

RADIACIÓN UV ERITÉMICA EN LA PUNA: ESTUDIO ESTADÍSTICO DIARIO Y HORARIO PARA UN AÑO TÍPICO

H.Suárez^{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. 087-4255389- e-mail: galosuárezh@gmail.com.ar

Recibido 16/08/18, aceptado 26/09/18

RESUMEN: Se desarrolló un año típico de la radiación solar UV Eritémica (UVER) para la localidad de Tolar Grande, ubicada en la región de Puna de la provincia de Salta (lat:-24,59; long:-67,40 y 3560 m.s.n.m). Se lo analizó mediante distintos índices estadísticos: percentiles, media, desviación estándar, sesgo, curtosis y otros. El análisis se realizó para dosis diarias/horarias de radiación UVER y para valores instantáneos promedios horarios. Se trabajó con datos de todo tipo de cielos (CT) y luego se los dividió en tres categorías: cielos claros (CC), parcialmente nublados o seminublados (CS) y nublados (CN). Se comprobó el carácter predominante del tipo de cielo durante cada mes. Se realizaron gráficos para informar sobre el índice ultravioleta (IUV) y las dosis eritémicas horarias y diarias recibidas en la región de Puna según la condición del cielo.

Palabras clave: Radiación solar, índice UV, eritema, dosis de radiación, Tolar Grande.

INTRODUCCIÓN

El Noroeste argentino posee regiones cuya altura sobre el nivel del mar supera los 3500 m, allí el clima crea condiciones para que la radiación solar global y eritémica presenten valores altos; debido a la baja atenuación atmosférica (efecto de altura) y la baja nubosidad (efecto del clima). Esta irradiación elevada está presente a lo largo de casi todo el año (Blumthaler et al., 1997). En la región de Puna el polvo es apreciable debido a los frecuentes vientos y la reflexión se incrementa debido a la salinidad del suelo y a la casi inexistente vegetación.

Debido a los efectos nocivos de la radiación UV resulta de interés caracterizar su distribución temporal en distintas regiones. Los daños provocados en la piel por la radiación UV son acumulativos y proporcionales al tiempo de exposición (WHO, 2002). Por ello, se busca desarrollar herramientas que sirvan, de antemano, para conocer las características de la radiación UVER. Con este fin se trata de generar el año típico de la radiación UVER diaria y horaria en Tolar Grande, que por su emplazamiento es representativo de la zona de Puna.

La irradiancia biológica efectiva real se mide en W/m^2 o como *IUV*. Los valores medidos de *IUV* permiten calificar el nivel de riesgo solar. Las categorías de riesgo solar y su escala de colores son recomendadas por la Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés). Se denomina Dosis Eritémica Mínima (MED) a la acumulación de radiación que produce la respuesta biológica de formación del eritema por exposición a la UVER (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 (fototipo cutáneo), por eso 1 MED varía entre 200-450 J/m^2 (norma DIN 50-50).

CLIMA DE LA PUNA

En general, el clima en la Puna es de montaña, frío y seco. Tiene elevada sequedad atmosférica, es algo cálido de día y bastante frío de noche. Suele presentar precipitaciones estivales de lluvia y nieve desde diciembre a abril. Especialmente en enero y febrero, debido al fenómeno llamado “invierno andino”, que determina un clima húmedo en esta época. La Puna está sujeta por cadenas montañosas y volcanes andinos que se elevan a más de 6000 msnm, con cuencas endorreicas que han originado numerosos salares. Las escasas precipitaciones que caen en esta región varían entre los 0 a 200 mm, convirtiéndola en el lugar más seco de Argentina.

El “invierno andino” es la época de mayor pluviosidad. Se da entre los meses de diciembre y marzo. Las precipitaciones en esta estación se originan como lluvias orográficas causadas por masas de aire provenientes de la región del Amazonas durante la estación lluviosa. Estas se producen en el altiplano debido a actividad convectiva, que es la precipitación que se asocia a la formación de nubosidad cumuliforme durante la tarde, cuando el calentamiento del suelo favorece el desarrollo de movimientos ascendentes y produce precipitaciones en este lugar (Cede et. al., 2002)

ESTACIÓN RADIOMÉTRICA TOLAR GRANDE

Las medidas radiométricas utilizadas en este trabajo se han realizado en la estación radiométrica Tolar Grande, situada geográficamente a una latitud de 24,59° S y longitud de 67,40° W y a una altura de 3560 m.s.n.m. El edificio donde está montada pertenece al municipio de Tolar Grande. No tiene problemas de sombreado debido a la escasa vegetación local. Los datos de radiación UVER se midieron y registraron mediante radiómetros UV-S-E-T de Kipp & Zonen y dataloggers CR1000 de la firma Campbell Scientific. 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 128 K almacena hasta 62000 valores, protegidos por una pila de litio que permite el registro continuo de datos. La adquisición de datos se realiza cada minuto (Suárez et al, 2013).

EL AÑO TÍPICO DE IRRADIACIÓN UVER

Generalidades

Un año típico en meteorología es un conjunto estándar de datos correspondientes a variables meteorológicas que permiten establecer una referencia de la evolución de tales variables en una región determinada a lo largo de un año. El fin de un año típico consiste en aproximar el comportamiento climático de una región mediante la observación durante N años de un comportamiento anual repetido N veces (Franco, 2002). El resultado ofrece información sobre las características propias del lugar en función de la época del año. La creación de un año típico de la radiación UVER permitirá conocer las características propias de la región de Puna en cuanto a radiación UVER, y por tanto de las medidas de protección en esta región para prevenir enfermedades de la piel dependiendo de la fecha y la hora. Al reconstruir una serie de datos de radiación UVER, se puede estudiar la cantidad de radiación recibida por una persona a lo largo de su vida y proporcionar datos estimados de radiación UVER en lugares donde no se realizan medidas.

Metodología

Un año típico puede construirse para distintos intervalos temporales (días, meses...). En este trabajo se ha creado el año típico de la radiación UVER horaria en función del mes. En este caso, el punto de partida es suponer que todos los datos obtenidos para la misma hora del mes, independientemente del año (por ejemplo julio 2014, julio 2015 y julio 2016), son valores de esa hora, en ese mes en el año típico. De esta manera se tiene la distribución mensual de datos del año típico. Este ha sido sometido a un análisis estadístico para conocer las características regionales más importantes.

Este análisis también se extendió a tres años típicos obtenidos mediante el desglose del año típico inicial según sus condiciones de cielo: claro, parcialmente nublado y nublado. Para clasificar los datos según su condición de cielo se ha utilizado el índice de claridad y los criterios de la tabla 1.

