



Niveles de radiación UV ambiental para dosificar el PUVA-sol en México

Juan Pablo Castanedo-Cázares,^a Bertha Torres-Álvarez,^a
Adriana Ehnis-Pérez,^a Isaura Alba-Barba^a

Environmental UV radiation levels for dosing PUVA-sol in Mexico

Background: PUVA-sol therapy has the advantage of its extensive availability and low cost. However, its use is empirical. The aim was to quantify the environmental UVA radiation and suggest a method for PUVA-sol administration.

Methods: we measured the UV radiation in the center of México (22 °N, 101 °W, 1877 m) by means of terrestrial radiometry from 2007 to 2011. We registered the variations according to hour, month, cloudiness and transmission through domestic silicate plates.

Results: more than 75 % of the UVA radiation is registered between the hours of 9:00 and 17:00. The annual lowest average intensity was 20 mW/cm² and the highest 25.4 mW/cm² (ANOVA, $p < 0.001$). The monthly UVA irradiation during the zenith for clear skies can be estimated by the following formula: $23.8 + 0.13 \text{ (month)} - 0.13 \text{ (month} - 6.5)^2$, ($r^2 = 0.95$, $p < 0.001$). The commonly used silicate plate (3 mm) has a UVB absorbance of 0.93, and UVA transmittance of 0.58.

Conclusions: the rational use of PUVA-sol is possible on the basis of the obtained data. It is necessary to isolate UVB radiation, and to adjust exposure during cloudy days, as well as following the safety protocol to obtain benefit and to reduce the risk of adverse effects.

Key words:

phototherapy
PUVA therapy
psoralens
ultraviolet rays
radiation
Mexico

La combinación de radiación ultravioleta A (UVA) con psoralenos se denomina PUVA y origina una interacción fotoquímica mediante una reacción oxígeno-independiente que inhibe la síntesis de ácido desoxirribonucleico, y otra oxígeno-dependiente que induce apoptosis por radicales libres.¹ Los psoralenos son furocumarinas tricíclicas, entre las cuales se encuentran el metoxipsoraleno (8-MOP), el bergapteno (5-MOP) y el trioxaleno (3-MOP).^{1,2} El metoxipsoraleno es el más utilizado en México. Su acción inicia por vía oral a los 60 minutos. Sus niveles son máximos a las 2 horas y su eliminación es total a las 8 horas.¹ De forma tópica inicia su acción 20 minutos después de su aplicación y permanece activo durante aproximadamente 30 minutos.² Existen más de 20 condiciones cutáneas que responden favorablemente a tratamiento con PUVA; su uso es frecuente en psoriasis y vitíligo.¹⁻³ Sin embargo, el uso de la fototerapia en nuestro país se encuentra limitado por la escasez de centros que la ofrecen, y la necesidad de asistir a la unidad varias veces por semana, lo cual dificulta su cumplimiento.

Administrar un psoraleno, como se indica para PUVA, pero empleando luz solar como fuente de radiación UVA se conoce como PUVA-sol.⁴ Nuestro país, por su ubicación geográfica, es abundante en radiación solar la mayor parte del año.⁵ Esta emisión comprende primordialmente radiación UVB (290-320 nm), UVA (320-400 nm), luz visible (400-800 nm) y radiación infrarroja (800-10 000 nm).⁶ Pese a su disponibilidad, en nuestro país no contamos con guías ni protocolos para el aprovechamiento de la radiación UVA con fines terapéuticos, sino, por el contrario, contamos con informes de efectos secundarios por uso inadecuado.⁷ A fin de establecer parámetros para su potencial utilización de forma prudente, cuantificamos la radiación solar UV ambiental existente en el centro del país y sugerimos un método para su administración.

