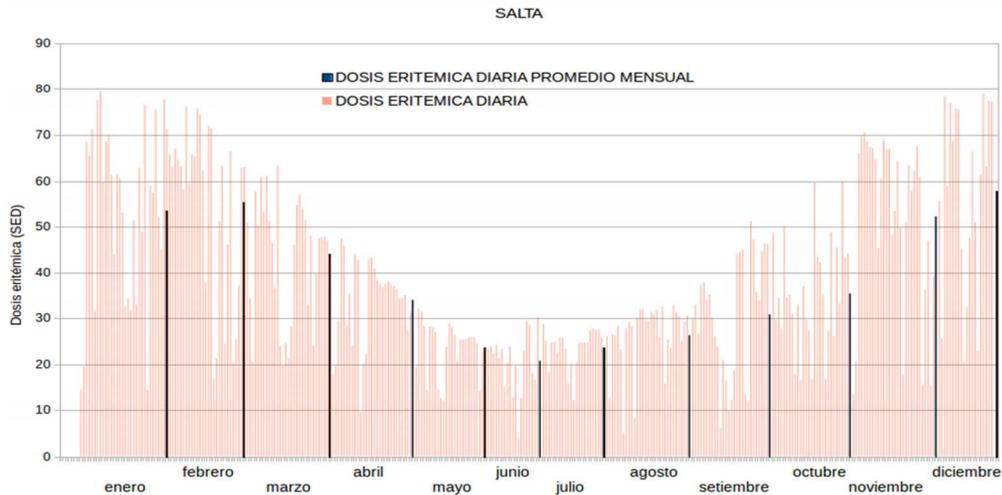


Fig 5: Distribución anual de UVER acumulada diaria y promedio diaria mensual en Salta (Capital)

La Radiación Ultravioleta Eritémica en San Carlos y El Rosal

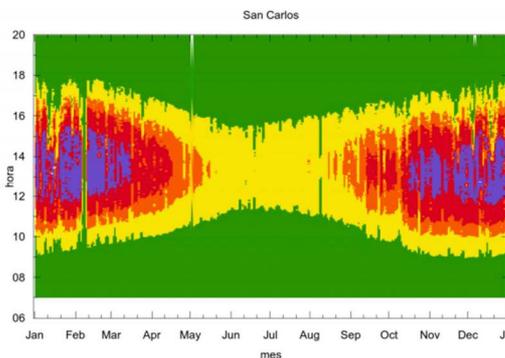


Fig 6: Distribución anual de radiación UVER utilizando el código de colores de riesgo UV (San Carlos, 2013).

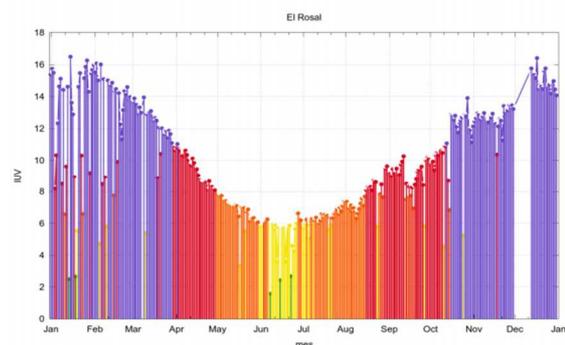


Fig.7: Radiación eritemica y riesgo solar anual en el mediodía solar. (El Rosal, 2013)

Para cada uno de estos emplazamientos de altura, la localidad de San Carlos y paraje El Rosal, se obtienen datos y gráficas que nos revelan información detallada de la distribución anual de UVER, ídem a los desarrollados para Salta. Como ejemplo, en la figuras 6 se muestra el mapa de distribución anual de UVER para San Carlos, utilizando el código internacional de colores para riesgo UV. A partir de estos datos se puede tener información detallada de las acumulaciones de radiación eritemica cada hora, día y mes; así como valores promedios horarios y diarios. La distribución de las mismas guarda similitud con las obtenidas para Salta. Otro ejemplo es la figura 7, que muestra para El Rosal la distribución anual de UVER (valores promedios alrededor del mediodía solar), su intensidad y clasificación de riesgo solar de acuerdo al código de colores. Un mayor análisis y detalle se realiza al hacer el estudio comparativo de irradiación UVER en estos tres emplazamientos de la Provincia de Salta.

ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE LAS LOCALIDADES DE SAN CARLOS, SALTA Y EL ROSAL

Índice UV y riesgo solar en días típicos durante las estaciones del año

La figura 8 muestra la distribución de radiación y riesgo UV en días claros de verano, indicándose la franja horaria correspondiente a los distintos niveles de riesgo. Alrededor del mediodía solar (11:30 a 15:30 hs), donde es mayor la incidencia de radiación eritemica, incide aproximadamente el 60 % de la radiación UVER total diaria. Esto se muestra por la predominancia de color púrpura en los tres lugares, siendo el Rosal el de mayor amplitud e intensidad. Los valores de radiación UVER se dan en IUUV. Estos son días representativos alrededor del solsticio de verano (21 de diciembre) y se

clasifica como de riesgo *extremo* durante la franja horaria mencionada. Si ampliamos la franja horaria a tres horas alrededor del mediodía solar (10:30 a 16:30 hs) los valores de riesgo UV califican de riesgo *muy alto* y *extremos*.

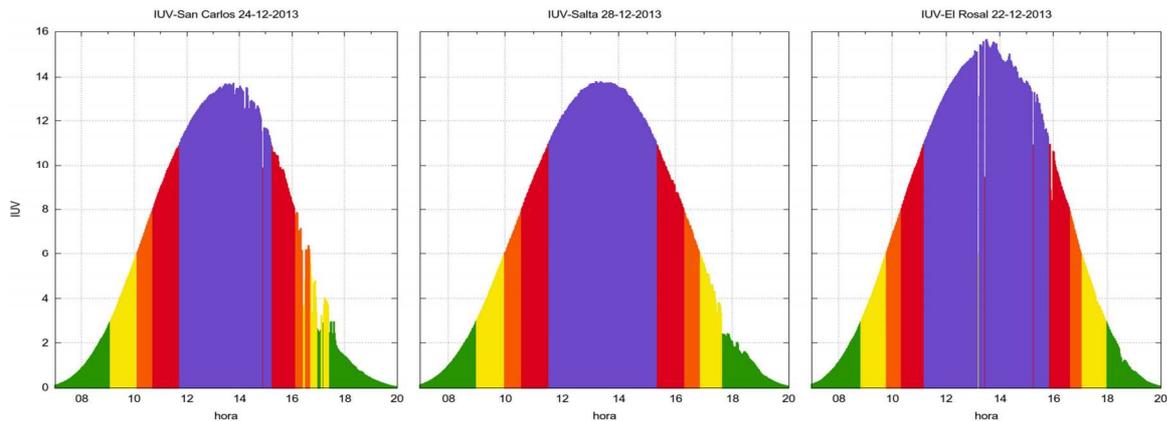


Fig 8: Comparación de los niveles de radiación UVER y riesgo UV en Salta (28/12/2013), San Carlos (24/12/2013) y El Rosal (22/12/2013).