<i>Criterio</i>	<i>Condición de cielo</i>
$k_d \geq 0,70$	Día de cielo claro
$0,34 \leq k_d < 0,70$	Día de cielo seminublado
$0 < k_d < 0,34$	Día de cielo nublado
$k_h \geq 0,75$	Hora de cielo claro
$0,34 \leq k_h < 0,75$	Hora de cielo seminublado
$0 < k_h < 0,34$	Hora de cielo nublado

Tabla 1: Condición de cielo en función del índice de claridad diario y horario, k_d y k_h .

Para poder realizar el año típico debe asegurarse que las variables, dosis diaria, horaria e irradiancia UVER, muestran un ciclo anual y que los valores interanuales no difieren apreciablemente.

Factibilidad de crear el año típico para dosis diaria y horaria UVER

En la figura 1 puede observarse en la evolución temporal de dosis diarias de irradiación UVER, a lo largo del periodo de medida, un patrón cíclico cuyo periodo corresponde a un año. Por lo tanto se cumple la condición de ciclo anual. Los valores máximos de dosis de irradiación UVER diaria se produjeron en el verano del año 2015. Esto se debe a que los días son más largos y los ángulos cenitales son menores, lo que produce una mayor inclinación sobre la superficie horizontal, incrementando los niveles de radiación. El valor máximo alcanzado fue de $8,87 \text{ KJm}^{-2}$. Los valores mínimos se midieron en invierno del 2016, días más cortos y con mayores ángulos cenitales, alcanzando $1,76 \text{ KJm}^{-2}$.

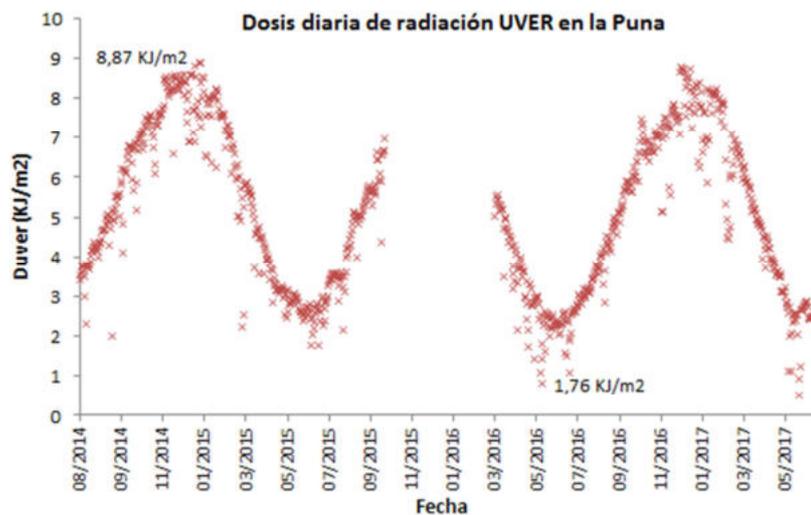


Figura 1: Distribución de dosis diarias de irradiación UVER, la Puna (2014-2017). Entre octubre 2015 y febrero 2016 no se tomaron datos.

Para cuantificar las diferencias interanuales es necesario conocer las anomalías mensuales. Estas se calculan como la diferencia entre el valor medio de un mes dentro de un año y el valor medio de ese mes dentro del año típico. Las figuras 2 (a) y (b) muestran las anomalías de la irradiación UVER diaria y porcentual para todos los cielos, y la figura 3 (a) y (b) para los valores medidos en condiciones de cielo claro.

Los extremos de las anomalías para cualquier condición de cielo son $-11,30 \%$ (marzo 2016) y $10,01 \%$ (junio 2015). Aproximadamente el 94% de las anomalías son inferiores al 10% y el 75% son inferiores al 5% . Realizando el mismo estudio para las anomalías considerando sólo los cielos claros (figura 3), se midieron los extremos de $-14,10 \%$ (marzo 2016) y $6,34 \%$ (junio 2015). El 97% de los valores tiene una variación menor al 10% y el 84% de las anomalías son inferiores al 5% .

Las diferencias entre las anomalías mostradas en la figura 2 son provocadas por cambios en las condiciones de cielo, llegando a variar hasta un 11% el valor típico mensual. Los días claros representan el $80,5 \%$ del total de días, los seminublados el $18,2\%$, mientras que condiciones de cielo

nublado se dan solo en el 1,3% de los casos. Estos resultados garantizan la posibilidad de crear el año típico de irradiación UVER diaria, ya que las anomalías no son grandes. Por lo tanto se consideró factible desarrollar el año típico para irradiación e irradiancia UVER promedio horaria (Franco, 2002).

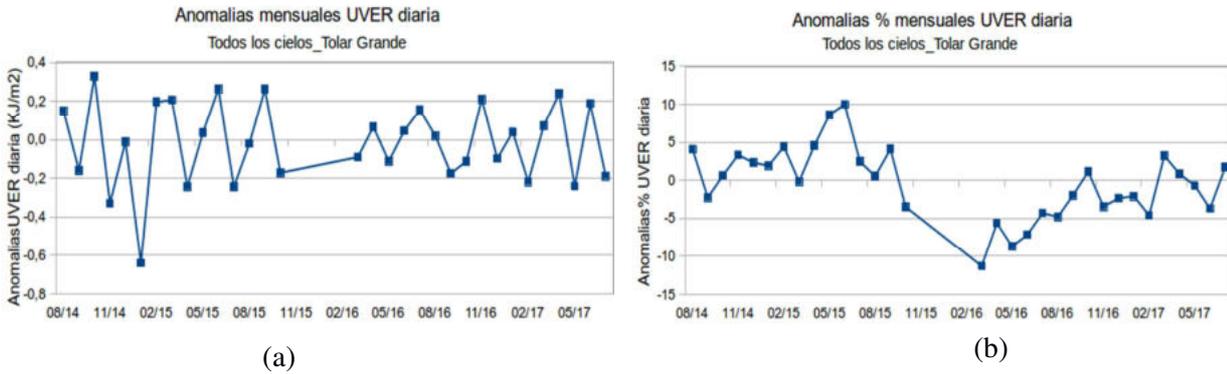


Figura 2: Anomalías mensuales de la irradiación UVER diaria bajo cualquier condición de cielo (a) y porcentuales (b), la Puna (2014-2017).