Métodos

La medición de los niveles de radiación UV se llevó a cabo en la ciudad de San Luis Potosí, México (22°09' latitud norte, 100°58' longitud oeste, 1877 m de altitud). Se realizaron mediciones cinco días por semana a intervalos de 30 minutos, de 9:30 a 16:30 horas, de enero de 2007 a julio de 2011. La intensidad de radiación UVA ambiental se midió de forma manual con un dosímetro diseñado para monitoreo de fototerapia, el cual registra el espectro de 312 a 380 nm, con pico en 352 nm (UVA-400C, National Biological Co., Twinsburg, Ohio, USA). La cuantificación UVB se realizó con un radiómetro meteorológico ajustado al espectro de acción eritematógeno,⁸ con registros automáticos cada 15 minutos (Biometer 501, Solar Light, Glenville, Pennsyl-

Introducción: la terapia PUVA-sol tiene como ventaja su disponibilidad y bajo costo. Sin embargo, su utilización es empírica. La finalidad del estudio es cuantificar la radiación solar UVA ambiental y sugerir una forma de administración en México.

Métodos: se midió la radiación UV en el centro del país (22 °N, 101 °O, 1877 m) mediante radiometría terrestre de 2007 a 2011. Se registró la variación por hora, mes, nubosidad y transmisión a través de placas de silicato doméstico.

Resultados: más del 75 % de la radiación UVA se registra entre las 9:00 y las 17:00 horas. La intensidad anual promedio mínima fue de 20 mW/cm² y la máxima de 25.4 mW/cm² (ANOVA, $p < 0.001$). El cálculo de radiación UVA mensual durante el cenit bajo cielo despejado puede estimarse mediante la fórmula: $23.8 + 0.13$

(mes) – 0.13 (mes – 6.5)², ($r^2 = 0.95$, $p < 0.001$). La placa común (3 mm) de silicato doméstico tiene una absorción UVB de 0.93 y una transmitancia UVA de 0.58.

Conclusiones: es posible el empleo racional de PUVA-sol según los datos obtenidos. Es necesario aislar la radiación UVB y ajustar la dosis según la nubosidad, así como apegarse al protocolo de seguridad a fin de obtener beneficios y minimizar los efectos adversos.

Resumen

Palabras clave:

fototerapia
terapia PUVA
psorálenos
rayos ultravioleta
radiación
México

vannia, USA). La intensidad fue medida en *microwatts* por centímetro cuadrado (mW/cm²). A fin de cuantificar la atenuación UV durante días nublados, se tomó como referencia la clasificación sobre las condiciones del cielo de la Organización Meteorológica Mundial.⁹ La nubosidad al momento de las mediciones fue clasificada según la cobertura celeste en escasa (< 10 %), nublado parcial (11-50 %), nublado mayor (49-90 %) y cielo cubierto (> 91 %). Este informe fue obtenido en tiempo real desde el sitio en línea del Servicio Meteorológico Nacional (<http://smn.cna.gob.mx>). Asimismo, la irradiancia ambiental UVA se comparó con la emisión de una cabina de fototerapia con 24 lámparas fluorescentes (HOUVAII, National Biological, Co. Twinsburg, Ohio, USA).

La radiación UV se divide en *A* o *B*, según su absorción y transmitancia a través de un vidrio.^{3,6} El segmento *B* es el que origina la quemadura solar;⁶ por lo tanto, es necesario su aislamiento a fin de evitar complicaciones durante la terapia. Para cuantificar la sustracción UVB a través de una ventana, se utilizaron placas de silicato sódico de uso doméstico con espesores de 1 a 5 mm frente al sensor del radiómetro. La transmisión UV (*T*) se cuantificó como la fracción del total de radiación ambiental incidente utilizando la expresión $T = I_c/I_a$, donde *Ic* es la irradiancia detrás del cristal e *Ia* es la ambiental incidente.¹⁰

La exposición UVA (*E*) en minutos se calculó mediante la multiplicación de la dosis prescrita (joules/cm²) por la constante 16.7. El resultado se dividió entre la intensidad (mW/cm²) para la hora y mes del tratamiento. La constante representa la conversión de la dosis a *milijoules*, y la exposición de segundos a minutos.⁶ La fórmula resultante es: $E = (\text{Dosis} \times 16.7)/\text{Intensidad}$.