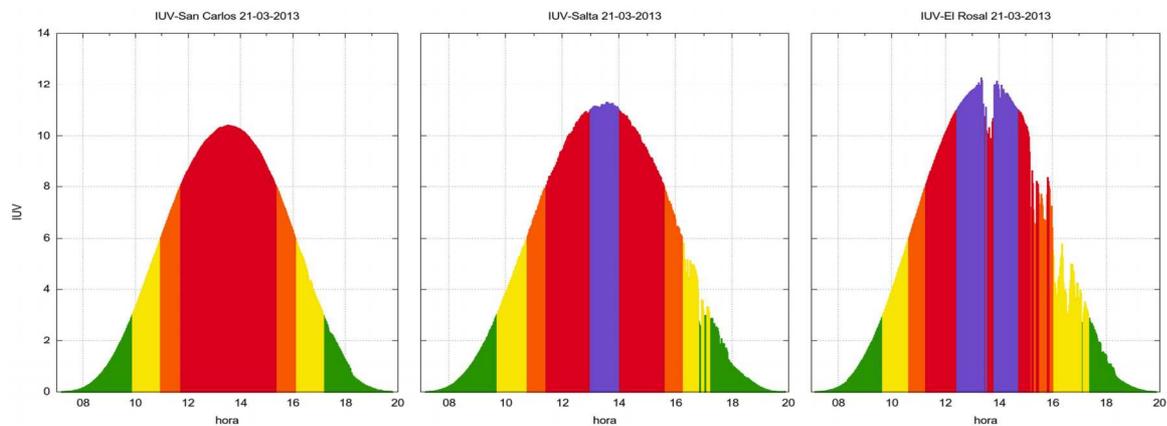


Fig 9: Comparación de los niveles de radiación UVER en San Carlos, Salta y El Rosal el 21 de Marzo del 2013.

La figura 9 muestra la distribución de radiación UVER en un día claro, al iniciar el otoño en todos los emplazamientos. En Salta y El Rosal se miden y se muestran en colores purpura y rojo valores de riesgo extremo y muy alto alrededor del mediodía solar, se miden máximos IUVs de 11.2 y 12.1 respectivamente. En San Carlos el máximo de IUV para ese día fue de 10.5, mostrando la franja correspondiente de riesgo solar con valores *altos* y *muy altos*. En El Rosal, en el mediodía solar se detecta la presencia de una nube, que provocó una disminución de UVER transitoria.

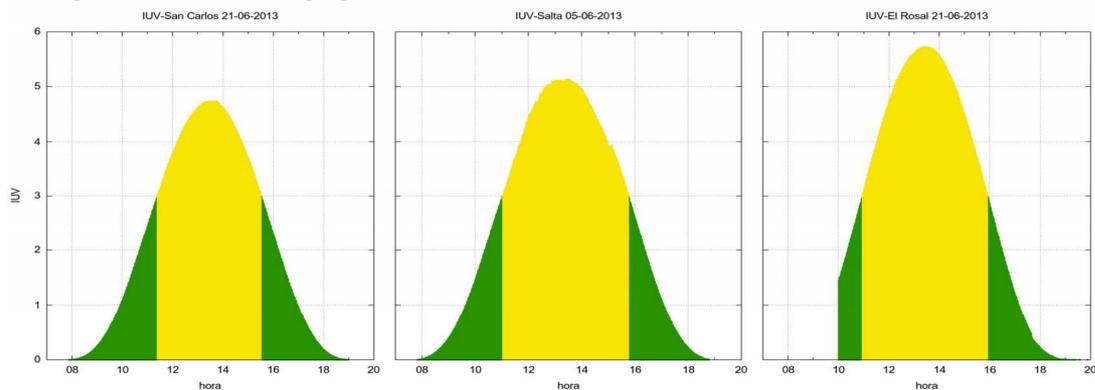


Fig 10: Comparación de los niveles de radiación UVER en Salta (05/06/2013), San Carlos y El Rosal (21/06/2013).

La figura 10 muestra la distribución de radiación en un día claro de invierno en los emplazamientos. Alrededor del mediodía solar (11:00 a 16:00 hs) es donde es mayor la incidencia de radiación eritémica, aunque el color amarillo indica un *riesgo moderado*, con valores de UVER máximos de IUV=5.8 para El Rosal. Esos valores descienden para Salta y San Carlos con IUV=5.2 e IUV= 4.7. Estos son días representativos alrededor del solsticio de invierno.

La figura 11 muestra la distribución de radiación en un día claro de primavera para las tres localidades. Valores de riesgo UV *muy altos* y *altos* se miden alrededor del mediodía solar (11:00 a 15:00 hs) pintados de color rojo y naranja con valores de UVER máximos (IUV=9) para El Rosal. Este valor se mantiene en Salta y desciende en San Carlos a IUV=8. La grafica truncada para El Rosal se debe a problemas en el sistema de adquisición de datos.

