

## DOSIMETRIA DE LUZ ULTRAVIOLETA SOLAR Y LUMINOSIDAD: HACIA LA BUSQUEDA DE UNA TERAPIA RACIONAL CON PUVA-SOL

Balcázar, Luis Fernando – de la Hoz, Carmen Elena –Vargas, Miriam – Argotte, Raúl F. –Tróchez, Pablo A. – Ochoa, María Teresa

### RESUMEN

**Antecedentes:** El gran costo de las fuentes artificiales de luz UV las hace inaccesibles a muchos lugares que continúan usando el sol como fuente terapéutica de radiación UV. Aunque muy difundida, la terapia Puvasol tiene una fuerte base empírica que pocos han procurado eliminar.

**Objetivos:** Cuantificar la intensidad de las radiaciones UVA, UVB y luminosidad emitidas por el sol. Hacer propuestas encaminadas a establecer la dosimetría de la terapia Puvasol.

**Métodos:** Se efectuaron medidas de UVA, UVB y luminosidad a las 10 am, 12 m y 2 pm entre diciembre de 1991 y mayo de 1992.

**Resultados:** Es posible planear con antelación los tratamientos Puvasol con base en dosis requeridas de UVA, UVB si previamente se tiene un valor promedio de éstas ondas a diferentes horas del día. En iguales condiciones, es al mediodía cuando se registran los valores más altos de UVA y UVB, pero éstos caen en forma abrupta hasta valores de poca aplicabilidad, si el sol está cubierto. Este mismo factor hace que ondas emitidas a las 10 am y 2 pm tengan valor terapéutico si el sol está despejado.

La luminosidad refleja con gran precisión el valor de UVA-UVB y eventualmente puede ser de gran ayuda en la dosimetría Puvasol.

**Conclusiones:** El método Puvasol continúa siendo una buena opción terapéutica susceptible de ser mejorada. Se plantean algunas ideas para este fin y además se propone una tabla guía para dosimetría de fácil aplicación y disponibilidad.  
(Palabras Clave: Puva-sol, UVA, UVB)

Luis Fernando Balcázar MD, Residente III  
Carmen Elena de la Hoz MD, Residente III  
Miriam Vargas MD, Residente II  
Raúl Argotte MD, Residente II  
Pablo Tróchez MD, Residente I  
María Teresa Ochoa MD, Residente I  
Universidad del Valle  
Facultad de Salud, Sección de Dermatología  
Santiago de Cali, Valle del Cauca.

### INTRODUCCION

El sol es una fuente de radiación electromagnética no ionizante que al entrar en contacto con la piel genera reacciones variadas; la exposición a la luz solar natural ha ocupado un importante papel en la terapéutica dermatológica<sup>1</sup>.

Se ha utilizado, desde la antigüedad la LUV sola (fototerapia) o acompañada de agentes sensibilizantes como los psoralenos (fotoquimioterapia)<sup>2</sup>; las primeras descripciones se encuentran a partir de 1550 A.C. en los Papiros de Ebers, Atharva Veda 1400 A. C., literatura hindú y china<sup>3</sup>; en 1947 El Mofty demuestra la utilidad del tratamiento con psoralenos en el vitiligo<sup>3</sup>, que hoy son utilizados en una extensa gama de enfermedades. La fototerapia se emplea principalmente en psoriasis<sup>4</sup>, pitiriasis rosada<sup>5</sup>, prurito urémico<sup>6</sup>, y foliculitis eosinofílica asociada a H.I.V.<sup>7</sup>. En cambio, la fotoquimioterapia tiene su mayor utilidad en el vitiligo y la psoriasis<sup>8</sup>.

Sin embargo y a pesar de que el sol es una potente fuente de luz UVA y UVB, es su intensidad la que permite una mayor o menor respuesta biológica pero que se modifica por factores externos tales como la latitud, altitud, las estaciones, la capa de ozono, la hora del día, presencia o no de nubosidades, masa de aire, superficies reflectivas y dispersión de los rayos solares<sup>9</sup>. Es por esto que han surgido con fuerza las cámaras de LUV, que permiten una terapia más objetiva, mejor dirigida y por lo tanto más efectiva<sup>9</sup>. Desafortunadamente los requerimientos de esta tecnología limitan su uso generalizado y en consecuencia la fototerapia y la fotoquimioterapia con luz solar continúan teniendo vigencia en áreas geográficas adecuadamente soleadas. Por todo lo anterior el objetivo principal de este trabajo está dirigido a cuantificar la cantidad de LUV A y B en relación con la luminosidad emitida por el sol, lo que permitiría realizar una terapia más racional.

### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer la intensidad de la radiación UVA y UVB emitida por el sol, en la ciudad de Cali, durante un período determinado.
- Determinar cómo inciden factores ambientales sobre la radiación UVA y UVB, utilizando medidas de luminosidad específicamente en relación con la presencia de nubosidad.

- Plantear la aplicabilidad clínica de estas mediciones, mediante la creación de tablas de tiempo de exposición para terapia PUVASOL y UVB.

**MATERIALES Y METODOS**

Se realizó un estudio prospectivo-descriptivo entre diciembre de 1991 y mayo de 1992.

**Determinación de radiación UV emitida por el sol:**

Para la determinación de luz UVA, se utilizó un equipo de medición LMA-303 y para la luz UVB un equipo LMB-304 (National Biological Corporation; Twinsburg, Ohio. 44087). Los medidores utilizan una escala entre 0.00 y 99.9 mWattios/cm.

**Determinación de luminosidad:**

Se utilizó un medidor del nivel de iluminación, modelo Simpson 408-2, con una escala entre 1 y 150 pies/candelas.

Las medidas fueron realizadas en un sitio único al aire libre en la terraza del Hospital Universitario del Valle.

Durante un mes previo a la iniciación del estudio y con el objetivo de estandarizar variables, los seis observadores realizaron mediciones diarias conjuntamente a las 8 am, 10 am, 12 m, 2 pm y 4 pm, encontrándose valores muy bajos a las 8 am y 4 pm, por lo cual se determinó tomar medidas a las 10 am, 12m y 2 pm.

Para las mediciones de UVA y UVB, se colocó el sensor cuya superficie es plana, dirigido al sol, ya que estudios previos demostraron que el sensor paralelo a la tierra registraba valores más bajos<sup>10</sup>.

Para las mediciones de luminosidad se colocó el sensor cuya superficie es esférica, sobre una superficie plana.

Para el análisis estadístico se calcularon promedios, varianzas y desviación estándar de la intensidad de radiación para luz UVA, UVB y luminosidad para cada hora del día y cada condición climática (S.D y S.C). Se utilizó el programa estadístico EPI- INFO versión 5. Se emplearon tablas de análisis de varianza para calcular la significancia estadística de las diferencias observadas.

**Definición de variables:**

- Radiación UVA: onda electromagnética cuyo rango de longitud es de 320 a 400 nm<sup>11</sup>. Unidad de medida: mWattios/cm.
- Radiación UVB: onda electromagnética cuyo rango de longitud es de 290 a 320 nm<sup>11</sup>. Unidad de medida: mWattios/cm.
- Luminosidad: es el flujo luminoso emitido por una unidad de un ángulo sólido en una dirección dada<sup>12</sup>. Unidad de medida: pies/candelas.
- Sol despejado (SD): apreciado por el observador como sol brillante, sin interposición de nubes directamente enfrente de él. Origina sombras bien definidas.

- Sol cubierto (SC): apreciado por el observador como nubosidad que se antepone al sol. No origina sombras.

**RESULTADOS**

- Se encontró que el promedio de luz UVA de 10 am, 12 m y 2 pm es de 5.79 mW/cm, de luz UVB es 0.17 mW/cm y de luminosidad es de 78.5 pies/candelas.
- Los promedios de las mediciones de luz UVA, UVB y Luminosidad se presentan en el cuadro No. 1.