Inicialmente los datos fueron sometidos a un análisis descriptivo univariado. La variación de los promedios mensuales registrados durante el cenit solar fue

determinada mediante el análisis de varianza de una vía (ANOVA). Se estableció un nivel de confianza de 95 % (IC 95 %) y se consideró la $p \leq 0.05$ como significativa. Los análisis fueron realizados con el programa JMP 8.0 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

Resultados

Medición de radiación UV

La intensidad UVA anual se muestra en el cuadro I y corresponde al promedio de múltiples observaciones realizadas de forma mensual durante 4 años continuos en condiciones de cielo despejado (< 10 % nubosidad). Se observó que más del 75 % de la dosis diurna de radiación UVA se registró entre las 9:00 y las 17:00 horas, por lo que la tabla de referencia fue construida considerando este horario. Existieron diferencias significativas en la intensidad mensual (ANOVA, $p < 0.001$). El lapso de mayor radiación fue de mayo a julio. La intensidad promedio máxima fue 25.4 mW/cm² en mayo, y la mínima de 20 mW/cm² en enero. La diferencia entre ambos valores es de 21.2 %. Encontramos una relación estrecha entre la intensidad mensual máxima y el mes ($r^2 = 0.95$, $p < 0.001$), por lo que la irradiancia mensual extrema puede predecirse utilizando la siguiente fórmula de regresión polinomial cuadrática:

$$\text{UVA (mW/cm}^2\text{)} = 23.8 + 0.13(\text{mes}) - 0.13(\text{mes} - 6.5)^2.$$

La intensidad UVA ambiental durante el cenit fue superior a la emitida por la cámara de fototerapia antes descrita, que mostró en promedio 16 mW/cm² (IC al 95 %, 15.7-16.2) durante su operación en este mismo periodo.

En esta región del país, el 70 % de las mediciones se obtuvieron en condiciones de cielo claro o nubes

Cuadro I Promedio anual de la intensidad ambiental de radiación UVA (mW/cm^2) por intervalos horarios

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
9:00	9.0	9.7	10.2	9.3	9.6	11.3	10.0	9.6	9.0	8.7	13.6	12.7
9:30	12.0	12.3	12.5	12.8	13.4	14.6	14.0	12.5	11.2	10.7	16.7	15.7
10:00	14.8	14.9	15.0	14.3	14.7	16.1	15.6	16.3	13.6	14.3	18.6	17.5
10:30	16.4	16.3	17.2	16.5	17.4	18.8	18.0	17.4	16.4	16.5	20.4	19.1
11:00	18.0	18.2	18.9	19.1	19.5	20.5	20.1	18.5	18.7	18.0	21.6	20.3
11:30	19.1	19.4	19.5	19.8	21.8	22.0	21.9	20.7	20.6	20.0	22.4	21.1
12:00	19.8	20.9	21.0	20.4	22.0	22.9	22.5	21.3	21.9	21.4	22.5	21.2
12:30	19.9	21.0	21.4	21.3	23.3	24.0	23.5	21.9	22.9	23.0	22.7	21.4
13:00	20.0	21.1	22.0	22.8	24.1	24.8	24.0	23.8	23.3	23.1	22.4	20.9
13:30	19.9	20.9	21.5	23.5	24.8	25.4	24.7	24.2	24.0	23.3	22.2	20.7
14:00	19.8	20.9	21.1	23.0	23.9	24.4	24.2	24.0	23.2	22.8	21.4	20.1
14:30	19.0	19.3	19.5	22.3	23.2	23.9	23.6	22.4	22.7	22.6	20.2	19.1
15:00	18.0	18.2	19	21.7	22.0	23.1	22.6	21.3	21.1	21.3	18.5	17.3
15:30	16.5	16.2	17.2	19.8	21.7	22.1	21.5	20.6	20.4	19.8	16.5	15.3
16:00	14.8	15.0	15.1	19.0	19.4	20.3	20.2	18.3	18.5	18.2	13.7	12.7
16:30	12.0	12.3	12.5	16.6	17.4	18.8	18.3	17.4	16.4	16.4	10.0	9.4
17:00	9.0	9.6	10.1	14.3	14.5	16.2	15.3	16.2	13.5	14.2	8.6	8.0