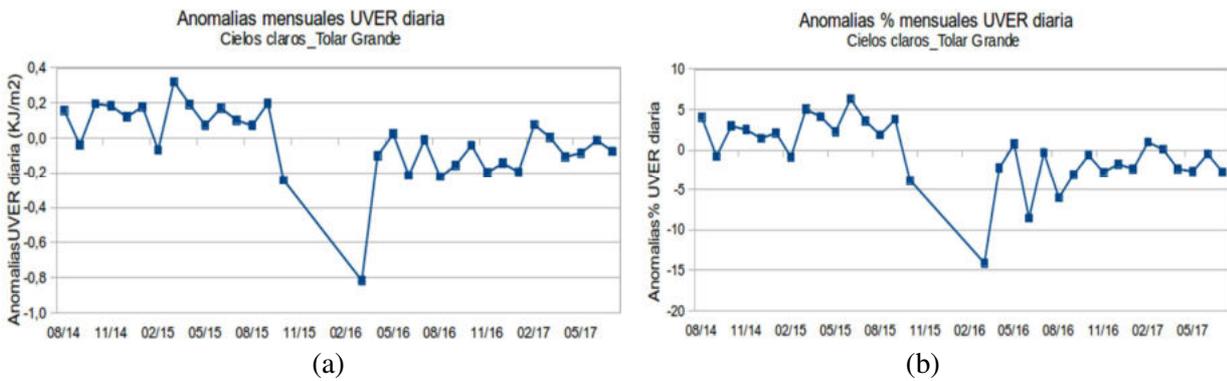


Figura 3: Anomalías mensuales de la irradiación UVER diaria en condiciones de cielo claro (a) y porcentuales (b), la Puna (2014-2017).

Distribución de condiciones de cielo

Para conocer la distribución de cielos claros, seminublados y nublados por mes se ha representado en la figura 4 sus porcentajes de ocurrencia. En general el número de días con cielo claro, para un determinado mes, supera ampliamente al de cielos seminublados y aún más al de nublados.

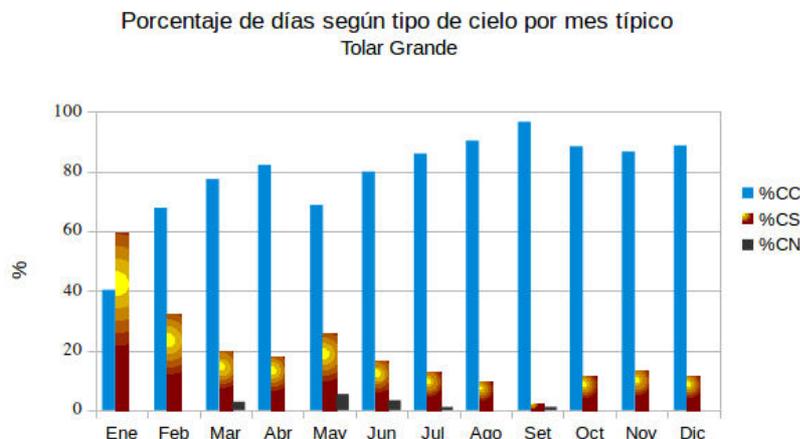


Figura 4: Porcentaje de días según tipo de cielo por mes típico.

La mayor cantidad de días con CC (96,7%) ocurre en setiembre, donde los CS (2,2%) y los CN (1,1%)

son considerablemente menores. Solo en enero, el número de CS (60%) supera a los CC (40%). En ese mes no se observaron ocurrencias de CN (0%). Se midieron CN solo en los meses de marzo, mayo, junio, julio y setiembre aunque con reducidos porcentajes de ocurrencia; el mes donde se observaron más cielos nublados fue mayo (5,4%).

Los meses típicos con menos días seminublados se corresponden con las estaciones de invierno y primavera (junio, julio, agosto, setiembre, octubre, noviembre y diciembre), con porcentajes inferiores al 17%. Los que superan el 20% son enero, febrero y mayo.

DOSIS UVER DIARIA

Se han calculado los años típicos para los valores de dosis diaria UVER según su condición de cielo. Los valores medios para los distintos meses del año típico se muestran en la figura 5 (a). Los lugares en blanco, para cielos nublados, se deben a la falta de ocurrencia de esas condiciones de cielo durante algunos meses. Estos valores informan de la dosis de radiación UVER diaria que se recibe como promedio, según el tipo de cielo, en la Puna. Así, se sabe que para un día parcialmente nublado de enero, la dosis UVER diaria recibida promedio será de $7,3 \text{ KJm}^{-2}$ y la misma insolación en junio será de $2,2 \text{ KJm}^{-2}$. Las correspondientes para condiciones de cielo claro son $8,4 \text{ kJm}^{-2}$ y $2,6 \text{ kJm}^{-2}$. En la figura 5 (a) se observa una gran correspondencia en las condiciones de CT y CC, esto es debido a la gran proporción de condiciones de cielo claro en cada mes. Solamente en los meses de enero, febrero y mayo estos promedios de dosis eritémicas CT se mantienen inferiores a los de CC.

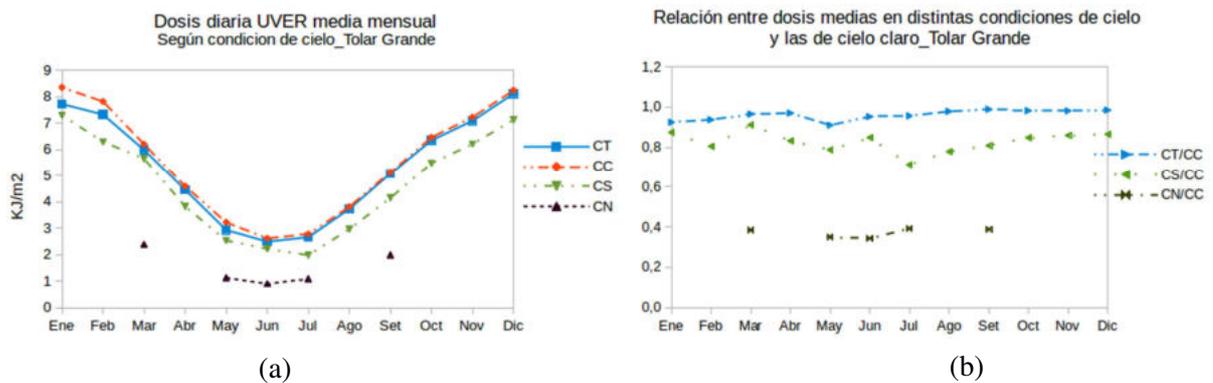


Figura 5: Dosis UVER diaria según condición de cielo en el año típico (a) y relaciones con las dosis de cielo claro (b), la Puna.

