

MEDICIÓN DE RADIACIÓN ERITÉMICA EN SITIOS DE ALTURA DE LA PROVINCIA DE SALTA

Suárez H.^(1,2), Salazar G.^(1,2), Acosta D.⁽¹⁾, Cadena C.^(1,2), Adámo J.⁽¹⁾, Castillo J.⁽¹⁾, Suligoy H.⁽²⁾, Fernández C.⁽¹⁾, Marín M.J.⁽³⁾, Utrillas P.⁽³⁾ y Martínez Lozano J.A.⁽³⁾

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

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

⁽³⁾Universitat de Valencia, Dr. Moliner 50, 46100, Valencia, España.

Recibido 12/08/13, aceptado 23/09/13

RESUMEN: Se presentan resultados obtenidos al medir la Irradiancia UV eritémica (UVER) en tres lugares de Salta (Argentina) y que se encuentran a distintas alturas, durante el período Diciembre 2012 - Mayo 2013. El efecto de la altitud se determinó mediante comparación horaria, diaria y promedio mensual de UVER. Las mediciones se realizaron con radiómetros UV-S-E-T de Kipp & Zonen. Los resultados experimentales indican altos valores de UVER en la ciudad de Salta (1.232 m.s.n.m), San Carlos (1.629 m.s.n.m) y El Rosal (3.354 m.s.n.m), alrededor del mediodía solar, con valores promedios entre 3.8 - 5.7 MED_{II}/hs. Se midió un aumento promedio en la dosis eritémica de un 5 - 8 %/km. Los índices de radiación solar ultravioleta en ausencia de nubosidad superan la calificación de *riesgo extremo*. Además, se calculan tiempos de exposición de riesgo (fototipos I-IV de Fitzpatrick) y Factores de Protección Solar (FPS) necesarios según la categoría de riesgo.

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

INTRODUCCIÓN

La piel y los ojos son los órganos más sensibles a la exposición a los rayos ultravioleta del sol. La exposición a la radiación solar UV puede dar lugar a efectos crónicos en la salud de la piel, ojos y sistema inmunológico. Los efectos agudos de la exposición UV incluyen desde quemaduras hasta fotoqueratitis. Los efectos crónicos incluyen el envejecimiento prematuro de la piel y cáncer de piel, y en el caso de los ojos, cataratas. La radiación UVA tiene un efecto pronunciado en la capa subcutánea y puede alterar la estructura de las fibras de colágeno y elastina, acelerando el envejecimiento de la piel, mientras la radiación UVB principalmente produce eritema y varios tipos de cáncer de piel. Se considera que hay 4 millones de personas en el mundo con cataratas causadas por la radiación UV (MacKie R, 2000).

Junto con los aerosoles atmosféricos y la nubosidad, la atenuación de la radiación solar UVB sobre un lugar determinado está fuertemente relacionada con el espesor de la columna vertical de capa de ozono, la cual en su mayoría corresponde a ozono estratosférico. Además, la intensidad de la irradiación 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, será atenuada por una menor cantidad de componentes atmosféricos debido a la importante disminución de la densidad atmosférica con la altura. Diferentes trabajos muestran que la irradiación UV incrementa su valor entre un 6% a un 8% por cada 1000 metros de aumento en altitud (Blumthaler et al., 1997). Otros revelan un aumento entre un 4% y un 10% (Rivas et al., 2002).

La irradiación solar UV es un parámetro medioambiental altamente variable en tiempo y espacio. La necesidad de llegar al público con información fácilmente comprensible sobre la radiación UV y sus posibles efectos negativos ha llevado a definir un parámetro que pueda ser usado como indicativo de las exposiciones ultravioleta. Este parámetro se denomina Índice Ultravioleta o Índice UV (IUV). Está relacionado con los efectos eritémicos de la irradiación solar UV sobre la piel humana. Los efectos dañinos de la radiación UV no sólo dependen de la dosis de radiación recibida sino también de la sensibilidad del individuo. La piel humana normalmente se clasifica en seis grupos principales (Tabla 1) dependiendo de la capacidad de ésta para broncearse (Vanicek et al., 1999). Por lo tanto, otro indicador es la *dosis mínima eritémica* (MED, por su sigla en inglés) que cuantifica la sensibilidad individual a la irradiación eritémica. Estimarla en distintos puntos geográficos de la provincia de Salta que se encuentran a diferentes altitudes permitirá calcular intervalos de riesgo en la población tanto local como foránea.

El IUV es una herramienta importante para la toma de conciencia de la población sobre los riesgos de la exposición excesiva a la UVER y para advertir a las personas de la necesidad de adoptar medidas de protección. Aunque las personas de piel oscura tienen menor incidencia de cáncer de piel también son sensibles a los efectos nocivos de la radiación UV, especialmente a los que afectan a los ojos y al sistema inmunológico (WHO, 2002). El valor del IUV varía a lo largo del día, al hablar del índice de un día se hace especial señalamiento sobre la intensidad máxima de la UVER en el día determinado durante el período de cuatro horas en torno al medio día solar. La información del IUV debe proporcionar al menos el valor máximo diario utilizando el valor medio de 10 minutos (Vanicek et al., 1999). El IUV se ha definido como un instrumento educativo y su uso debe basarse en una comunicación eficaz entre la población y los medios de comunicación. Al indicar a las personas la reducción y/o el saber aprovechar el sol conociendo los riesgos de la exposición excesiva pueden cambiar actitudes y comportamientos reduciendo los efectos perjudiciales para la salud y disminuyendo de forma significativa los costos para su atención.

Es esencial estudiar la evolución de las variables que afectan la irradiación solar UV eritémica en la zona Norte de nuestro país, lugar geográfico correspondiente a latitudes medias. La modelización teórica también es una herramienta de análisis importante y permite contrastar con datos de estaciones de tierra y satelitales. Por consiguiente, tanto para el contraste de datos satelitales como para la comprobación de modelos, es de gran importancia tener instrumentos y mediciones lo más precisos posibles. En este trabajo se presentan resultados obtenidos al medir la 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 - Julio 2013.