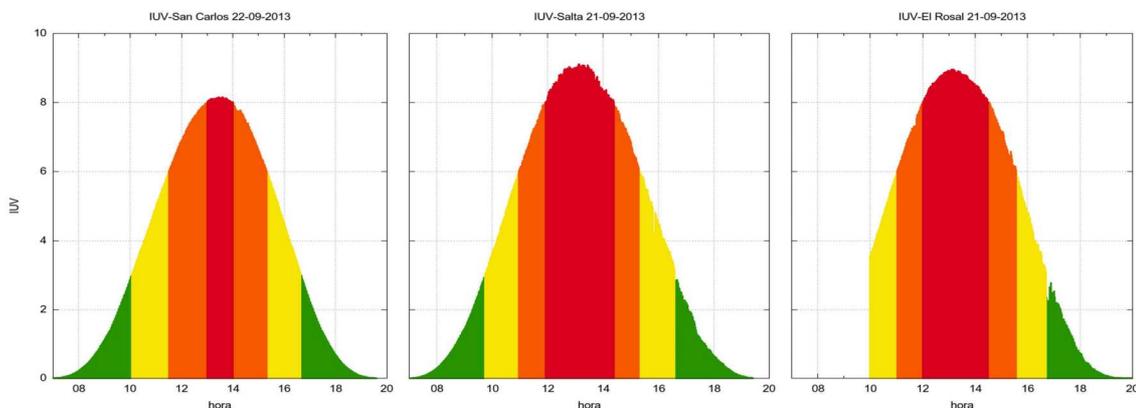


Figura 11: Comparación de los niveles de radiación UVER en San Carlos (22/09/2013), Salta y El Rosal (21/09/2013).

Riesgo solar UV promedio

A continuación se realiza un estudio comparativo entre los niveles de radiación registrados en Salta, San Carlos y El Rosal que se consideran más relevantes a los fines caracterizarlos desde el punto de vista de la irradiación UVER recibida, la radiación eritémica acumulada y los potenciales factores de riesgo UV. Para ello, la figura 12 presenta la variación diaria de los niveles de radiación UVER promedio en unidades IUV y SED/10min, para cada mes del año. Medir la radiación en SED/10min permite no solo estandarizar las mediciones sino que provee información que tiene en cuenta con mayor exactitud la dosis que podría acumularse (en SEDs) durante una exposición de 10 min en un determinado emplazamiento.

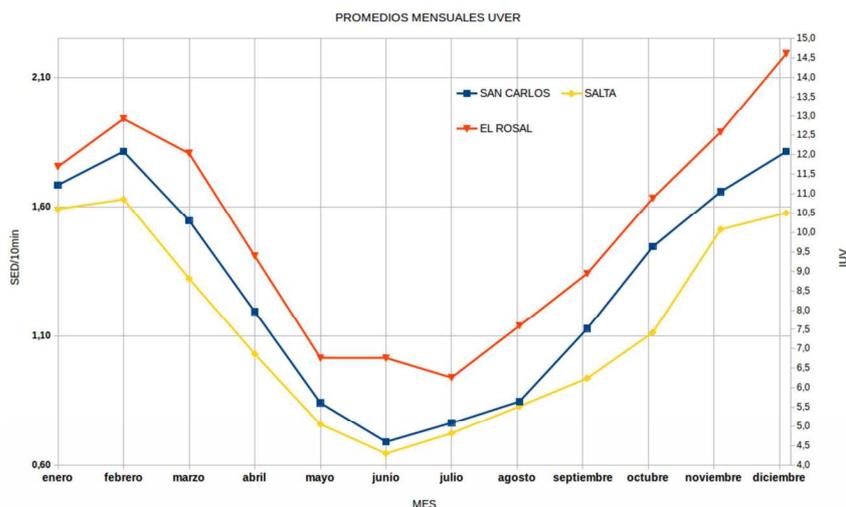


Fig 12: Distribución promedio mensual diaria de radiación UVER (SED/10 min e IUV) en tres emplazamientos de altura de Salta