La figura 5 (b) muestra la razón entre los valores medios representados en la figura 5 (a). La relación se ha realizado para todos los cielos, parcialmente nublados y nublados; siempre divididos por el promedio de los correspondientes cielos claros. La gráfica informa del carácter medio de cada mes, por ejemplo, se observa que desde junio a diciembre los valores de CT/CC se mantiene cercanos a la unidad, en el mes de mayo disminuye al igual que en enero y febrero. La relación para dosis de cielos seminublados se encuentra entre el 90% y 70%, en cambio para cielos nublados es cercana al 40%.

IRRADIANCIA UVER HORARIA

Conocer la distribución de radiación UVER horaria es muy importante, ya que se puede sustraer información más completa que con la radiación UVER diaria, como conocer las horas de mayor radiación UVER dentro de un mes. Para ello se ha calculado las distribuciones horarias de cada mes del año típico siguiendo los criterios de la tabla 1 para seleccionar las condiciones de cielo.

La distribución de irradiancia UVER se representó por medio de isolíneas, estas se obtienen mediante procesos de interpolación. En la figura 6 se grafican los distintos percentiles de las distribuciones horarias correspondientes a todos los cielos, cielos claros y cielos parcialmente nublados. Se han dibujado líneas de igual irradiancia que representan franjas de espesor $0,03 \text{ Wm}^{-2}$.

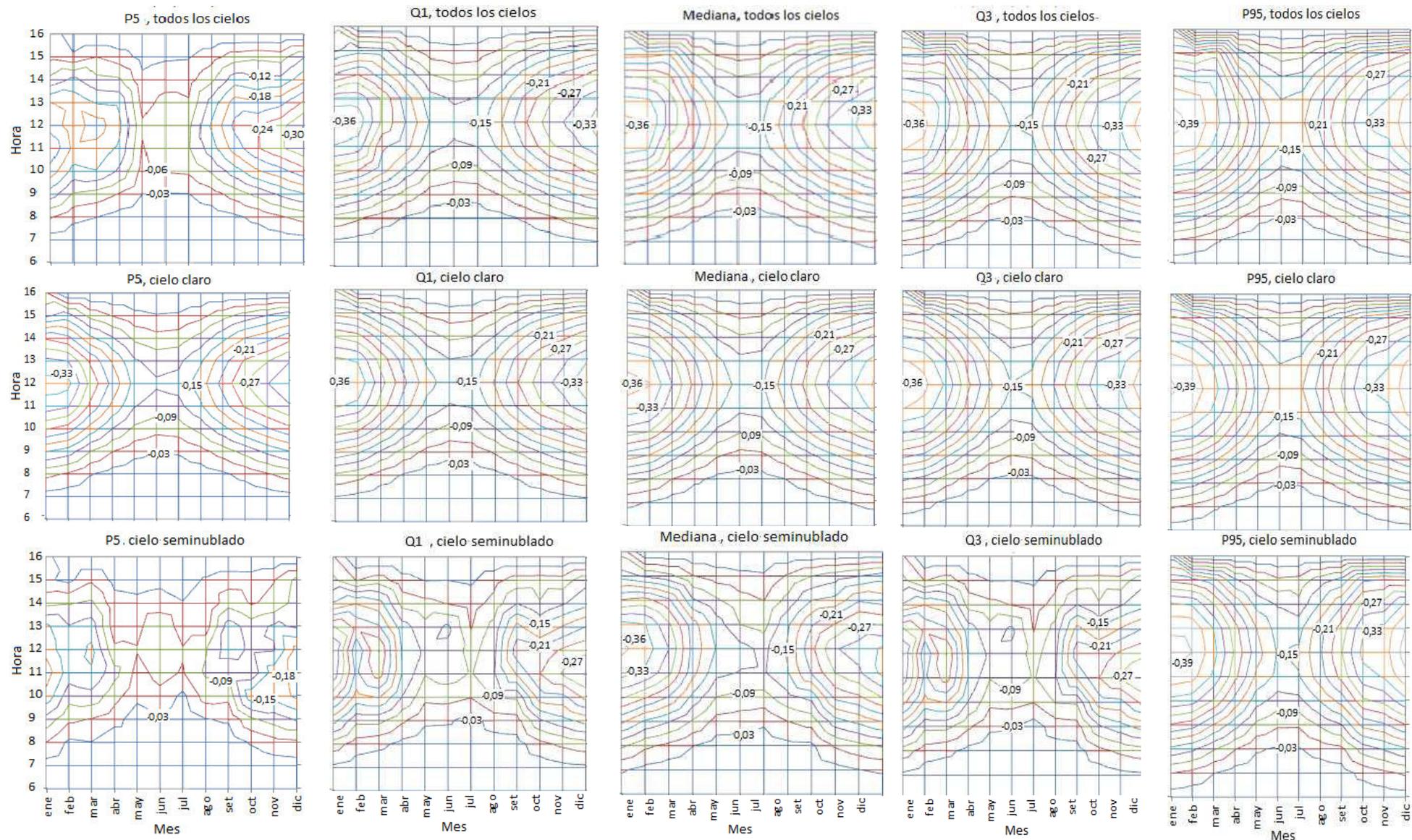


Figura 6: Percentiles de irradiancia UVER horaria en función del mes y la hora para distintas condiciones de cielo (W/m^2), la Puna (2014-2017)

La figura 6 suministra información sobre los percentiles de la distribución de irradiancia UVER horaria durante cada hora y para cada mes. La variación diaria de cada mes se observa mediante una línea paralela al eje de las horas y centrada en un mes, y la variación mensual mediante una línea paralela al eje de los meses centrada en una hora. Los datos se graficaron desde las seis (6:00 h) hasta las dieciséis (16:00 h) debido a la escases de datos en los periodos cercanos al orto y al ocaso para realizar la distribución.