CLASIFICACIÓN DEL RIESGO SOLAR

El espectro UV eritémico efectivo es el producto matemático del espectro solar UV y el espectro CIE de respuesta eritémica (McKinlay y Diffey, 1987). La irradiación UV eritémica efectiva (UVER) es la integral del espectro UV efectivo sobre las longitudes de onda y se expresa usualmente en W/m^2 o MED/hr. La dosis eritémica es la suma de la UVER en el periodo de exposición y se mide en J/m^2 o MED. El índice solar ultravioleta estándar se define como la irradiación solar eritémica en el mediodía solar dividida por $0.025 W/m^2$. En la Tabla 1 se muestra la clasificación de la población según el fototipo cutáneo de Fitzpatrick, las consecuencias por sobre-exposición a la UVER en lo referente a quemadura y bronceado solar, como también los valores de 1 MED para los diferentes fototipos cutáneos según norma DIN 50-50. En la Tabla 2 se muestra la clasificación del IUUV en diferentes rangos de riesgo solar adoptada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

FOTOTIPO	MED (J/m^2)	1 MED/hr ($\mu W/cm^2$)	SE QUEMA	SE BRONCEA	RIESGO SOLAR												
I. Deficiente en Melanina	200	5.56	Siempre	Raramente													
II. Deficiente en Melanina	250	6.94	Habitualmente	Algunas veces	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Índice UV</th> <th>Riesgo Solar</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$0 \leq IUUV < 2$</td> <td>Bajo</td> </tr> <tr> <td>$2 \leq IUUV < 5$</td> <td>Moderado</td> </tr> <tr> <td>$5 \leq IUUV < 7$</td> <td>Alto</td> </tr> <tr> <td>$7 \leq IUUV < 11$</td> <td>Muy alto</td> </tr> <tr> <td>$IUUV \geq 11$</td> <td>Extremo</td> </tr> </tbody> </table>	Índice UV	Riesgo Solar	$0 \leq IUUV < 2$	Bajo	$2 \leq IUUV < 5$	Moderado	$5 \leq IUUV < 7$	Alto	$7 \leq IUUV < 11$	Muy alto	$IUUV \geq 11$	Extremo
Índice UV	Riesgo Solar																
$0 \leq IUUV < 2$	Bajo																
$2 \leq IUUV < 5$	Moderado																
$5 \leq IUUV < 7$	Alto																
$7 \leq IUUV < 11$	Muy alto																
$IUUV \geq 11$	Extremo																
III. Melanina Suficiente	350	9.72	Algunas veces	Habitualmente													
IV. Melanina Suficiente	450	12.50	Raramente	Siempre													
V. Protección Melánica	-----	-----	Piel Morena Natural														
VI. Protección Melánica	-----	-----	Piel Negra Natural														

Tabla 1: Fototipos cutáneos según la escala Fitzpatrick y MEDs correspondientes según norma DIN 50-50.

Tabla 2: Riesgo Solar adoptado por OMS y OMM

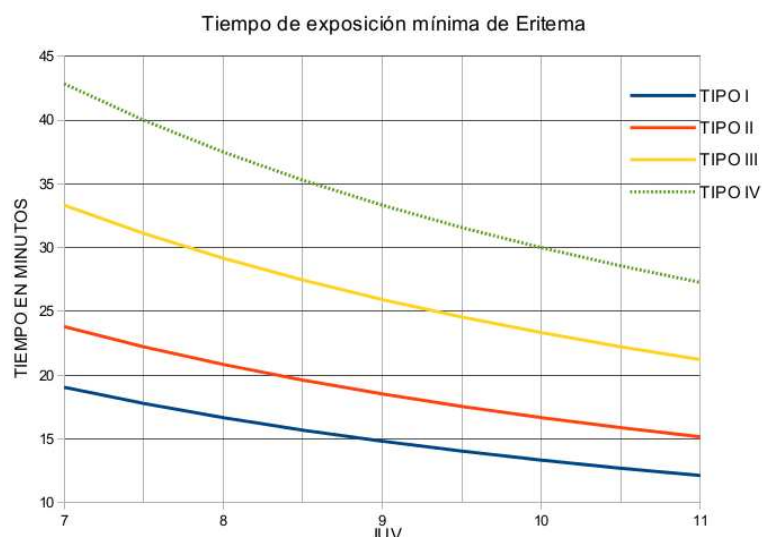


Fig 1: Tiempo mínimo de formación de eritema para los fototipos I,II,III y IV calculado para cielo claro. MEDs de acuerdo a la norma DIN 50-50.

Otra forma de cuantificar la influencia de radiación UV sobre la piel es por medio de la unidad MED/hr (potencia/área). El MED/hr es la dosis efectiva mínima de radiación UV promedio (de los fototipos I, II, III y IV) por hora de exposición. Las relaciones entre las unidades de UVER (W/m^2 y MED/hr) para los diferentes fototipos, también se muestran en Tabla 1.

El tiempo máximo que se puede permanecer al sol sin que se produzca eritema, depende de cada fototipo cutáneo y de la UVER incidente (o su representación como IUUV). En la figura 1 se detalla este tiempo de exposición (en minutos) para cada tipo de piel y de acuerdo al valor del IUUV. Solo se muestra para intervalos de $7 < IUUV < 11$ que corresponden a riesgo *muy alto*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Equipamiento

Los datos de irradiación UV eritémica se midieron y registraron mediante radiómetros UV-S-E-T de Kipp & Zonen y dataloggers CR1000 de la firma Campbell Scientific. Los radiómetros fueron calibrados el 09-07-2012 mediante un sistema de lámpara de Xe, un monocromador (ORIEL Piedra angular MS257) y patrón secundario de fotodiodo de Si. La incertidumbre en las medidas es menor al 5% según datos del fabricante. Las características de los tres radiómetros UV-S-E-T se muestran en la Tabla 3 junto a las de los equipos de adquisición de datos utilizados. El equipo CR1000 es un instrumento robusto y versátil que está formado por un módulo de control y un panel de conexiones. La memoria RAM de 128K almacena hasta 62000 valores, protegidos por una pila de litio que permite el registro continuo de datos.

