

## MEDIDAS DE RADIACIÓN ULTRA VIOLETA SOLAR EN EL MUNICIPIO DE SICA SICA

### SOLAR ULTRA VIOLET RADIATION MEASUREMENTS IN THE MUNICIPIO DE SICA SICA

LESLIE K. FANOLA G.<sup>†</sup>, DECKER GUZMÁN Z., MARCELO PEÑALOZA M., & FRANCESCO ZARATTI.

Laboratorio de Física de la Atmósfera  
Instituto de Investigaciones Físicas, Carrera de Física  
Universidad Mayor de San Andrés  
c. 27 Cota-Cota, Campus Universitario, Casilla de Correos 8639  
La Paz – Bolivia

(Recibido 7 de Marzo de 2012; aceptado 17 de Junio de 2012)

#### RESUMEN

Se determinó el incremento de la radiación ultravioleta (RUV) en el altiplano paceño de la provincia Aroma en comparación con la ciudad de La Paz. Para este fin se realizaron medidas simultáneas en el municipio de Sica Sica (3917 $m_{snm}$ ) ubicado al sur del departamento de La Paz y en las instalaciones del Laboratorio de Física de la Atmósfera (3430 $m_{snm}$ ) ubicado en la ciudad de La Paz. Debido a este incremento de radiación ultravioleta, se llevó a cabo campañas de concientización y se entregó 2900 gorras a los escolares de la población de Sica Sica con información de fotoprotección y entrega de banners sobre los riesgos de la RUV en cada escuela. Asimismo, se dictaron talleres a la población y se proporcionó información, a través de radios locales y nacionales, sobre la radiación ultravioleta, sus efectos y cuidados pertinentes.

*Descriptores:* Efectos de la radiación (ultravioleta) — Emisión electromagnética solar

Código(s) PACS: 61.80.Ba, 96.60.Tf

#### ABSTRACT

We determined an increase in ultraviolet radiation (UVR) in the Aroma province found in the Bolivian Altiplano (or Bolivian high plateau) near La Paz and compared to UVR levels in La Paz city. Simultaneous measurements were taken at Sica Sica (southern La Paz department; 3917m asl) and at the Laboratorio de Física de la Atmósfera (La Paz city; 3430m asl). Due to this increase in radiation we carried out workshops and alert campaigns using local and national radio stations; we also distributed 2900 caps to school children at Sica Sica, as well as banners to schools explaining the hazards of UVR.

*Subject headings:* Radiation effects (ultraviolet) — Solar electromagnetic emission

#### 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

A comienzo del siglo XIX, Johannes Ritter descubrió que el Sol, además de luz visible, emite una radiación invisible de longitud de onda más corta que el azul y el violeta. Esa banda recibió el nombre convencional de “ultravioleta”, dividida en tres subregiones: UV-A de 400 nm a 320 nm, UV-B de 320 nm a 280 nm y UV-C de 280 nm a 100 nm. La UV-A, es la continuación de la radiación visible y es responsable del bronceado de la piel. La UV-B, llamada también UV biológica, llega a la Tierra muy atenuada por la capa de ozono y es muy peligrosa por los efectos que produce en la piel y en los ojos de los humanos. En caso de exposiciones prolongadas puede producir cáncer de piel, melanoma, catarata y debilitamiento del sistema inmunológico entre otros. A nivel del mar, representa solo el 5% de la UV y el

0.25% de toda la radiación solar que llega a la superficie terrestre. La UV-C, en teoría la más peligrosa para el hombre, es afortunadamente absorbida totalmente por la atmósfera.

La radiación ultravioleta que llega a la Tierra depende de muchos factores, unos más relevantes que otros. Entre los importantes están: hora, día y época del año (factores que determinan la altura del Sol y, por ende, la inclinación de los rayos solares); la latitud (la RUV es más intensa entre el Ecuador y los trópicos), la elevación sobre la superficie (la RUV se reduce a medida que el aire se hace más denso), el espesor de la capa de ozono (a mayor concentración de  $O_3$  menor RUV), la nubosidad (en un día nublado se recibe en general menos radiación que en un día soleado). Entre los factores que influyen en menor medida están: la contaminación atmosférica (a mayor contaminación menor radiación); la actividad solar y el albedo (capacidad reflectiva de la su-

<sup>†</sup>faguleska@gmail.com

perficie).

La radiación ultravioleta que llega a la superficie terrestre de la región andina de Bolivia es particularmente intensa, debido a que ésta se encuentra a más de 3000 msnm y está ubicada en la franja tropical. En La Paz, los valores promedio mensual de las dosis eritémicas de UVB, medidos a lo largo de 6 años, varían en verano entre  $5500 \text{ J/m}^2$  y  $9000 \text{ J/m}^2$  y en días soleados la irradiancia supera los  $500 \text{ mW/m}^2$ . La población boliviana que vive en el altiplano a más de 3000 msnm representa alrededor del 40% de la población total boliviana. En el área metropolitana altiplánica viven casi dos millones de personas y en el área rural altiplánica aproximadamente un millón y medio. Dentro de este 40%, muchas personas desarrollan sus actividades expuestas directamente o indirectamente al sol. Entre ellos, policías, agricultores, profesores de educación física y escolares que recorren largas distancias para llegar a sus unidades educativas (Zaratti & Forno 2003). Por estos hechos, se ha realizado varias campañas educativas sobre la radiación ultravioleta en diferentes localidades del Altiplano, entre ellas Sica Sica. Esta campaña fue financiada por el proyecto IDH: "Mitigación de los Efectos de la Radiación Ultravioleta en Niños Indígenas en el Municipio de Sica Sica" de la Universidad Mayor de San Andrés.