Se observan dos simetrías, una respecto al mediodía solar y la otra respecto a los solsticios. Los máximos valores aparecen en las horas centrales del día debido a la evolución diaria del ángulo cenital, ya que en las horas centrales este ángulo es mínimo. Las gráficas de la figura 6 muestran, en general, un patrón similar para las distintas condiciones de cielo. Para la situación de todos los cielos la irradiancia UVER al mediodía es mayor en los meses de verano (diciembre y enero), alcanzando valores de $0,39 \text{ Wm}^{-2}$ para los cielos claros en los percentiles más altos, mientras que la irradiancia más pequeña, al mediodía, ocurre en invierno (junio y julio), pasando de $0,18 \text{ Wm}^{-2}$ en los percentiles más altos a $0,09 \text{ Wm}^{-2}$ en los más bajos. Existe una tendencia de la irradiancia a disminuir más rápidamente en horas de la tarde que aumentar en la mañana (febrero y marzo por ejemplo). Este descenso observado de UVER (o gradiente) se visualiza por el aglutinamiento de isolíneas, más pronunciado durante la tarde. Esto se debe a la formación de nubes en el transcurso del día, propios del “invierno andino”.

La tabla 2 contiene los distintos índices estadísticos de las distribuciones de irradiación UVER horaria en función de la hora y para el mes de febrero. Estos índices son: número de datos (N), media aritmética (M), mediana (Md), máximo (Mx), mínimo (Mn), primer (Q1) y tercer (Q3) cuartil, rango intercuartil (RIC), percentiles 5 (P5) y 95 (P95), coeficiente de variación intercuartil (V), desviación estándar (SD), sesgo (g), y curtosis (k). Los valores más altos de irradiación UVER se producen en las horas centrales, de 11:00 a 13:00 h. Los valores máximos están próximos a los valores del percentil 95 (inferiores al 8 %), con lo que se asegura que los máximos son bastante representativos, mientras que los valores mínimos no son representativos debido a la gran diferencia con el percentil 5 (40% a 60%). Las magnitudes de las diferencias son generales, aunque las ejemplificadas corresponden al mes de febrero.

Hora	N	M	Md	Mx	Mn	Q1	Q3	RIC	P5	P95	V	SD	P	g	k
5,5-6,5	3028	4,02	3,03	13,68	0,19	1,49	6,04	4,55	0,65	10,33	0,60	0,00	77,13	0,90	-0,18
6,5-7,5	3194	27,65	25,62	60,16	4,03	16,39	37,92	21,53	9,91	51,59	0,40	0,01	47,84	0,41	-0,88
7,5-8,5	3360	84,21	83,30	141,12	15,92	63,25	106,71	43,46	37,85	129,39	0,26	0,03	33,25	-0,07	-0,73
8,5-9,5	3360	166,82	170,68	242,42	35,80	144,28	197,93	53,65	86,12	223,63	0,16	0,04	24,36	-0,69	0,14
9,5-10,5	3360	253,98	263,59	345,91	84,12	237,90	286,91	49,01	139,28	309,75	0,09	0,05	19,12	-1,41	1,91
10,5-11,5	3360	318,38	334,25	411,09	111,24	316,41	349,71	33,31	173,31	365,65	0,05	0,05	17,27	-2,09	3,70
11,5-12,5	3360	336,70	360,66	417,75	79,15	347,99	369,22	21,23	162,27	381,59	0,03	0,07	19,76	-2,21	3,70
12,5-13,5	3360	322,08	337,82	398,48	78,77	319,02	352,81	33,78	170,67	372,08	0,05	0,06	17,70	-2,29	5,06
13,5-14,5	3360	256,33	267,16	356,85	49,46	240,52	292,38	51,86	127,39	316,88	0,10	0,05	21,26	-1,49	2,21
14,5-15,5	3360	159,95	170,32	260,74	11,49	138,40	200,07	61,68	38,75	228,62	0,18	0,05	34,10	-0,92	0,23
15,5-16,5	3360	77,28	75,93	155,92	4,21	55,83	103,10	47,27	17,77	130,44	0,30	0,03	43,13	-0,10	-0,69
16,5-17,5	3360	24,87	22,04	68,52	0,60	14,59	34,12	19,53	4,80	51,53	0,40	0,01	56,21	0,57	-0,41

Tabla 2: Índices estadísticos de la irradiancia UVER horaria en el mes de febrero, la Puna (2014-2017). Valores en mWm^{-2} .

En el caso de febrero, figura 7 (a) y (b) la media es mayor que la mediana durante las primeras horas de la mañana y al final de la tarde, mientras que durante las otras horas del día la relación se invierte. Las distribuciones horarias presentan mayor estabilidad en las horas centrales del día y menores en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde, según el coeficiente de variación intercuartil (V). En lo referente al sesgo, las distribuciones horarias de febrero muestran asimetrías negativas la mayor parte del día, siendo las más fuertes en torno al mediodía. En las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde el sesgo se invierte a positivo. La curtosis es positiva la mayor parte del día, en las primeras horas de la mañana y últimas de la tarde es negativa.

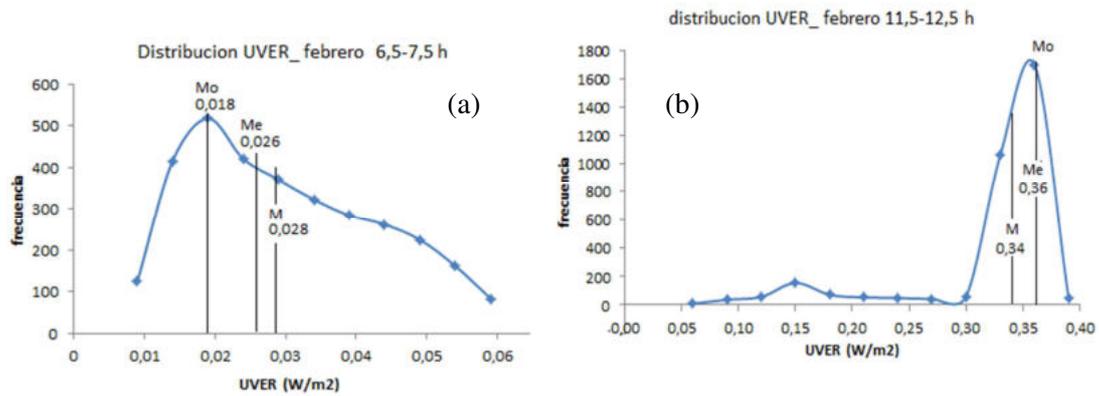


Figura 7: Distribución horaria de radiación UVER en febrero: (a) 6,5-7,5 h (b) 11,5-12,5 h, la PUNA.

El gradiente de la irradiancia con el mes, en el caso de las horas claras, no varía con el número de percentil. Esto implica que la variación del gradiente con el percentil en el resto de condiciones de cielo es debido a la atenuación de las nubes. Este gradiente es mayor en los meses de primavera y otoño, siendo muy poco pronunciado en los meses de verano, lo cual se debe a la evolución anual del ángulo cenital solar (θ_z) en las horas centrales. El θ_z en las horas centrales varía con el mes de forma sinusoidal, siendo su variación más brusca durante los meses de primavera y otoño.