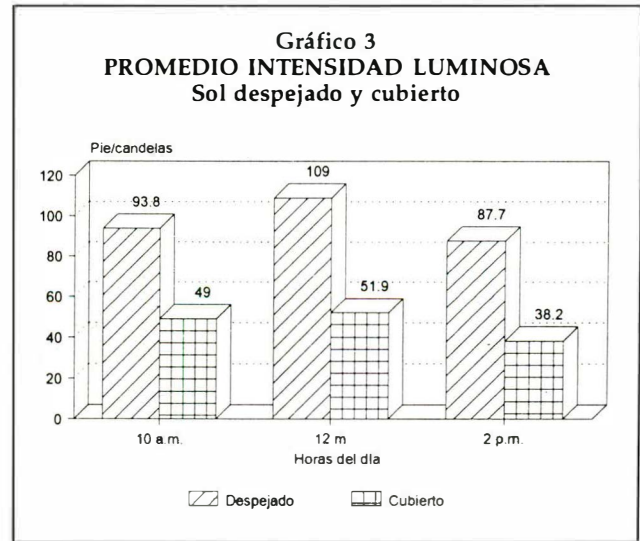
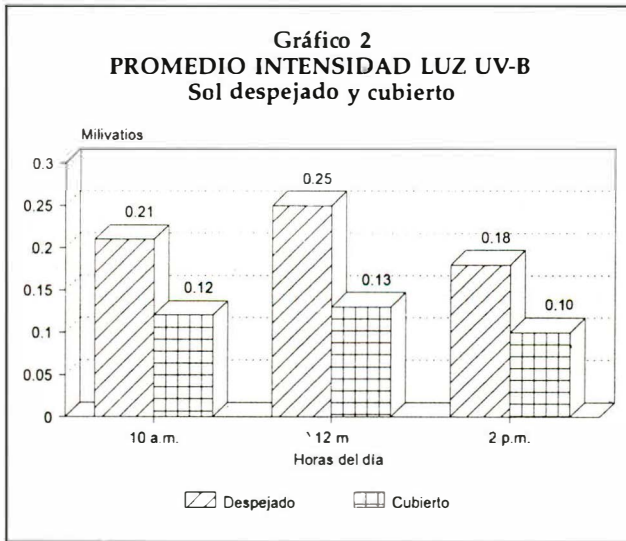
**Cuadro No. 1**  
**PROMEDIO DE LUZ UV-A, UV-B Y LUMINOSIDAD A LAS DIFERENTES HORAS DEL DIA**

Horas	UV-A mWatts/cm <sup>2</sup>	UV-B mWatts/cm <sup>2</sup>	Luminosidad pies/candela
10 a.m.	5.7	0.16	74.5
12 m.	6.6	0.20	90
2 p.m.	5.0	0.13	69.5

- Los gráficos No. 1, 2 y 3 presentan los promedios de UVA, UVB y luminosidad a las diferentes horas, cuando se clasifican por condición de sol despejado y sol cubierto. Al realizar el análisis de varianza se encontró que la diferencia entre estos valores es altamente significativa (p 0.001).



- La caída de los valores de UVA, UVB y luminosidad cuando el sol está cubierto frente a los valores cuando hay sol despejado, a las diferentes horas, se expresan en porcentaje en el cuadro No. 2.
- La disminución en porcentaje en los valores para UVA, UVB y Luminosidad de las 10 am y las 2 pm comparado con las 12 m (hora de mayor intensidad de luminosidad, de luz UVA, UVB) para las variables sol despejado-sol cubierto y la totalidad de los datos, se presentan en el cuadro No. 3.



**Cuadro No. 2**  
**CAIDA PORCENTUAL EN LA INTENSIDAD DE**  
**RADIACION ULTRAVIOLETA Y LUMINOSIDAD A**  
**LAS DIFERENTES HORAS DEL DIA CUANDO EL SOL**  
**ESTA CUBIERTO**

Horas	UV-A	UV-B	Luminosidad
10 a.m.	47%	43%	47%
12 m.	46%	48%	52%
2 p.m.	47%	44%	56%

**Cuadro No. 3**  
**CAIDA PORCENTUAL EN LA INTENSIDAD DE**  
**RADIACION UV-A, UV-B Y LUMINOSIDAD, AL**  
**COMPARARLA CON LOS VALORES DE LAS 12 M.**

Horas	UV-A (%)		UV-B (%)		Luminosidad (%)					
	D	C	T	D	C	T	D	C	T	
10 a.m.	9	10.9	13.7	16	7.7	2	14	5.6	17.2	
2 p.m.	16.5	18.7	24.2	28	23	35	19.6	26.4	22.8	

D: Despejado; C: Cubierto; T: Total

## DISCUSION

Cali, capital del departamento del Valle, se encuentra a una altitud de 970 m sobre el nivel del mar, con una latitud norte de 3°-24', una longitud de 76°-32' y una temperatura promedio de 24°C<sup>13</sup>. Por estar ubicada en una zona ecuatorial, sin cambios estacionales, el comportamiento es homogéneo durante el año.