Radiómetro UV-S-E-T (Kipp & Zonen)		Datalogger CR1000 (Campbell Scientific)	
Respuesta coseno	$\pm 4\%$ (ángulo cenital $< 70^\circ$)	Canales de entrada analógica	12 simples o 6 diferenciales
Rango operativo de T°	$-25 a + 50^\circ C$	Rango operativo de T°	$-25 a + 50^\circ C$
Rango espectral	280-400 nm	Memoria RAM	128 k ampliable a 2 Mb
Altura, Diámetro base	12 cm, 12.2 cm	Dimensiones	19.8cm x 8.9cm x 3.8cm
Peso	1.1 kg	Peso	0.91 kg

Tabla 3: Características del radiómetro UV-S-E-T de Kipp & Zonen y datalogger CR1000 de Campbell Scientific.

Emplazamientos

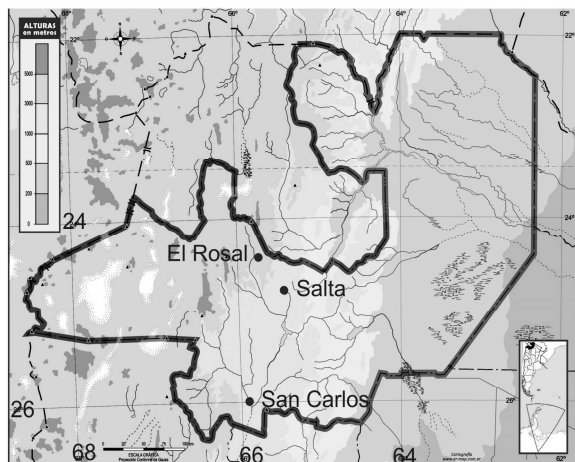


Fig. 2. Emplazamientos de los radiómetros UV-S-E-T de Kipp & Zonen.

Emplazamiento >	Salta (Capital)	San Carlos	El Rosal
Latitud (S)	24° 43' 43"	25° 54' 29"	24° 23' 35"
Longitud (W)	65° 24' 35"	65° 56' 35"	65° 46' 06"
O ₃ (DU)	274 -261	274 -261	274 -261
Meses	12/12-05/13	12/12-05/13	12/12-05/13
Altura(m.s.n.m)	1232	1629	3354

Tabla 4: Coordenadas geográficas, altura sobre el nivel del mar y ozono en los emplazamientos monitoreados.

La provincia de Salta está localizada en una zona tropical, posee clima cálido, aunque con variaciones bastante marcadas en sus distintas regiones, en función de lo variado de su relieve. Se observan climas y paisajes contrastados principalmente según la altitud. San Carlos se encuentra ubicado en el valle Calchaquí (a 20 km de Cafayate), presenta un clima templado no riguroso y con un período libre de heladas relativamente largo, condiciones que se modifican hacia las serranías y zonas altas. Las temperaturas no tienen gran amplitud, con promedios anuales que varían entre los 12°C y 18°C. Por el contrario la amplitud térmica diaria es mucho mayor. Las lluvias son escasas, de tipo torrencial y se producen durante los meses de noviembre a marzo constituyendo el 80 - 85 % de las precipitaciones anuales que ocasionalmente son incrementadas por nevadas. El Rosal, se encuentra ubicado en la región occidental (la más elevada), predomina un clima árido y frío con bruscas variaciones térmicas entre el día y la noche, la vegetación natural está casi reducida a manchones de plantas xerófilas y psamófilas como la achaparrada tola o los grandes cactus. Hay escasas precipitaciones, que mayormente no superan los 200 mm anuales, y temperaturas medias anuales del orden de los 10°C. El Valle de Lerma, en donde se encuentra ubicada la ciudad de Salta Capital, tiene promedios anuales de precipitaciones que alcanzan los 1000 mm. En general, los promedios de temperaturas en época estival superan los 20°C, y en época invernal, las medias son inferiores a los 14°C (Portal Informativo de Salta). Los parámetros utilizados en el cálculo y la ubicación de los tres sensores UV-S-E-T se ilustran y detallan en la

figura 2 y tabla 4, además se indica el período de mediciones analizado y la concentración de ozono correspondiente. En los tres lugares, para fechas idénticas, la concentración de ozono también presentó valores similares.

RESULTADOS

A partir de los datos de irradiación UV eritemica medidos en los tres emplazamientos, se procede a presentar los que se consideran más relevantes a los fines de caracterizarlos desde el punto de vista de la UVER recibida, la dosis eritemica acumulada y los potenciales factores de riesgo.

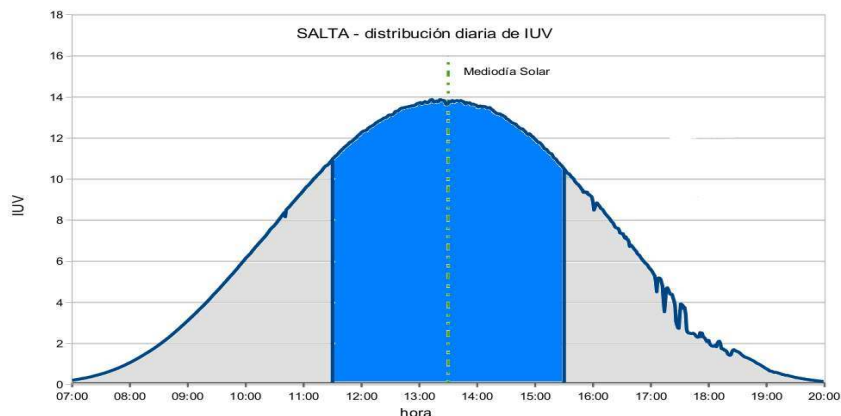


Fig 3: Distribución de irradiación eritemica alrededor del mediodía solar. Salta (Capital)-28/12/12

La figura 3 muestra distribución de radiación en un día claro de verano, indicándose la franja horaria correspondiente a las cuatro horas alrededor del mediodía solar (11:30 a 15:30 hs) donde es mayor la incidencia de irradiación eritemica. En esta franja horaria incide aproximadamente el 60 % de la dosis eritemica total diaria. Este es un día representativo de todos los días alrededor del solsticio de verano (21 de diciembre). Los datos presentados en la figura 3 corresponden a los medidos el día 28/12/2012, para Salta (Capital). Los valores de UVER se representan como IUUV. Se puede observar que en la franja horaria resaltada los valores de IUUV clasifican como de riesgo *extremo*, si ampliamos la franja horaria a seis horas alrededor del mediodía solar (10:30 a 16:30 hs) los valores de IUUV son superiores a la calificación de riesgo *muy alto*.