Se considera la influencia de todos los días, sin distinguir entre días claros ni parcial o totalmente nublados. Se observa que los valores máximos corresponden a los sitios de mayor altitud sobre el nivel del mar. En diciembre el valor promedio de IUV para El Rosal es 14.6 (2.2 SED/10min), mientras en San Carlos es menor (IUV=12.1 o 1.82 SED/10min) y en Salta, que se encuentra a menor altitud, tiene un valor todavía menor (IUV = 10.5 o 1.58 SED/10min). En abril se muestra una tendencia a una disminución generalizada de estos valores promedios propios de la influencia estacional, obteniéndose valores IUV de 9.4, 8.0 y 6.9 (1.41, 1.20 y 1.04 SED/10min) para El Rosal, San Carlos y Salta respectivamente. El mes de más baja radiación es el de junio para los tres emplazamientos, con valores promedios mínimos de 6.8, 4.6 y 4.3 (1.02, 0.69 y 0.65 SED/10min) respectivamente. En Salta (Capital) existen valores promedios de *riesgo muy alto* en la temporada estival incluido el mes de noviembre; en el mes de junio el riesgo UV es *moderado*, mientras que en el resto del año el promedio es de riesgo UV *alto*. Todos estos promedios son acompañados por su correspondiente desviación estándar (σ), cuyos valores nos indican que las variaciones de las medidas de UVER son considerables. En El Rosal existen valores promedios de riesgo *extremadamente alto*, en la temporada estival incluido el mes de noviembre valores *muy altos* (abril, septiembre y octubre) y valores *altos* (mayo, junio, julio y agosto). En San Carlos también existen valores promedios de riesgo *extremadamente alto* en la temporada estival incluido el mes de noviembre; *riesgo muy alto* en el mes de marzo, abril y octubre y el resto de los

meses el riesgo es moderado (tabla 5). El promedio de irradiación mensual en la estación veraniega no mostró diferencias significativas en cada uno de los emplazamientos. Tampoco en la estación invernal.

Como un ejemplo de la utilidad de esta gráfica vamos a suponer una persona en la localidad de San Carlos en el mes de diciembre se expone a una radiación promedio de 1.82 SED/10min, esto significa que en el término de 10min está expuesto aproximadamente a 1.82 veces la dosis umbral recomendada (TLV, por sus siglas en inglés) ($TLV=109J/m^2 \approx 1SED=100 J/m^2$, para un periodo de exposición de 8 hs). Y estaría expuesto 2.2 y 1.8, veces más que lo recomendado en el término de 10 min si estuviera en El Rosal o Salta respectivamente, en horas cercanas al mediodía solar.

Año 2013	Salta (Capital)			El Rosal			San Carlos		
	IUV _m	σ	Riesgo	IUV _m	σ	Riesgo	IUV _m	σ	Riesgo
ene-13	10,6	4,4	Muy alto	11,7	4,1	Extremo	11,2	3,1	Extremo
feb-13	10,9	3,6	Muy alto	12,9	3,1	Extremo	12,1	2,3	Extremo
mar-13	8,8	3,2	Muy alto	12,0	1,6	Extremo	10,3	1,9	Muy alto
abr-13	6,9	2,5	Alto	9,4	1,0	Muy alto	8,0	1,2	Muy alto
may-13	5,1	1,5	Alto	6,8	0,9	Alto	5,6	0,9	Moderado
jun-13	4,3	1,5	Moderado	6,8	0,9	Alto	4,6	0,6	Moderado
jul-13	5,1	0,9	Alto	6,3	0,6	Alto	5,1	0,4	Moderado
ago-13	5,5	1,8	Alto	7,6	0,9	Alto	5,6	1,0	Moderado
set-13	6,2	2,8	Alto	8,9	1,1	Muy alto	7,5	1,5	Alto
oct-13	7,4	2,9	Alto	10,9	2,0	Muy alto	9,6	2,0	Muy alto
nov-13	10,1	3,5	Muy alto	12,6	0,8	Extremo	11,1	1,7	Extremo
dic-13	10,5	3,5	Muy alto	14,6	1,5	Extremo	12,1	3,1	Extremo

Tabla 5: Promedios diarios mensuales de IUV, desviación estándar (σ) y riesgo solar durante el mediodía solar en tres emplazamientos de altura de Salta.