El servicio de Dermatología del H.U.V. cubre una amplia población del Suroccidente colombiano; dentro de sus actividades terapéuticas se cuenta con una máquina de fototerapia y antes de disponer de este recurso, la terapia UVB y PUVASOL venía siendo utilizada de forma empírica con tiempos de exposición variables. Aunque los resultados de estas terapias no fueron evaluados por estudios objetivos, la experiencia clínica no sistematizada demostró que este método brindaba resultados satisfactorios, sin embargo se tenía un desconocimiento total de las dosis UVA y UVB recibidas por estos pacientes. Una amplia revisión bibliográfica, encontró escasos reportes de mediciones de radiación UVA y UVB, pero estos fueron realizados en áreas no tropicales<sup>10</sup>.

Conocer la cantidad de radiación que reciben estos pacientes dará lugar a un perfeccionamiento de la terapia y a la reducción de algunos resultados indeseables.

Trabajos anteriores<sup>14,15</sup> han utilizado diferentes métodos para la medición de radiación ultravioleta. Los escogidos para el estudio demostraron ser confiables, de fácil manejo y dispo-

nibilidad haciendo las medidas reproducibles, sin dificultad en cualquier parte del mundo.

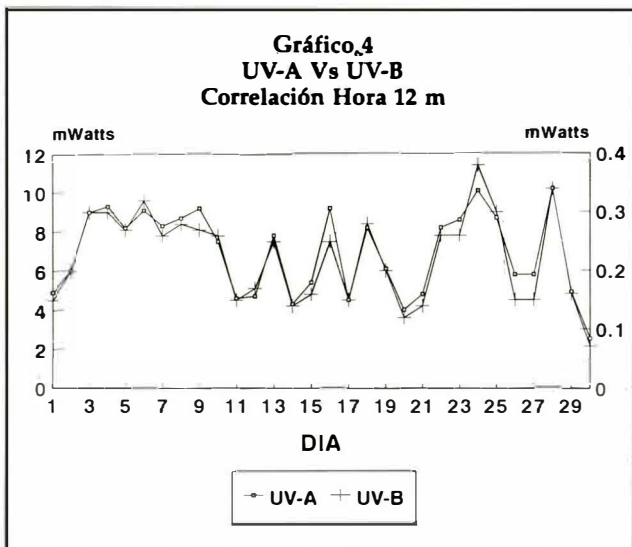
Las medidas obtenidas muestran una tendencia lógica, siendo la luminosidad un factor que reflejó con gran precisión el valor de las otras dos (gráficos Nos. 4 y 5). De esta forma, valores altos en luminosidad nos permiten inferir con certeza que los de UVA-UVB también lo están, hecho muy importante puesto que esta medida podría ser una guía segura para el terapeuta al momento de decidir tiempos de exposición.

Se encontró que el pico máximo de radiación (SD y SC) fue a las 12 m, para UVA: 6.6 mW/cm<sup>2</sup>, y para UVB: 0.20 mW/cm<sup>2</sup>, con luminosidad 90 pies/candelas.

Llama la atención la abrupta caída de todos los valores, hasta en un 56%, cuando el sol se cubría. Tal magnitud, de la reducción en los valores de luz UVB, hace que la radiación emitida en estas condiciones no sea de valor terapéutico aún al mediodía.

Además, estos descensos hacen que los valores de SD a las 10 am y 2 pm sean mucho más altos, que los de los de las 12 m estando el sol cubierto (diferencia estadísticamente significativa, p < 0.001) mostrando que, al menos para estas horas, las condiciones atmosféricas de SD constituyen el factor determinante en la intensidad de la radiación.