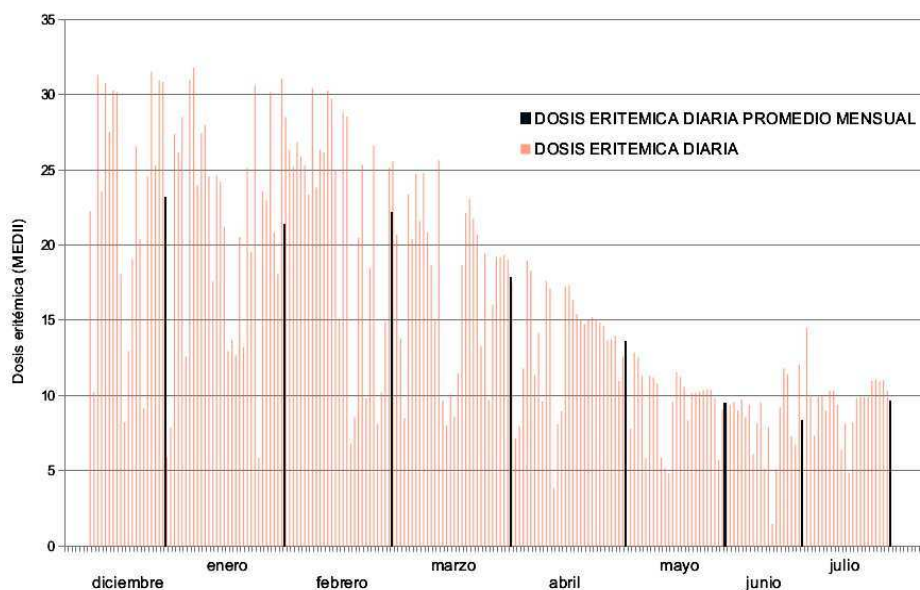


Fig 4: Dosis eritemicas (MED_{II}) diarias y promedio mensual entre solsticios verano-invierno en Salta (Capital).

La energía eritemica, por unidad de área expresada en MEDs para una persona de fototipo II 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. Esta gráfica corresponde al emplazamiento de Salta (Capital). Se observan valores máximos superiores a 30 MED_{II} durante los meses de diciembre, enero y febrero. En estos meses también se dan valores mínimos de 6 MED_{II} a 8 MED_{II} para días propios del verano salteño con gran nubosidad (cúmulos y cúmulos limbos) y precipitaciones. Además se ve claramente la disminución de irradiación cuando avanzamos temporalmente hacia el período invernal en donde la energía máxima acumulada desciende a alrededor de 10 MED_{II} . También se ilustran los promedios mensuales de dosis eritemica acumulada. Para cada uno de los emplazamientos de altura se obtienen datos y gráficas que nos revelan información detallada como las inferidas en el párrafo anterior. Estas gráficas se realizan para cada fototipo de piel.

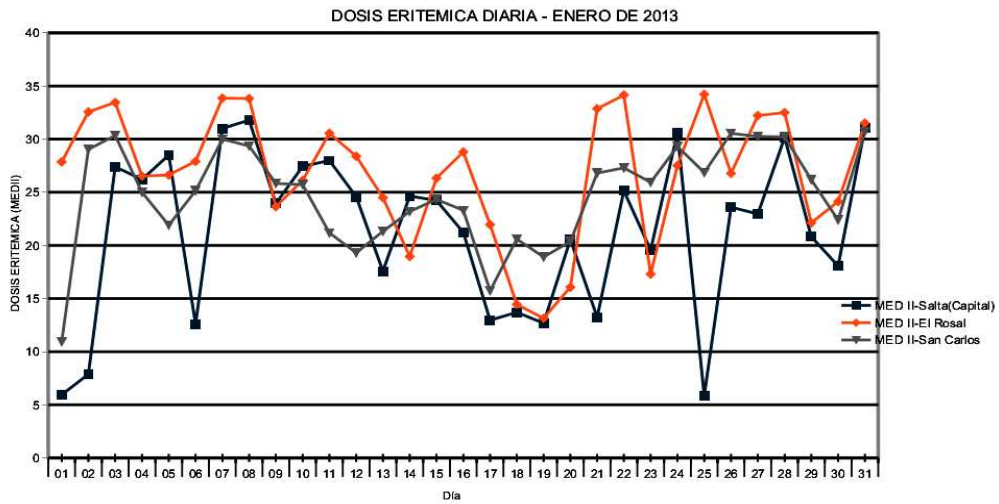


Fig 5: Dosis eritemica diaria en el mes de Enero del 2013 en tres sitios de altura de Salta.

La comparación entre los valores de *dosis eritemica diaria* para el fototipo II, en los tres lugares de altura donde emplazamos los sensores de UVER y para cada día del mes de enero se muestra en la figura 5. Estos datos diarios muestran, en promedio, que los máximos valores de dosis eritemica se midieron en los lugares de mayor altura. Existen días en los que la relación no se mantiene, como por ejemplo el 07/01/13 en el que la dosis eritemica en Salta supera a la de San Carlos (que se encuentra a mayor altura). Esto 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 con la variable altura. Otra manera de estudiar la influencia de la altura es analizar los promedios mensuales para cada época del año, lo que nos refleja una tendencia mas certera respecto del comportamiento de la radiación en estos sitios de altura de la provincia de Salta. Estudios y contrastes de este tipo se realizaron para todo el período de medida y para cada fototipo de piel.