Como antecedentes, en 2009 se realizó una campaña similar en las poblaciones de Mecapaca y Pucarani, gracias al apoyo de una fundación norteamericana (PAHEF), con el propósito de cuantificar la cantidad de radiación ultravioleta que llegaba a esos municipios para luego informar, educar y prevenir a la población local acerca de los riesgos de exponerse excesivamente a la RUV.

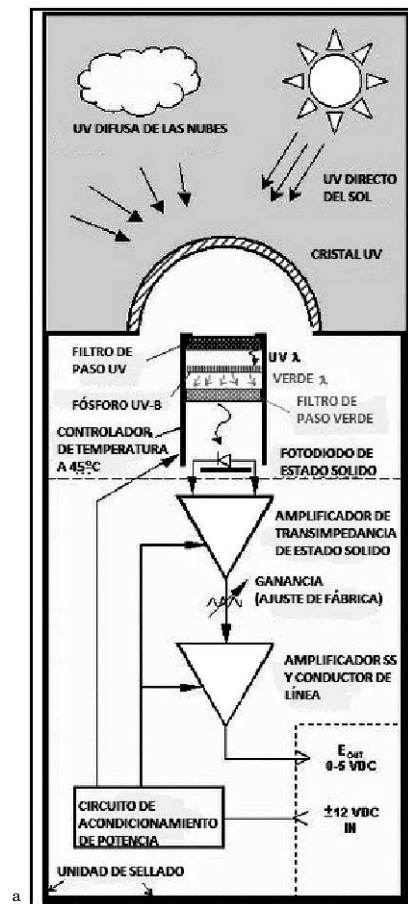
En cuanto a anteriores mediciones del incremento porcentual de la RUV con la altura, el estudio realizado entre la misma localidad de Cota Cota (3430 msnm) y el Monte Chacaltaya (5230 msnm), en el período invernal (Zaratti et al. 2003), arrojó un resultado de un 15% en un desnivel de 1800 metros a gran altura. Se quería por tanto, verificar ese resultado a una altura intermedia (3900 msnm) y en la estación de verano, aprovechando y sustentando la campaña educativa realizada en Sica Sica.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LAS LOCALIDADES

El municipio de Sica Sica está situado en la provincia Aroma del departamento de La Paz, en pleno altiplano, a una altura de 3917 msnm, latitud sud de  $17^{\circ}23'00''$  y longitud oeste de  $67^{\circ}45'00''$ . Goza de horizontes amplios sin obstáculos naturales relevantes. Asimismo, la contaminación ambiental es prácticamente nula.

A su vez, el Laboratorio de Física de la Atmósfera (LFA-UMSA) se halla ubicado en el valle de La Paz, en el Campus de Cota Cota, a una altura de 3430 msnm, a la latitud sud de  $16^{\circ}32'16''$  y longitud oeste de  $68^{\circ}03'05''$ . Su horizonte es amplio al oeste, hacia donde se mira las ciudades de La Paz y El Alto, y limitado por cerros en las otras direcciones.

Dada la diferencia de altura entre Sica Sica y el



<sup>a</sup> www.yesinc.com

FIG. 1.— Esquema del Principio de Operación del Radiómetro YES.

LFA-UMSA, se utilizó dos radiómetros YES para determinar la diferencia de intensidad de radiación UV entre estas localidades. También se tomó en cuenta que las medidas realizadas en esta época del año (verano), tanto en Sica Sica como en la ciudad de La Paz, reciben una cantidad de RUV mayor que en la época de invierno, debido al menor ángulo cenital en los meses de noviembre, diciembre y enero.

Debido a la diferencia de longitud entre estas dos localidades, se calculó (mediante el programa STELLARIUM) un desfase temporal de aproximadamente un minuto entre el pase del sol por el respectivo cenit.

## 3. CAMPAÑA E INSTRUMENTACIÓN

La campaña se llevó a cabo del 10 de diciembre del 2010 al 3 de febrero del 2011. La irradiancia UV fue medida por dos radiómetros de UV-B de la Yankee Environmental Systems (YES) serial 137 y 138, para medidas simultáneas en dos localidades diferentes (Sica Sica y Cota Cota). Por otro lado, con fondos adquiridos del proyecto IDH, se adquirió un nuevo equipo, YES 140, con el cual se realizó una intercalibración de los equipos YES 137 y YES 138.