Existen múltiples esquemas para terapia PUVA y UVB; en el Servicio de Dermatología del Hospital Universitario del Valle



se siguen los esquemas de tratamiento propuestos por Morison W.L., en 1991<sup>8</sup>.

Antes de plantear la utilidad clínica de estas mediciones, es importante tener en cuenta algunos conceptos básicos en fototerapia.

**Energía Radiante:** Es la cantidad de radiación electromagnética y se expresa en Julios.

**Poder Radiante:** Es la tasa a la cual la energía radiante es entregada, o energía por unidad de tiempo. Se expresa en Watios:

$$W = J/\text{Segundo}$$

**Irradiancia:** Es el poder radiante por unidad de área. Se expresa en W/cm<sup>2</sup>.

**Dosis de Exposición:** Es la energía radiante entregada por unidad de área de una superficie dada, en un tiempo de exposición dado<sup>8</sup>; se expresa en Julios/cm<sup>2</sup>.

Es así como, con las fórmulas, se pueden calcular los tiempos de exposición o conocer las dosis de UVA y UVB que el paciente recibe.

$$\text{T tiempo de Exposición} = \frac{\text{Dosis} \times 16.7}{\text{lectura}} \quad \text{para UVA}$$

(minutos)

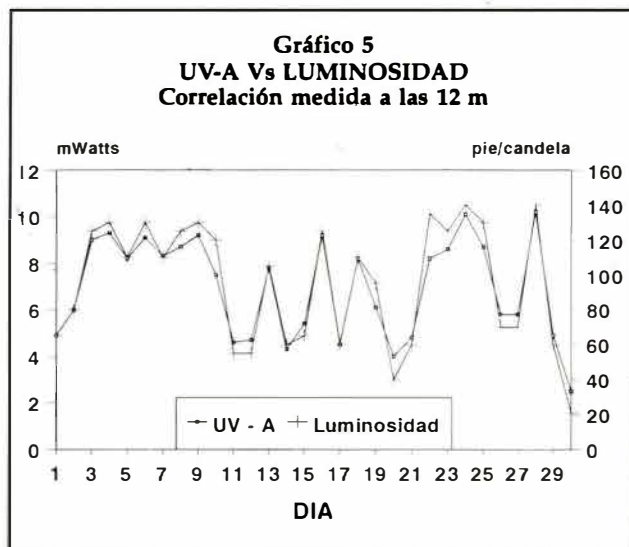
$$\text{T tiempo de Exposición} = \frac{\text{Dosis}}{\text{Lectura}} \quad \text{para UVB}$$

(segundos)

Tomando como ejemplo un paciente con Vitiligo, quien recibe tratamiento 2 veces por semana, e inicia su terapia con una dosis de 1.5 Julios, si el paciente se expone a las 12 m con SD, recibirá un promedio de 8 mW/cm<sup>2</sup> y 0.25 mW/cm<sup>2</sup> de UVB. Para recibir la dosis de 1.5 Julios de UVA debe exponerse 3.07 minutos.

$$\text{T tiempo de exposición} = \frac{1.5 J/cm^2 \times 16.7}{8 mW/cm^2} = 3.13 \times \frac{60 \text{seg.}}{1 \text{min}} = 187 \text{seg.}$$

$$187 \text{ seg} = 3.13 = 3.07 \text{ min}$$



Adicionalmente recibirá 46.5 mJ/cm<sup>2</sup> de UVB, lo que para las áreas de vitiligo, (por comportarse como piel tipo I), constituye más de su dosis eritema mínimo (DEM). Lo anterior sirve para destacar la mayor limitación que tiene la terapia PUVASOL.

¿Cómo exponer a un paciente en tratamiento con PUVASOL, sin que reciba radiación UVB, o que esta se haga de una forma segura?

Se plantean 3 alternativas:

- 1.- Exposición bajo vidrio, el cual filtra selectivamente la luz UVB. (Método muy poco práctico y riesgoso).
- 2.- Exposición gradual que disminuya el riesgo de quemadura solar; aunque esto se realizaba empíricamente, las mediciones hechas en este trabajo, permiten establecer las dosis reales recibidas tanto diarias como acumulativas. En la práctica se ha confirmado que estas dosis eran insuficientes.
- 3.- Aplicación de un filtro solar con rango reducido al espectro UVB (PABA y sus esteres, Cinamatos, Homomentil-salicilato)<sup>11</sup>.