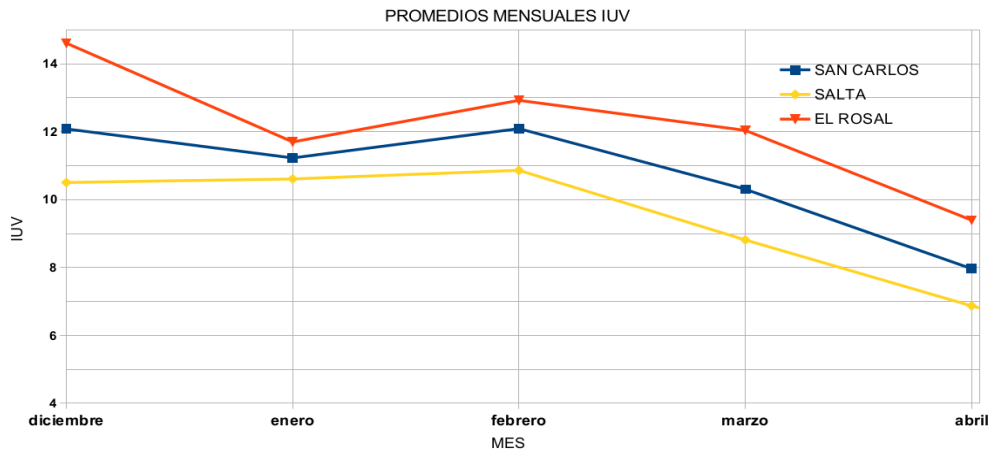


Fig 6: Distribución promedio mensual diaria de Índice UV en tres sitios de altura de Salta

En la figura 6 se ilustran los valores promedios mensuales de radiación UVER representados como IUUV en los tres lugares de estudio, para los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril. La radiación se toma en un entorno (10 minutos) del mediodía solar porque es allí donde se dan los valores máximos de irradiación UV eritemica. Se observa que los valores máximos corresponden a los sitios de mayor altitud sobre el nivel del mar. Se considera la influencia de todos los días, sin distinguir entre días claros ni parcial o totalmente nublados. En diciembre el valor promedio de IUUV para El Rosal es 14.6, mientras en San Carlos es menor (IUUV=12.1) y en Salta, que se encuentra a menor altitud, tiene un valor todavía menor (IUUV=10.5). Este orden en las magnitudes del IUUV permanecen a lo largo de todo el período de medida, aunque en abril se muestra una tendencia a una disminución generalizada de estos valores promedios propios de la influencia estacional, obteniéndose valores de IUUV de 9.4, 7.8 y 6.9 para El Rosal, San Carlos y Salta (Capital) respectivamente.

Lugares >	Salta (Capital)			San Carlos			El Rosal		
Mes	IUV _m	σ	Riesgo	IUV _m	σ	Riesgo	IUV _m	σ	Riesgo
Diciembre/12	10.5	3.5	Muy alto	12.1	3.1	Extremo	14.6	1.5	Extremo
Enero/13	10.6	4.4	Muy alto	11.2	3.1	Extremo	11.7	4.1	Extremo
Febrero/13	10.8	3.5	Muy alto	12.1	2.3	Extremo	12.9	3.1	Extremo
Marzo/13	8.8	3.2	Muy alto	10.3	1.9	Muy alto	12.0	1.6	Extremo
Abril/13	6.9	2.5	Alto	7.8	1.2	Muy alto	9.4	1.0	Muy alto

Tabla 5: Promedios mensuales de IUV, desviación estándar (σ) y calificación de riesgo al mediodía solar en los emplazamientos de altura.

En la Tabla 5 se presentan cálculos de índice ultravioleta promedios mensuales alrededor del mediodía solar. Se comprueba que valores de *riesgo solar extremo* predominan en el lugar de mayor altura (El Rosal). En San Carlos también los niveles de riesgo son *extremos* en los meses estivales aunque de algo menor intensidad que en El Rosal. En Salta (Capital) existen valores promedios de *riesgo muy alto*. Todos estos promedios son acompañados por su correspondiente desviación estándar (σ), cuyos valores nos indican que las variaciones en las medidas de IUV son considerables. El promedio mensual de irradiación UV eritémica en la estación veraniega no mostró diferencias significativas en cada uno de los emplazamientos.

La distribución diaria de UVER (en unidades de MED/hs) correspondientes a tres días claros distribuidos a lo largo del período de medición son presentados en la figura 7 para San Carlos y en la figura 8 para El Rosal. Corresponden a los medidos los días 28/12/2012, 13/03/2013 y 29/04/2013. En la figura 9 se ilustran para Salta (Capital), los días 28/12/2013, 21/03/2013 y 02/06/2013. Estas figuras son indicativas de la variación de la UVER durante el transcurso del día y a lo largo del período de medición para los tres emplazamientos medidos.

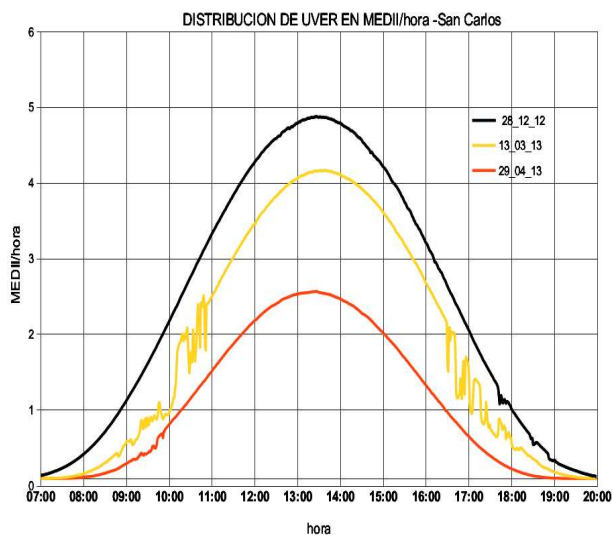


Fig 7: Distribución de irradiación UV eritémica (MED_{II}/hr) en San Carlos para tres días claros a lo largo del período de medición.