Mediciones realizadas de 2007 a 2011 en San Luis Potosí, México. La intensidad fue medida bajo cielo sin nubosidades en localización 22° 08' norte, 101° longitud oeste, y 1877 m de altitud. La irradiancia UVA fue cuantificada en la banda de 320 a 380 nm, con máxima absorción en 352 nm. En los datos se considera el horario de verano en el centro del país (una hora más de abril a octubre)

escasas. Observamos que la presencia de nubosidades en la atmósfera solo atenúa la radiación UVA de forma perceptible si las nubes se interponen sobre el disco solar. La transmitancia UV promedio con nubes escasas fue de 0.85 (IC al 95 %, 0.8-0.94), con nublados parciales de 0.70 (IC 95 %, 0.65-0.81), con nublados mayores de 0.54 (IC al 95 %, 0.51-0.63) y con cielo total cubierto de 0.31 (IC 95 %, 0.25-0.45).

Aislamiento de la radiación UV

El cuadro II muestra la fracción transmitida de radiación UV de acuerdo con diferentes grosores de vidrio. La transmisión de radiación UVA es de 0.83 en placas de 1 mm, y se reduce a 0.4 cuando el grosor es de 5 mm. Las placas mayores a 3 mm muestran escasa transmisión UVB, ya que absorben más del 93 % de esta radiación.

Dosificación de PUVA-sol

Para realizar la dosificación PUVA-sol se ejemplifica con un paciente fototipo IV con psoriasis en el 40 % de la superficie corporal. La dosis inicial es de 2 J/cm^2 , según guías de referencia.¹¹ El paciente tiene la posibilidad de exponerse al sol entre las 9 y las 11 horas. Por lo tanto, la dosis prescrita en enero a las 10:30 horas correspondería a 2 minutos, de acuerdo con la fórmula $E = (2 \text{ J/cm}^2 \times 16.7)/16.5 \text{ mW/cm}^2 = 2 \text{ minutos}$. Para eliminar la radiación UVB, el paciente debe exponerse detrás de una ventana (figura 1). Esto implica 40 % de atenuación en la transmisión UVA, ya que el vidrio doméstico tiene un grosor de 3 mm en la mayoría de los casos. Este ajuste representa una exposición de 3 minutos, por ejemplo, $2 \times 16.7/(16.5 \times 0.6) = 3$, donde 0.6 representa la transmisión UVA del cristal. Se le debe recomendar al paciente ingerir el psora-

leno a las 8:30 horas, e iniciar protección solar en piel expuesta y ojos. Dos horas después, deberá exponer las áreas afectadas a la luz solar detrás de un cristal claro por tres minutos. En caso de nubosidades mayores que obstruyan el sol y causen difracción UVA, se deberá duplicar el tiempo de exposición. Una vez concluida la sesión, deben continuarse las medidas de seguridad por 6 horas más. El incremento y el cálculo de dosis subsecuentes se realiza bajo supervisión estrecha. En áreas afectadas de poca extensión, el psoraleno tópico facilita la terapia al no requerir fotoprotección general. Este se aplica 20 minutos antes y al término de la exposición se enjuaga y se protege la zona. El tiempo de exposición se calcula de la misma forma. En el cuadro III se incluye una guía en minutos para dosificar PUVA-sol considerando la exposición a través de cristal (3 mm), para alcanzar la dosis de 1 J/cm².