Esta opción sería válida para pacientes con vitiligo y piel tipo III en adelante. Las diferentes DEM entre la piel sana y la piel afectada, permitirían una exposición con filtro solar aplicado sólo en las áreas de vitiligo, mientras que el resto de la piel sana recibiría una exposición gradual que no permite la aparición de quemadura solar.

Para la terapia UVB, sólo se requiere calcular según la fórmula, el tiempo necesario para recibir la dosis establecida por el esquema, siendo la dosis de UVA poco significativa al no estar recibiendo psoralenos.

En los cuadros No. 4 y 5 se presentan como ejemplos los tiempos de exposición para las dosis promedio con SD. Es factible para el terapeuta calcular los tiempos de exposición de sus pacientes según la hora y condiciones atmosféricas. Para tal efecto se recomienda una completa revisión de los esquemas de fototerapia, para familiarizarse con el empleo de las fórmulas.

**Cuadro No. 4**  
**CALCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICION EN MINUTOS PAA UVA**

Julios mW/cm <sup>2</sup>	0.5	1	1.5	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6.5	1.16	2.33	3.51	5.07	7.42	10.14	12.50	1.24	17.58	20.28	21.46	25.40	28.12	30.48	33.22	35.56	38.26	40.56
7	1.11	2.22	3.34	4.45	7.08	9.31	11.54	14.57	16.40	19.03	21.26	23.49	26.10	28.34	30.57	33.20	35.43	38.06
7.5	1.06	2.13	3.20	4.26	6.40	8.53	11.06	13.20	15.35	17.47	20.00	22.13	24.27	26.40	28.53	31.07	33.20	35.33
8	1.02	2.05	3.07	4.10	6.15	8.20	10.25	12.30	14.35	16.40	18.45	20.50	22.55	25.00	27.05	29.10	31.15	33.20

**Cuadro No. 5**  
**CALCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICION EN MINUTOS PARA UV-B**

Julios mW/cm <sup>2</sup>	20	40	60	80	100	140	180	200	240	280	300	340
0.15	2.13	4.27	6.40	8.53	11.06	15.34	20.00	22.13	26.40	31.06	33.20	37.40
0.20	1.40	3.20	5.00	6.40	8.20	11.40	15.00	16.40	20.00	23.20	25.00	28.20
0.25	1.220	2.40	4.00	5.20	6.40	9.20	12.00	13.20	16.00	18.40	20.00	22.40

## CONCLUSIONES

La cuantificación de las medidas de UVA y UVB natural obtenidas y su conversión a unidades de energía, permiten hacer una comparación con los valores de energía terapéuticos emitidos por fuentes artificiales. Estos fueron inferiores, pero su nivelación se logra con sólo aumentar en forma moderada el tiempo de exposición. Así, el método PUVASOL brinda en forma sencilla niveles de energía terapéuticos, de fácil aplicación en la práctica clínica.

Aunque haya diferencias estadísticamente significativas entre las medidas de las 10 am, 12 m y 2 pm con SD, los valores obtenidos a las 10 am y 2 pm tienen aplicabilidad clínica con sólo realizar pequeños ajustes en los tiempos de exposición.

Los datos obtenidos, permiten la aplicación clínica en Cali, y es de esperar que en otras ciudades colombianas ubicadas a igual altitud y condiciones atmosféricas sean similares.

Trabajos previos reportan que a mayor altitud, hay mayor intensidad de LUV, encontrándose que incrementos de 300 metros en la altitud, aumentan la radiación UV en un 4% - 6%<sup>16,17</sup>; la corrección anterior permite el uso clínico de estas mediciones en otras ciudades del país.

## SUMMARY

Background: The great cost of ultraviolet lamps has made them inaccessible to many places that continue using the sun as a source of radiation. Although very extended, Puvasun therapy has a strong empirical base, that few had tried to eliminate.

Objective: To estimate the intensity of UVA-UVB and luminosity radiation emitted by the sun. Elaboration of proposals directed to establish the dosimetry of Puvasun therapy.