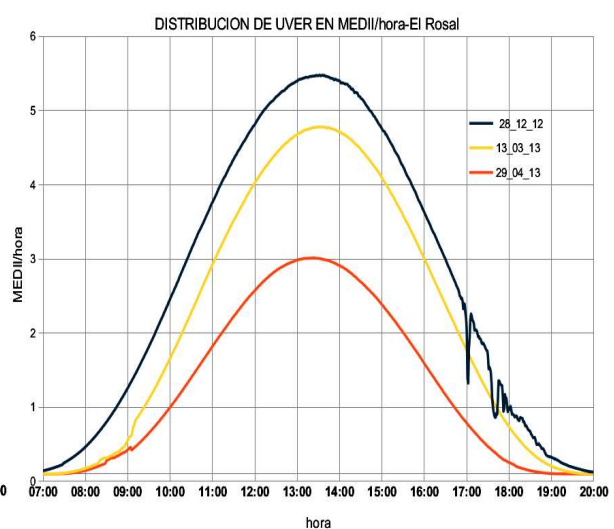


Fig 8: Distribución de irradiación UV eritémica (MED_{II}/hr) en El Rosal para tres días claros a lo largo del período de medición.

En las figuras 7, 8 y 9 las distribuciones de UVER alrededor del mediodía solar muestran la simetría propia de un día claro aunque con períodos en donde la radiación varía abruptamente en una localización y no en la otra, esto se debe a la variación climática de los emplazamientos. Existe una notoria disminución de las intensidades de la UVER desde el solsticio de verano hasta la estación invernal. El día 28/12/2013, la UVER al mediodía solar alcanzó el valor de 4.9 MED_{II}/hr en San Carlos, mientras en El Rosal fue de 5.5 MED_{II}/hr y en Salta (Capital) se midió 4.9 MED_{II}/hr disminuyendo hasta llegar al equinoccio otoñal con valores de 4.3 MED_{II}/hr y 3.0 MED_{II}/hr en San Carlos y El Rosal respectivamente el día 13/03/13. En Salta (Capital) se midió una UVER de 4.14 MED_{II}/hr el 21/03/13 siendo muy notorio su descenso al acercarnos al solsticio de invierno donde su valor es de solo 1.8 MED_{II}/hr . También se puede observar que los días claros en un lugar no son tales en el otro, especialmente en horas del atardecer.

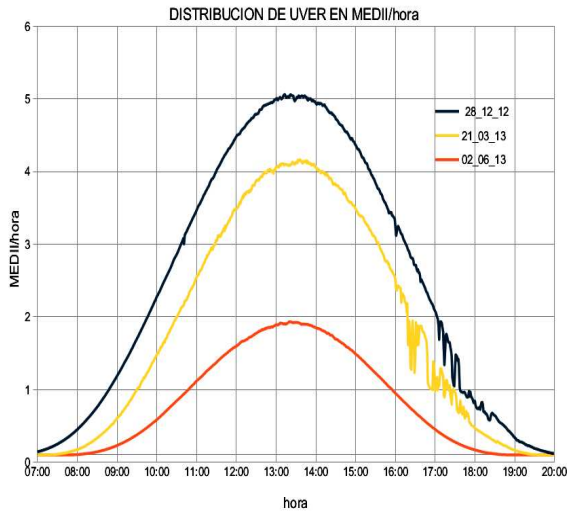


Fig 9: Distribución de irradiación UV eritémica (MED_{II}/hr) en Salta (Capital) para tres días claros a lo largo del período de medición.

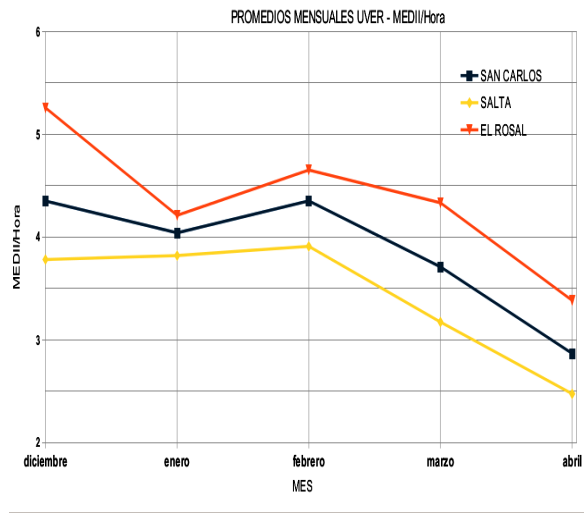


Fig 10: Distribución promedio mensual diaria de irradiación UV eritémica (MED_{II}/hr) en tres sitios de altura de la provincia de Salta

En la figura 10 se ilustran los valores promedios mensuales de UVER en unidades de MED_{II}/hr en los tres lugares de estudio, para un entorno temporal alrededor del mediodía solar. Esta otra forma de presentar la información de riesgo solar, particularizada para cada fototipo de piel, es más minuciosa y útil para que cada persona implemente acciones de fotoprotección personal. Esta gráfica es para el fototipo II ($MED_{II} = 250 J/m^2$). Como un ejemplo de la utilidad de esta gráfica vamos a suponer una persona de fototipo II en la localidad de San Carlos en el mes de diciembre se expone a una radiación promedio de $4.4 MED_{II}/hr$, esto significa que en el término de una hora está expuesto a 4.4 veces su dosis mínima eritémica. Mientras que si estuviera en El Rosal al cabo de una hora estaría expuesto a 5.4 veces su MED, y en Salta (Capital) a una MED de 3.8 al transcurrir una hora cercana al mediodía solar.