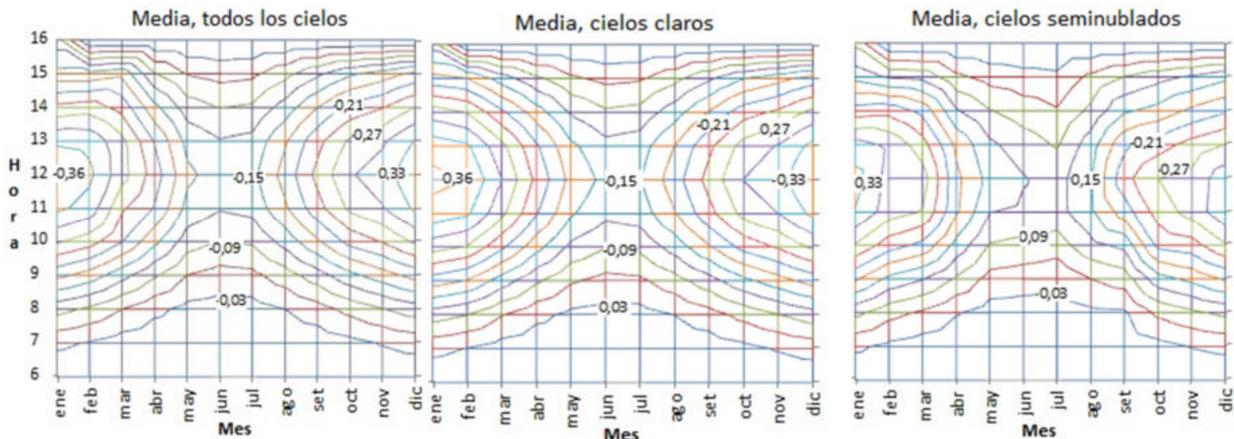


Figura 8: Media de irradiancia UVER horaria en función del mes y la hora para distintas condiciones de cielo (Wm^{-2}), la PUNA (2014-2017).

Uno de los indicadores estadísticos más significativos es la media, la cual está representada en la figura 8 para las distintas condiciones de cielo. Se observan las dos simetrías advertidas en los percentiles, al igual que los gradientes de irradiancia a lo largo del año son más pronunciados en los meses de verano, marzo y otoño, más aun durante la tarde. Se observa la influencia del “invierno andino” que provoca elevados gradientes de irradiancia UVER durante la tarde en los meses de enero, febrero y marzo. Los valores máximos de irradiancia UVER alcanzan los $0,36 Wm^{-2}$ en las horas centrales del día, estos se reducen a $0,15 Wm^{-2}$ en el mediodía invernal. Para cielos seminublados los valores máximos y mínimos en el mediodía son de $0,33 Wm^{-2}$ y $0,12 Wm^{-2}$.

Finalmente se analizan los índices estadísticos referentes a los momentos centrales respecto de la media. En la figura 9 se grafican las isolíneas de la desviación estándar, el sesgo y la curtosis para todas las condiciones de cielos. La desviación estándar en las horas centrales del día muestra su máximo en los meses de diciembre, enero y febrero, debido a la influencia del “invierno andino”, con la formación de nubes cumuliformes ascendentes a partir del mediodía. En cuanto al sesgo este es positivo en las primeras horas de la mañana (6:30 a 8:30 h), con valores inferiores a la unidad, luego la distribución cambia a sesgo negativo hasta las 15:30 h con valores entre 0,0 y -1,0; luego torna a positivo hasta el atardecer. Los meses de verano y primavera son los más asimétricos. Enero, febrero,

marzo, setiembre, octubre, noviembre y diciembre son los meses que mayor sesgo, negativo, tienen al mediodía. Hay una curtosis muy grande en los meses de setiembre y noviembre, siempre las mayores se dan en las horas centrales del día (leptocurticas). En las primeras horas de la mañana (hasta las 9:30h), la curtosis es negativa (platicurtica), aunque sus valores son cercanos a cero, por lo que se las puede considerar aproximadamente mesocurticas, lo mismo ocurre durante la tarde (después de las 14:30h).

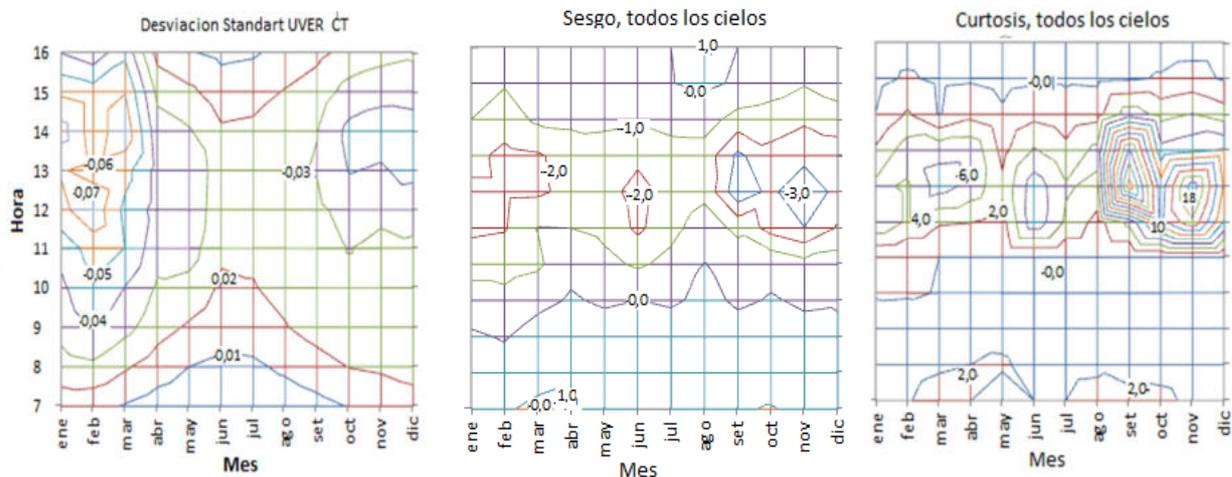


Figura 9: Momentos centrales de la irradiancia UVER horaria para todas las condiciones de cielo: desviación estándar, sesgo y curtosis; la Puna (2014-2017).