Methods: Measurements of UVA-UVB and luminosity made at 10 am, 12m and 2 pm between december 1991 and may 1992.

Results: It is possible to program with anticipation, the treatment of Puvasun upon the doses required of UVA-UVB, if previously they're an average value of these waves, at different hours of the day.

In equal conditions, it is at midday when the highest values of UVA-UVB are registered, but these fall in an abrupt way, reaching values of little applicability, if the sun is covered. The same factor makes the waves emitted at 10 am and 2 pm to have a therapeutic value if the sun is clear. The luminosity reflects with great precision UVA-UVB values and eventually can be of great help in the dosimetry of Puvasun.

Conclusions: Puvasun method continues to be a good therapeutic option, susceptible of being modified. Some ideas have been proposed concerning this, the same for a table as a guide to dosimetry, of easy application and disponibilidad.

## BIBLIOGRAFIA

1. Baker H, Wilkinson DS. Principles of treatment. In: Rook A. Textbook of Dermatology. 3 ed. Ed Blackwell Scientific Publications. 1979. 2233-2256.
2. Benedetto AV. The Psoralens: An Historical perspective. *Cutis* 1977; 20: 469-471
3. Gupta AK, Anderson TF. Psoralen photochemotherapy. *J Am Acad Dermatol* 1987; 17(5): 703-725
4. Parrish JA, White AD, Kingburg T, et al. Photochemotherapy of psoriasis using methoxsalen and sunlight. *Arch Dermatol* 1977; 113: 1529-1533
5. Arndt KA, Paul BS, Stern RS, et al. Treatment of pityriasis rosea with UV radiation. *Arch Dermatol* 1983; 119: 381-382
6. Gilchrist BA, Rowe JW, Brown RS, et al. Ultraviolet phototherapy of uremic pruritus. *Ann Intern Med* 1979; 91: 17-20
7. Buchness MR, Lim HW, Hatcher LA, et al. Eosinophilic pustular folliculitis in the acquired immunodeficiency syndrome. *N Engl J Med* 1988; 318: 1183-1186
8. Morison WL. Phototherapy and photochemotherapy of skin disease. 2 ed. Ed Raven-press. New York 1991
9. Parrish JA, White HAD, Pathak MA. Photomedicine. In: Fitzpatrick TB. Dermatology in general medicine. 3 ed. Ed. Mc Grav-Hill 1987. p.p 1441-1457
10. Midelfart K, Moseng D, Kauli G, et al. One year measurements of solar UVB and UVA radiation, at latitude 70 North

Photodermatology. 1984; 1: 252-254.

11. Falabella R, Escobar C, Giraldo N. Dermatología. 4 ed. En: Fundamentos de Medicina Interna. Vélez H, Romero J, Restrepo J. Editores CIB. 1990; 108-117.

12. William N, Rom MPH. Environmental and occupational Medicine. 1983 pages 757-762.

13. Calendario Meteorológico 1992. República de Colombia. Ministerio de Agricultura. Himat. Santafé de Bogotá, D.C. 1992.

14. Young AR, Challand AV, Magnus IA, et al. UVR Radiometry of solar simulated radiation in experimental photocarcinogenesis studies. Br J Dermatol 1982; 106: 43-52.

15. Diffey BL, Laiko O, Swanbeck G. UVB doses received during different outdoor activities and UVB treatment of psoriasis. Br J Dermatol 1982; 106: 33-41.

16. Diffey BL. Human exposure to ultraviolet radiation. In: The environmental Threat to the skin. Mark R, Plewig G. Eds Martin Dumitz Londres 1992. 3-9.

17. Cavallo J, De Leo V, Sunburn. In: Dermatological Clinics. De Leo. Eds W B Saunders Co. Philadelphia 1986. 181-187.

## AGRADECIMIENTOS

*Expresamos nuestro reconocimiento por la colaboración recibida para la elaboración del presente trabajo al Dr. William Cárdenas MD, por su asesoría para los análisis estadísticos y epidemiológicos. A los docentes de la sección de Dermatología del Hospital Universitario del Valle: Dr. Carlos Escobar, Dr. Rafael Falabella, Dra. María Isabel Barona y al Licenciado en Física Germán Ramírez.*