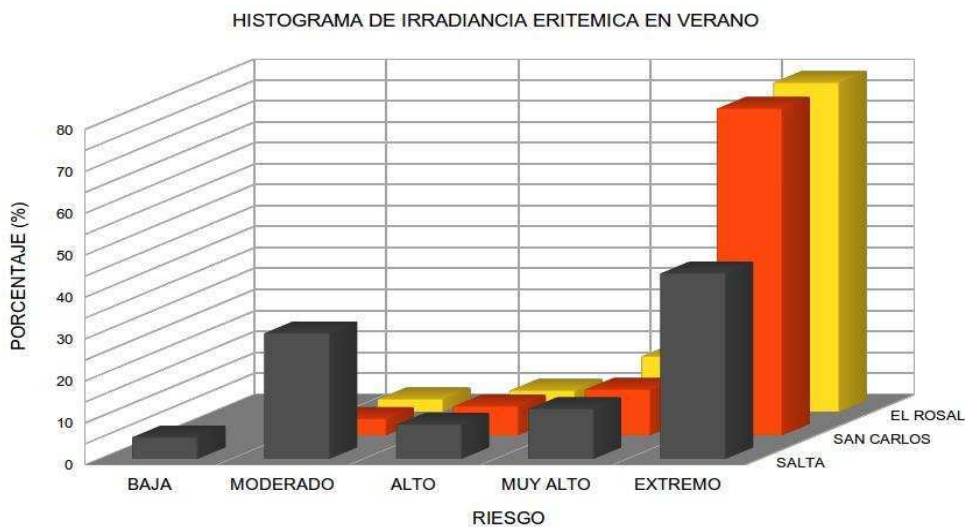


Figura 11: Histograma de ocurrencia de irradiación UV eritémica clasificados por riesgo solar durante el verano en Salta (Capital), San Carlos y El Rosal.

Debido a que en el lapso de una hora pueden existir cambios notables en los valores de irradiación UV eritémica, esta también se puede presentar en valores de $MED/10 min$ para ser más minuciosos en la interpretación de la información.

Como el período veraniego es donde se dan los mayores valores de UVER, cuando se quiere estudiar sus efectos dañinos por sobre-exposición este segmento temporal es el que se analiza. En este caso, para los tres emplazamientos analizados y con el objeto de pesar la dimensión del riesgo solar, se realiza un histograma de los valores clasificados de riesgo solar comparando sus frecuencias de ocurrencia alrededor del mediodía solar y se presentan como porcentaje de días con una dada clasificación respecto del total de días de la estación veraniega.

En el histograma representado en la figura 11 vemos la prevalencia de días con valores de riesgo solar *extremo*, el 79% en El Rosal, 78% en San Carlos, mientras que en Salta el 44% de las jornadas de verano clasifican como de riesgo *extremo*. En cuanto al riesgo *muy alto*, el 13% en El Rosal, 11% en San Carlos y en Salta el 12%. Es notable la influencia del verano con

mucha precipitación y por lo tanto con cielos cubiertos que hacen que en Salta (Capital) el 30% de los días de verano clasifiquen como de riesgo moderado. En los otros emplazamientos, al mediodía solar, no se dan jornadas de riesgo *bajo* y ocasionalmente el riesgo es *moderado*. De la figura 11 se observa que un gran porcentaje de jornadas se encuentran comprendidas en la clasificación de riesgo *muy alto* y *extremadamente alto*. El Rosal el 92% , San Carlos el 89% y Salta el 56% de las jornadas. Por lo tanto se deben adoptar las medidas de fotoprotección adecuadas debido a que la población se encuentra expuesta a recibir cantidades peligrosas de UVER.

Irradiación eritémica y altura

A partir de los datos experimentales obtenidos en diferentes alturas, se puede calcular el porcentaje de incremento del IUV medido en Salta (Capital) y San Carlos, respecto a los medidos en El Rosal, para días de cielo claro. Se analizó alrededor del mediodía solar para diferentes fechas. Ejemplos de cálculo de los porcentajes de incremento respectivos se muestran para dos días en tabla 6.

	Salta (Capital)	San Carlos	El Rosal	San Carlos-El Rosal (% / km)	Salta-El Rosal (% / km)
IUV (13/02/13)	13.5	12.8	14.7	8.7	4.2
IUV (29/04/13)	7.3	6.9	8.1	10.6	5.2

Tabla 6: Porcentajes de variación de UVER por kilómetro de ascenso entre emplazamientos de altura (cielo claro)

El porcentaje de cambio de UVER por kilómetro de diferencia de altura calculado entre San Carlos-El Rosal; tomando como base San Carlos (menor altura) se realizó utilizando la siguiente relación:

$$(UVER_{ro}-UVER_{sc})/UVER_{sc}/(h-h_0) * 100 = 8,7\% \quad (1)$$

Donde: $h-h_0=1,725$ Km es la diferencia de alturas (Km) entre Rosal y San Carlos.
 $UVER_{ro}$ es la radiación eritémica en El Rosal.
 $UVER_{sc}$ es la radiación eritémica en San Carlos.

Se procede de manera similar para Salta - El Rosal tomando como base Salta teniendo en cuenta que su diferencia de altura es 2,122 Km. Se calcularon (Tabla 6) diferencias promedios entre 5 y 10 % / km de incremento de altura. Estos resultados están de acuerdo a los reportados en bibliografía.

FOTOTIPOS CUTÁNEOS: FACTOR DE PROTECCIÓN

El factor de protección solar (FPS) necesario para mitigar los efectos dañinos de la irradiación UV eritémica se calculó para los fototipos cutáneos I, II, III y IV de Fitzpatrick. Para cada intervalo en que se dividió el Índice UV eritémico se toma su valor medio para representarlo y a partir de este, los intervalos de tiempo de exposición mínimos para producir eritema se obtienen de la figura 1. Los FPS recomendados se calculan para que un individuo de un determinado fototipo cutáneo pueda permanecer al sol, sin sufrir eritema, durante las cuatro horas alrededor del mediodía solar. En la Tabla 7 se presentan los valores de tiempo mínimo de inducción de eritema (t_{eri} , en minutos) y el FPS a utilizar de acuerdo al valor de IUV al que el individuo se exponga.