IRRADIACIÓN UVER HORARIA ACUMULADA

La producción del eritema está relacionada con la cantidad de irradiación recibida acumulada, por lo que es necesario realizar un análisis de la radiación UVER acumulada durante un día o partes de un día. Por lo tanto se evaluó la irradiación UVER acumulada por horas. En la figura 10, se muestra la acumulación media de cada mes independientemente de la condición del cielo. A su vez también se tiene en cuenta el número de dosis mínimas eritémicas (MED) recibidas a lo largo del día para una persona del fototipo II ($MED II=250 \text{ Jm}^{-2}$). En ella se muestra que la máxima acumulación diaria ocurre en el mes de diciembre, con $7,72 \text{ KJm}^{-2}$ ($30,89 \text{ MED II}$). El máximo acumulado en una hora, $1,27 \text{ KJm}^{-2}$, también se da en enero entre las 11:30 y las 12:30 h. En las horas centrales es cuando más aumenta la irradiación acumulada. Las mínimas ocurren en invierno con valores de $2,49 \text{ KJm}^{-2}$ ($9,98 \text{ MED II}$).

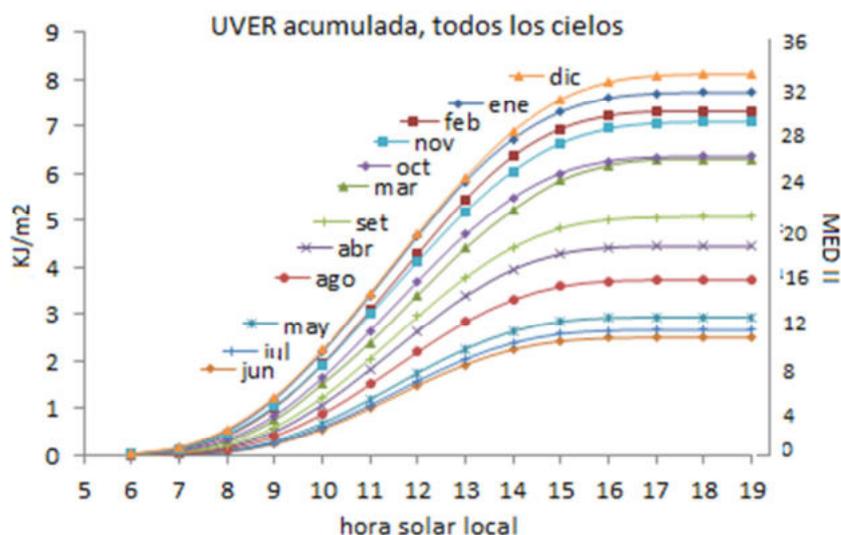


Figura 10: Media UVER acumulada y dosis MED II, según la hora y para cada mes del año; la Puna.

A continuación se describen varios ejemplos acerca de la dosis promedio recibida por una persona del fototipo II en la región de Puna. En el caso más extremo, una persona del fototipo II expuesta al sol durante todo un día de diciembre, recibirá aproximadamente 31 veces la dosis mínima para la producción de eritema. Si esta persona estuviera expuesta todo el día al sol en el mes de junio, recibiría 10 veces la cantidad necesaria para quemarse la piel. Si se estuviera expuesto de 10:30 a 13:30 h en diciembre una persona del fototipo II recibe una cantidad aproximadamente 10 veces mayor a la mínima para causar el eritema. Si el mes fuera junio esa cantidad se reduce a 4 MED II. En las primeras y últimas horas del día la dosis recibida es inferior, aunque en los meses de verano, hasta las 10:30 h en la mañana o su simétrico en la tarde se llega a recibir de media lo mismo que en todo un día de junio.

ÍNDICE UV HORARIO

Se realizó un análisis de la irradiación UVER por hora típica, medida como índice UV, ya que su interpretación es más intuitiva para comunicar a la población de la peligrosidad promedio de exposición al sol de manera gráfica y sencilla. En la figura 11 se ha desarrollado un conjunto de gráficas de distribución de IUUV para distintas condiciones de cielo. Se observa que bajo cielos claros se puede alcanzar un IUUV promedio de 16 en los meses de verano (enero y febrero), mientras que en cielos seminublados el IUUV medio alcanza el valor 14 durante esos mismos meses. En un día típico nublado de mayo, se midió un IUUV máximo de 2,5 a las 10:00 h. El valor máximo de irradiancia eritémica (IUUV=19,5) se produjo el 20/01/2015 al mediodía solar. La variación de UVER o salto UV eritémico más probable entre la temporada estival e invernal fue de 11,0 IUUV y correspondió a un descenso porcentual del 65%. Durante los meses de junio y julio la radiación UVER fue mínima con promedios de 6,0 IUUV (riesgo moderado). Los máximos de IUUV superaron ampliamente el umbral indicado como de *riesgo extremo* de quemadura solar.

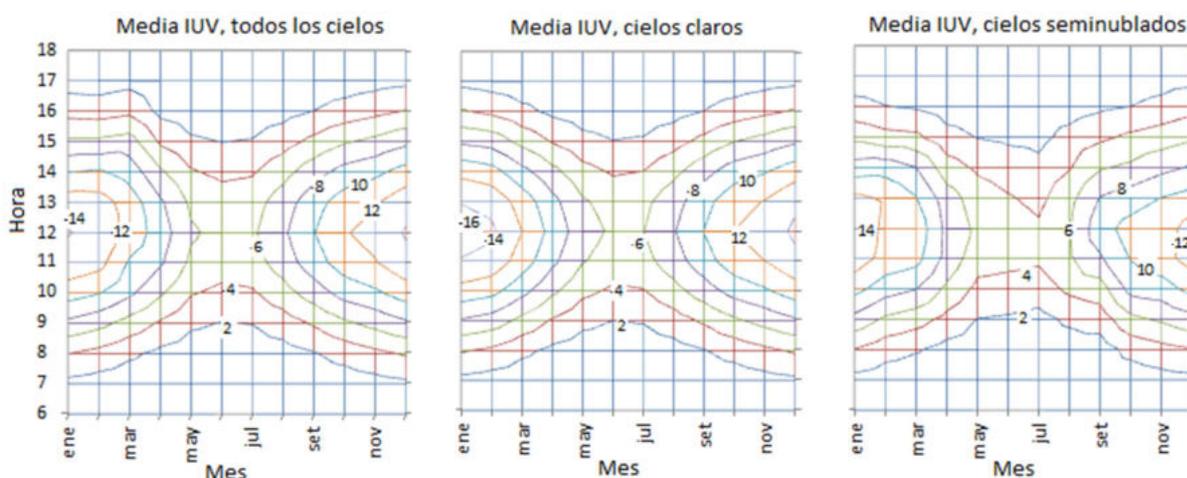


Figura 11: IUUV medio horario, en función del mes y la hora para distintas condiciones de cielo, la Puna (2014-2017).