Discusión

La radiación UVA representa el 90 % de la radiación UV terrestre.⁶ La intensidad UV se ve influenciada por la hora, la estación del año, la nubosidad, la latitud, la altitud, así como por la contaminación ambiental.^{3,5,6,10,12} Sin embargo, la radiación UVA muestra un coeficiente de variación estacional 200 veces menor al de la UVB, y las bandas de distribución latitudinales son mayores.^{5,12} Por lo tanto, los niveles encontrados en este estudio se aplican a la mayor parte del país, ya que fueron determinados en el centro geográfico y el 59 % del territorio nacional se encuentra entre 10 y 20° de latitud norte, y el 40 % entre 21 y 30° también de latitud norte. La humedad ambiental y la altitud no modifican de forma sustancial la intensidad UVA debido a su mayor longitud de onda.^{6,12}

La terapia PUVA-sol tiene como ventaja la disponibilidad universal de la luz solar, así como el beneficio potencial de reducir costos y ausencias laborales. Sin embargo, cuantificar la dosis UVA y aislarla del



Figura 1 Incidencia solar a través de una placa de silicato sódico hacia el interior de un recinto a las 11 horas en el mes de enero. El vidrio de las ventanas impide la exposición a radiación UVB. La irradiancia UVA es de 10.8 mW/cm². Para obtener una dosis de 1 J/cm² se requiere 1 minuto y 30 segundos

espectro UVB visible e infrarrojo es poco práctico en un ambiente doméstico. La intensidad de la radiación UVA ambiental encontrada en este estudio es mayor a la emitida por 24 lámparas fluorescentes de UVA de una cabina profesional utilizada en fototerapia. En consecuencia, los efectos adversos de PUVA-sol son resultado de una dosificación y una supervisión inadecuadas, con poca observancia de las medidas de seguridad básicas. Por lo tanto, más que rechazar su utilidad es indispensable que se reconozcan y controlen estas variables.

Proponemos el empleo juicioso de PUVA-sol con los cuadros mostrados, en conjunto con el aislamiento UVB, para evitar que se presente una quemadura solar. También proponemos su ajuste en caso de nubosidades mayores. La vigilancia de cualquier efecto secundario debe ser continua, sin pasar por alto el protocolo de seguridad recomendado en fototerapia. Son cuidados elementales usar lentes de sol para proteger los ojos, así como aislar la piel del ambiente, sin olvidar cabeza y genitales,

Cuadro II Atenuación de la radiación UV a través de su paso por placas de silicato sódico (vidrio claro) de diferentes espesores

Grosor (mm)	Transmitancia	
	UVA	UVB
1	0.83	0.34
2	0.69	0.13
3	0.58	0.06
4	0.5	0.03
5	0.4	0.03

Cuadro III Tiempo en minutos para acumular la dosis de 1 J/cm² a través de la exposición ante un cristal de 3 mm de espesor

Hora	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
9:00	3.1	2.9	2.7	3.0	2.9	2.5	2.8	2.9	3.1	3.2	2.0	2.2
9:30	2.3	2.3	2.2	2.2	2.1	1.9	2.0	2.2	2.5	2.6	1.7	1.8
10:00	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	1.7	1.8	1.7	2.0	1.9	1.5	1.6
10:30	1.7	1.7	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	1.4	1.5
11:00	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4
11:30	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.2	1.3
12:00	1.4	1.3	1.3	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.2	1.3
12:30	1.4	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3
13:00	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
13:30	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.2	1.3	1.3
14:00	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3	1.4
14:30	1.5	1.4	1.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.4	1.5
15:00	1.5	1.5	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.5	1.6
15:30	1.7	1.7	1.6	1.4	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.4	1.7	1.8
16:00	1.9	1.9	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	1.5	2.0	2.2
16:30	2.3	2.3	2.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.6	1.7	1.7	2.8	3
17:00	3.1	2.9	2.8	1.9	1.9	1.7	1.8	1.7	2.1	2.0	3.2	3.5

La dosis se muestra por intervalos de 30 minutos para cada mes del año.