El análisis de la desviación estándar, en la tabla 5, nos indica cómo se distribuyen los valores IUV alrededor del promedio. Para los tres emplazamientos, se observan desviaciones grandes en la estación estival (4.4 para Salta, en enero), valores intermedios durante otoño y primavera (1.5 para Salta, en mayo o San Carlos en septiembre), mientras que en la estación invernal se tienen los valores mínimos (0.9, 0.6 y 0.4 para las tres localidades). Esto se debe a la presencia de días nubosos y precipitaciones que alternan con días parcialmente nublados y con días de cielo claro, propios del verano. En cambio los valores bajos de la estación invernal hablan de bajas nubosidades, con prevalencia de cielos claros. Comparando cada localidad Salta tiene mayor dispersión mientras que el Rosal y San Carlos son más estables en cuanto a irradiación UVER se refiere.

Estos datos diarios muestran, en promedio, que los máximos valores de UVER se midieron en los lugares de mayor altura. Existen días particulares en los que la relación no se mantiene, como los graficados en la figura 2, en los que la UVER en Salta supera a la de San Carlos (que se encuentra a mayor altura) y se puede atribuir a la diferencia en nubosidad debido al clima, además de las diferencias en latitud de los emplazamientos que hacen que las cantidades de UVER deban ser corregidas para un mejor contraste.

Radiación UVER acumulada promedio

La variación a lo largo del año de la radiación solar UVER acumulada (promedio diario mensual) para todos los meses del año, en los tres emplazamientos de altura se muestra en la tabla 6. De acuerdo con ella se comprueba que los valores máximos de radiación UVER acumulada, se registran en el mes de diciembre con 58.0 SEDs, 71.2 SEDs y 64.1 SEDs para Salta, El Rosal y San Carlos respectivamente, mientras que los mínimos correspondientes se observan en el mes de junio con valores de 20.9 SEDs, 24.7 SEDs y 20.6 SEDs. De esta forma, la radiación solar UVER acumulada a lo largo de un día de diciembre supera, en términos medios a la de un día de junio en un 142%, 188% y 211% para Salta, El Rosal y San Carlos respectivamente y las correspondientes razones entre la radiación diaria acumulada promedio máxima (diciembre) y la mínima (Junio) son 2.8, 2.9 y 3.1 esto nos indica el grado de variación de radiación acumulada, siendo la mayor para San Carlos aunque la mayor acumulación diaria promedio le corresponde al sitio de mayor altura (El Rosal).

Dosis (SEDs)	Salta		El Rosal		San Carlos	
	Dosis _m	σ	Dosis _m	σ	Dosis _m	σ
enero	53,5	19,1	61,9	14,1	61,9	11,9
febrero	55,4	18,7	64,3	9,6	66,1	8,5
marzo	44,1	13,6	57,2	8,9	66,1	8,5
abril	34,0	9,3	44,2	5,2	38,7	5,3
mayo	23,7	5,8	30,2	3,9	26,1	3,6
junio	20,9	6,3	24,7	2,6	20,6	2,2
julio	23,8	4,1	28,1	2,4	23,1	1,8
agosto	26,4	7,0	34,7	4,4	27,1	4,7
septiembre	30,8	13,1	42,7	4,0	38,1	6,2
octubre	35,6	11,9	54,6	6,6	50,9	11,4
noviembre	52,2	18,6	61,2	5,5	61,9	5,3
diciembre	58,0	19,8	71,2	8,3	64,1	7,3

Tabla 6: Radiación UVER acumulada (promedio diario mensual) y desviación estándar (σ) en los tres emplazamientos.