De acuerdo a la clasificación de riesgo solar sugerido por la WHO y a su representación a través del código internacional de colores, se pueden construir mosaicos de riesgo solar. En él se ilustra el tipo de riesgo según el valor del IUUV y el código internacional de colores, *bajo* (<3), *moderado* (3-5), *alto* (6-7), *muy alto* (8-10) y *extremo* (>10). Esto a los fines de una mejor interpretación por parte de la población. El caso en que no se discrimina el tipo de cielo se ilustra en la figura 12.

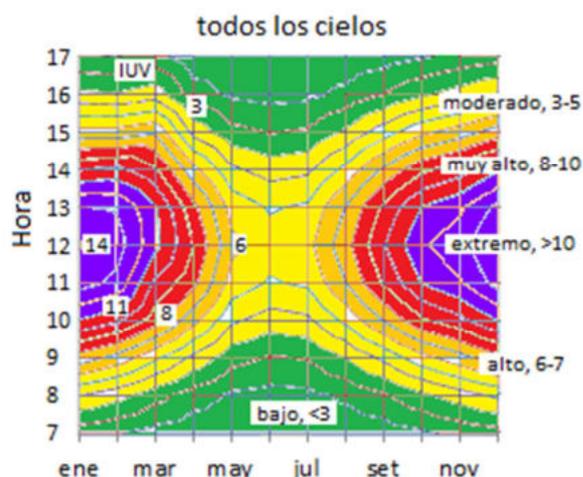


Figura 12: Mosaico de Riesgo Solar en IUV y en escala internacional de colores (WHO).

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado la distribución del año típico de radiación UVER diaria y horaria en la estación radiométrica Tolar Grande; para todas las condiciones de cielo, cielos claros y seminublados. Esta distribución ha sido analizada estadísticamente y sus resultados pueden ser extendidos a la región de Puna. Se construyeron mapas de distribución de UVER como isólinas y *mosaico de riesgo solar*. A través de las isólinas calculadas se puede obtener la irradiancia UVER y el índice UV promedio al que se expone una persona en una determinada hora y mes. El número de días con cielo claro, para un determinado mes, supera ampliamente al de cielos seminublados y aún más al de nublados. La mayor cantidad de días con CC (96,7%) ocurre en setiembre, donde los CS (2,2%) y los CN (1,1%) son considerablemente menores. Solo en enero, el número de CS (60%) supera a los CC (40%). Las horas de exposición más peligrosas para la piel son las centrales de los meses de diciembre y enero.

Del análisis de la irradiación UVER acumulada, se deduce que una persona del fototipo II expuesta al sol durante todo un día de diciembre, recibirá aproximadamente 31 veces la dosis mínima para la producción de eritema. Si esta persona estuviera expuesta todo el día al sol en el mes de junio, recibiría 10 veces la cantidad necesaria para quemarse la piel. Si se estuviera expuesto de 10:30 a 13:30 h en diciembre una persona del fototipo II recibe una cantidad aproximadamente 10 veces mayor a la mínima para causar el eritema. Si el mes fuera junio esa cantidad se reduce a 4 MED II. Niveles de riesgo solar *extremo* muy elevados se registraron durante los meses de verano, también en primavera y otoño. Niveles de riesgo solar *moderado* y *bajo* no se presentaron al mediodía solar en verano, ocurrieron solo en la primeras horas de la mañana y últimas de la tarde. En los meses de invierno, estos niveles se dan durante todo el día.

Los Índices UV medidos *alto - extremo* abarcan una gran franja temporal (entre las 9:00 y 15:00 hora solar local) para la temporada estival, este valor de riesgo UV permaneció hasta el mes de abril y reinició en el mes de setiembre en este sitio de altura. En la estación invernal el riesgo UV mayormente fue *moderado - bajo*. Durante la primavera y otoño se midió IUV *alto, muy alto y extremo*. Las dosis acumuladas fueron grandes, por lo que todos los diferentes fototipos cutáneos están expuestos al daño eritémico. Estas dosis UVER exceden largamente el valor límite umbral (LEV) recomendado por la WHO, aproximadamente 100 J/m^2 para una exposición de 8 h sin riesgo para la salud. En vista de este análisis se concluyó que es de suma importancia adoptar medidas de protección a la exposición UVER, sobre todo en las cuatro horas en torno al mediodía solar, donde se midieron dosis de aproximadamente el 60% de la diaria total. En un futuro el año típico se actualizará temporalmente para obtener valores más completos y con mayor peso estadístico.

REFERENCIAS

- Blumthaler, M., Ambach, W., and Ellinger, R. (1997). Increase in solar UV radiation with altitude. *J. Photochem. Photobiol. B-Biol.*, 39:130–134.
- Cede A, Luccini E, Nuñez L, Piacentini R D, Blumthaler M, Monitoring of erythemal irradiance in the Argentine ultraviolet network, *J. Geophys. Res.* 107 (2002) 4165.
- Franco, JA.: Metodologías de generación y comparación de años meteorológicos típicos, aplicación a sistemas solares térmicos, fotovoltaicos y pasivos, tesis doctoral, Universidad de Valladolid, 2002.
- 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.
- Suárez, H. et al. (2013). Medición de radiación eritémica en sitios de altura de la Provincia de Salta. ASADES.
- WHO (2002). Global solar UV index. A practical guide. World Health Organization.

ABSTRACT

ERITEMIC UV RADIATION AT THE PUNA: DAILY AND HOURLY STATISTICAL STUDY FOR A TYPICAL YEAR

A typical year of solar UV radiation (UVER) has been developed in the town of Tolar Grande, located in the Puna region of the province of Salta (lat: -24,59; long: -67,40 and 3560 m.s.n.m). It has been analyzed statistically by different indices: percentiles, mean, standard deviation, bias, kurtosis and others. The analysis has been performed for daily and hourly doses of UVER radiation; and in instantaneous values of irradiation UVER hourly. We worked first with data of all types of skies (CT) and then divided them into 3 categories: clear sky (CC), partially cloudy (CS) and cloudy (CN). The predominant character of the type of sky was checked every month. Graphs were made to inform about the ultraviolet index (UVI) and the hourly and daily erythemic doses received in the Puna region according to the condition of the sky.

Keywords: solar radiation, UV index, erythema, Puna