El cuadro considera el horario de verano en el centro de país (1 hora más de abril a octubre). La fracción decimal se convierte a segundos mediante su multiplicación por 60

utilizando ropa apropiada y/o fotoprotectores al menos durante las 8 horas siguientes a la ingesta del psoraleno.^{1,7}

En conclusión, reconocemos que el tratamiento PUVA-sol no sustituye a la fototerapia artificial en cabina bajo supervisión directa de personal calificado. Aunque es un recurso utilizado de forma empírica en nuestro país, creemos que tiene beneficios potenciales en dermatosis y situaciones médicas específicas. Mediante

este método, es posible ajustar la dosis inicial y sus incrementos de una forma más segura y reproducible.

Declaración de conflicto de interés: los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno en relación con este artículo.

^aHospital Central “Dr. Ignacio Morones Prieto” y Universidad Autónoma de San Luis Potosí, San Luis Potosí, México

Comunicación con: Juan Pablo Castanedo-Cázares
Teléfono: (444) 834 2795
Correo electrónico: castanju@yahoo.com

Referencias

1. Schneider LA, Hinrichs R, Scharffetter-Kochanek K. Phototherapy and photochemotherapy. Clin Dermatol. 2008;26(5):464-76.
2. Halpern SM, Anstey AV, Dawe RS, Diffey BL, Farr PM, Ferguson J, et al. Guidelines for topical PUVA: a report of a workshop of the British photodermatology group. Br J Dermatol. 2000;142:22-31.
3. Horio T. Skin disorders that improve by exposure to sunlight. Clin Dermatol. 1998;16(1):59-65.
4. Balasaraswathy P, Kumar U, Srinivas CR, Nair S. UVA and UVB in sunlight, Optimal utilization of UV rays in sunlight for phototherapy. Indian J Dermatol Venerol Leprol. 2002;68(4):198-201. Disponible en <http://www.ijdvl.com/article.asp?issn=0378-6323;year=2002;volume=68;issue=4;spage=198;epage=201;aulast=Balasaraswathy>
5. Castanedo-Cázares JP, Lepe V, Gordillo-Moscoso A, Moncada B. Dosis de Radiación Ultravioleta en escolares Mexicanos. Salud Pública Mex. 2003;45:439-44. Disponible en http://www.scielosp.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342003000600003
6. Diffey BL. What is light? Photodermatol Photoimmunol Photomed. 2002;18(2):68-74.
7. Poletti ED, Muñoz-Sandoval R, Escobedo-Terrones GS, Alcalá-Dávila EI. PUVASOL: ¿la fuerza de la costumbre? Reflexiones y propuestas en consideración a tres casos iatrógenos. Dermatología Rev Mex. 2010; 54(4):222-27.
8. McKinlay AF, Diffey BL. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. CIE J. 1987;6:17-22.
9. Atlas Internacional de Nubes. Manual de observación de nubes y otros meteoros. Ginebra, Suiza: Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial (OMM); 1993.
10. Estupiñán JG, Raman S, Crescenti, GH, Streicher JJ, Barnard WF. Effects of clouds and haze on UVB radiation. J Geophys Res. 1996;101(D11):16807-16. Disponible en <http://nc-climate.ncsu.edu/sraman/publications/J120.pdf>
11. Menter A, Korman NJ, Elmets CA, et al. Guidelines of care for management of psoriasis and psoriatic arthritis. Section 5. Guidelines of care for the treatment of psoriasis with phototherapy and photochemotherapy. J Am Acad Dermatol. 2010;62 (1):114-35.
12. Madronich S, McKenzie RL, Björn LO, Caldwell MM. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. J Photochem Photobiol B. 1998;46(1-3):5-19.