Dado que existen numerosas personas que por diferentes motivos (trabajo, residencia, actividades al aire libre, etc) están expuestos elevados niveles de radiación UVER con consecuencias dañinas para su salud y requerimientos presupuestarios del estado para su atención, es fundamental educar para formar conciencia sobre la necesidad de adoptar estrategias de fotoprotección; sobre todo en las cuatro horas en torno al mediodía donde incide aproximadamente el 60% de la dosis de radiación total diaria.

CONCLUSIONES

La provincia de Salta recibe niveles elevados de radiación UVER de forma continua y en toda la región. Se ha presentado un análisis de los datos experimentales de irradiancia eritémica así como su evolución durante el periodo correspondiente al año 2013 para tres emplazamientos a diferentes alturas. Los valores máximos de radiación se registran durante los meses de verano y, más concretamente, en el caso de la radiación horaria, durante las horas centrales del día. Se comprueba que la radiación UVER presenta patrones de oscilación diurna que dependen de la variación de la masa de aire atravesada y, por tanto, de la hora del día, disminuyendo a medida que aumenta la masa de aire.

Los valores medidos de Índice UV en los tres sitios de altura indicaron valores altos y extremadamente altos de radiación UVER (entre las 10:00 y 17:00 Hs) para la temporada estival, este valor del riesgo UV permanece hasta el mes de marzo en los sitios de mayor altura. En la estación invernal los riesgos UV son mayormente moderados y durante la primavera encontramos valores altos y muy altos. Los valores acumulados son grandes y predominan al incrementarse la altura para una misma latitud. Los diferentes fototipos cutáneos están expuestos al eritema y las dosis UVER exceden el LEV recomendado. De acuerdo a estos resultados es importante mantener medidas de protección a la exposición de la piel y la vista a la radiación UVER. La difusión de este índice entre la población debe ser prioritaria en los meses de verano; ya que por cuestiones de trabajo, turismo y tiempo de ocio, la población está directamente abocada a actividades relacionadas con largas exposiciones al sol. En la temporada invernal también hay que fotoprotgerse dado que existen mayor frecuencia de cielos claros.

REFERENCIAS

- Al-Aruri S, 1990. The empirical relationship between global radiation and global ultraviolet (0.290-0.385) μm solar radiation components. *Solar Energy* Vol. 45, nº2, pp 61-64.
- Blumthaler, M., Ambach, W., and Ellinger, R. (1997). Increase in solar UV radiation with altitude. *J. Photochem. Photobiol. B-Biol.*, 39:130-134.
- Madronich S. y Flocke S. (1997). *Theoretical Estimation of Biologically Effective UV Radiation at the Earth's Surface*. NATO ASI Series, Vol. I 52. Springer – Verlag.
- McKenzie R, 1991. Application of a simple model to calculate latitudinal and hemispheric differences in ultraviolet radiation. *Weather and Climate*, 11, pp 3-14
- McKinlay A, Diffey B (1987). *A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin*. *CIE Journal* 6,17.
- WHO (2002). *Global solar UV index. A practical guide*. World Health Organization.
- WHO (2006) *Global disease burden from solar ultraviolet radiation*. World Health Organization. Fact sheet N°305.

ABSTRACT

DAILY AND ANNUAL VARIABILITY OF SOLAR ERITHEMATIC RADIATION IN THREE REGIONS OF PROVINCE OF SALTA

Results obtained by measuring the erythemal radiation (UVER) at three locations in the province of Salta (Argentina) which are at different levels of height above sea level, during the period December 2012-December 2013 are presented. The variability of UVER measures was determined by hourly, daily and monthly average comparison. Experimental results for annual periods indicate high levels of solar risk in the cities of Salta (1,232 m), San Carlos (1,629 m) and El Rosal (3,354 m) around solar noon and others hours/times of the day too. At solar noon, in summer, UVI maximum values of 17 and 15 for El Rosal and Salta were found, while in winter average (UVI) values of respectively 6 and 5 were measured. Measurements show increments in UVER with heights.

Keywords: UV radiation, UV Index, radiometer, erythema.