FOTOTIPOS CUTÁNEOS: TIEMPO MÍNIMO ERITÉMICO Y FACTOR DE PROTECCIÓN SOLAR RECOMENDADO									
Índice UV eritémico	Riesgo Solar	I		II		III		IV	
		t_{eri} (min)	FPS	t_{eri} (min)	FPS	t_{eri} (min)	FPS	t_{eri} (min)	FPS
$0 \leq IUV < 2$	Bajo	----	----	----	----	----	----	----	----
$2 \leq IUV < 4$	Moderado	45.0	5.5	55.0	4.0	78.0	3.1	100.0	2.4
$4 \leq IUV < 6$	Moderado-Alto	34.0	7.0	34.0	7.0	46.5	5.2	60.0	4.0
$6 \leq IUV < 8$	Alto-Muy Alto	19.0	13.0	24.0	10.0	34.0	7.1	43.0	5.6
$8 \leq IUV < 10$	Muy Alto	15.0	16.0	18.0	13.0	26.0	9.2	34.0	7.1
$10 \leq IUV < 12$	Muy alto-Extremo	12.5	19.2	15.0	16.0	21.0	11.5	27.5	8.7
$12 \leq IUV < 14$	Extremo	10.0	24.0	13.0	20.0	18.0	13.3	23.5	10.2
$IUV \geq 14$	Extremo	8.0	30.0	11.0	27.0	16.0	15.0	20.0	12.0

Tabla7: Tiempo mínimo de formación de eritema y Factor de Protección Solar recomendado para los diferentes fototipos cutáneos en función del IUV.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los valores de irradiación UV eritémica en verano son mayores que en invierno en toda la región ya que el sol se encuentra más alto y los rayos solares al atravesar menor porción de atmósfera, son menos absorbidos. También se da la circunstancia de que la concentración de ozono es menor en verano que en invierno (Raponi et. al., 2009). Los valores de IUV al mediodía

registrar valores máximos. La variación diaria difiere según la latitud, la época del año y las condiciones locales (contenido de ozono y aerosoles, altitud de la estación, tipo de nubes y su cantidad). Los valores de UVER (o de IUUV) son nulos antes de la salida y después de la puesta del sol. Existen diferencias notables en cuanto a la altura y el ancho de la curva resultante de la variación diaria de la UVER (o de IUUV) en el período de medición.

Entre los resultados obtenidos podemos mencionar un aumento promedio en radiación UVER entre el (4.7 - 9.5) %/km. Hay que destacar la influencia de las diferentes condiciones locales de clima que imperan en la región y que modifican los niveles de irradiación. Analizando los índices de radiación solar ultravioleta encontramos que en ausencia de nubosidad se midieron (en el período estival) valores promedios mensuales clasificados de riesgo *muy alto* y *extremo* en San Carlos y El Rosal; mientras que Salta (Capital) es una zona donde tenemos riesgo solar desde *alto* hasta *extremo* según la clasificación de la Organización mundial de la Salud y la Organización Meteorológica Mundial. Dado que existen numerosas personas que, por diferentes motivos (trabajo, residencia, actividades al aire libre, etc), están expuestos a elevados niveles de 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 solar donde incide aproximadamente el 60% de la dosis eritémica total diaria.

CONCLUSIONES

Salta recibe niveles elevados de irradiación UV eritémica de forma continua y en toda la región. Los valores medidos de UVER y de Índice UV en los tres sitios de altura indicaron valores de riesgos solar *altos* y *extremadamente altos* confirmando su incremento con la altura para una misma latitud. Esto indica que deben extremarse las medidas de fotoprotección personal para evitar efectos negativos en la salud y permite calcular intervalos de tiempo de exposición de riesgo para los diferentes fototipos cutáneos. La magnitud de los efectos de la altitud fue determinada por comparación horaria y diaria de UVER a partir de las medidas tomadas en forma paralela en tres lugares de altura de la provincia de Salta en días claros y nublados. Los datos se pueden corregir debido a las pequeñas diferencias de latitud, que implican diferentes ángulos cenitales en un dado tiempo y diferencias en las intensidades de la UVER en los emplazamientos. Los datos experimentales revelan un aumento promedio de aproximadamente 7 % por kilómetro de aumento de altitud. Estos cálculos fueron realizados en condiciones normales correspondientes a días despejados y muestran un buen acuerdo con los cálculos presentados en bibliografía.

REFERENCIAS

- Blumthaler, M., Ambach, W., and Ellinger, R. (1997). *Increase in solar UV radiation with altitude*. J. Photochem. Photobiol. B-Biol., 39:130-134.
- Dubrosky M. Variability of daily and annual cycles of the mean erythemal solar irradiance related to total ozone variability. C.S. Zerefos et al. (eds.), *Chemistry and Radiation Changes in the Ozone Layer*, 179-186. Netherlands.
- MacKie, R.M. (2000). Effects of ultraviolet radiation on human health. *Radiation Protection Dosimetry* 91(1-3), 15-18.
- McKinlay A., Diffey B. (1987). *A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin*. CIE Journal 6, 17.
- Portal informativo de Salta*. Internet.
- Raponi M., Wolfram E., Salvador J., Goutail F., Tocho J y Quel E (2009). *Estudio de la variación estacional de la columna vertical de no₂ y o₃ atmosférico en río gallegos, mediante un espectrómetro de la red saoz*. Anales AFA. Vol 21 (262-265)
- Rivas M., Rojas E, Cortés J Santander E. (2002). *Efecto de la altura en la radiación solar UV en Arica norte de Chile*, U.T.A. Vol. 10, pp. 59-62. Chile.
- Vanicek K., Frei T., Litynska Z., Schmalwieser A. (1999). *UV- Index for the Public. COST-713 Action Brussels*.
- WHO (2002). *Global solar UV index. A practical guide*. World Health Organization.

ABSTRACT

Results obtained by measuring the UV radiation erythemal (UVER) in three places in Salta (Argentina) at different heights, during the period December 2012-May 2013. The effect of altitude was determined by comparing hourly, daily and monthly average UVER. The measurements were performed with UV-S-E-T radiometers Kipp & Zonen. The experimental results indicate high values of UVER in the city of Salta (1,232 m), San Carlos (1,629 m) and El Rosal (3,354 m) around solar noon, with average values between 5.7- 3.8 MED_{II} / Hs. An average increase in erythemal doses of a 5-8 %/km was measured. The indices of solar ultraviolet radiation in the absence of cloudiness outweigh the *extreme* risk. Furthermore, risk exposure times are calculated (phototypes I-IV of Fitzpatrick) and Sun Protection Factor (SPF) recommended by risk category.

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