Estos radiómetros son instrumentos meteorológicos precisos para la medición de la radiación ultravioleta-B. La técnica de medición empleada

TABLA 1  
RUIDO DE FONDO DE LOS RADIÓMETROS

Radiómetro	Offset (mV)
YES 137	226
YES 138	78
YES 140	178

TABLA 2  
INTERCALIBRACIÓN DE LOS RADIÓMETROS

Radiómetro	Factor de Intercalibración
YES 137	0.97
YES 138	1.04

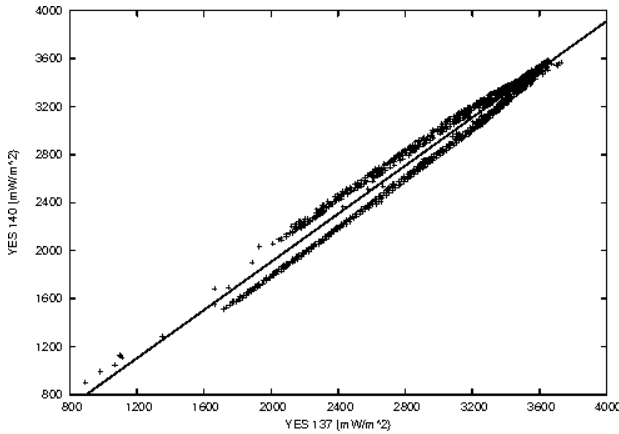


FIG. 2.— Intercalibración de los equipos YES 137 - YES 140.

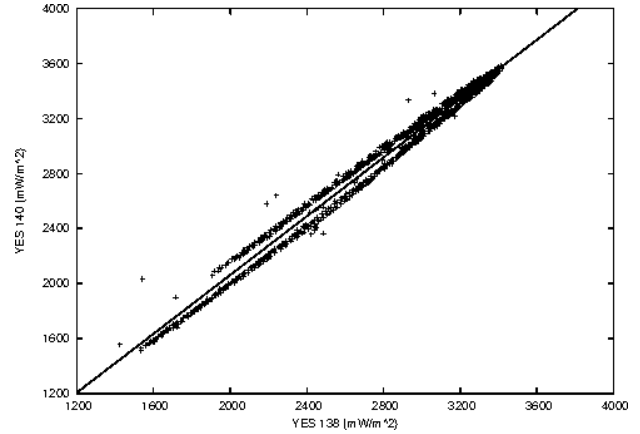


FIG. 3.— Intercalibración de los equipos YES 138 - YES 140.

utiliza un fósforo fluorescente que convierte la radiación UV-B a luz visible, que es a su vez medida con precisión por un fotodiodo de estado sólido. La radiación solar, tanto directa como difusa, es transmitida a través de una cúpula (ver figura 1) de cuarzo.

La luz visible, excepto por una pequeña fracción de luz roja, es absorbida por un primer filtro, (un transmisor UV de cristal negro). La luz transmitida a través del primer filtro incide sobre el sensor de fósforo de UV-B. Este material absorbe la radiación UVB y la re-emite como luz visible, principalmente en longitudes de onda verde. Un segundo filtro de cristal verde deja pasar la luz fluorescente del fósforo, mientras bloquea el paso de toda luz roja emitida por el cristal negro. Finalmente, la intensidad de la luz fluorescente es medida por un fotodiodo de estado sólido (GaAsP) (Yankee-Environmental-Systems 2008). Estos instrumentos miden UV en la banda de 280 nm a 320 nm de manera continua en voltios convertibles a unidades físicas absolutas ( $mW/m^2$ ) y eritémicas.

Los radiómetros descritos han sido diseñados para que su respuesta espectral coincida con el espectro de acción eritémica definida por CIE (McKinley & Diffey 1987), de tal modo que midan la irradiación UV eritémica efectiva. Dado que el índice UV se calcula a partir de esta irradiancia efectiva (WMO 1994, 1997), pueden ser reportadas en unidades IUUV (1 IUUV = 25  $mW/m^2$  de irradiancia efectiva) como si la misma fuera una unidad física.

#### 4. MEDIDAS

##### 4.1. Intercalibración de Radiómetros

Antes de realizar la intercalibración, se puso los tres radiómetros (YES-137, YES-138, YES-140) en un lugar oscuro para poder obtener el ruido de fondo. Después de hacer un tratamiento a los datos se obtuvo la tabla 1.

Para la intercalibración se situó los tres radiómetros en el techo del edificio del Laboratorio de Física de la Atmósfera, tomando datos de RUV al mismo tiempo. Luego de realizar un tratamiento a los datos y utilizando el radiómetro YES 140 como base para la intercalibración para los demás radiómetros, se obtuvo la tabla 2 y las figuras 2 y 3.

##### 4.2. Radiación UV en Sica Sica

En los meses de diciembre de 2010 y enero de 2011, se realizaron las medidas con los equipos descritos en la sección 3. En el presente trabajo las medidas se reportan en unidades físicas absolutas ( $mW/m^2$ ).

Las figuras 4 y 5 muestran el incremento de la RUV en el municipio de Sica Sica teniendo como referencia la radiación en Cota Cota.

Es importante señalar que debido a la época de lluvias, durante el período de las mediciones hubo pocos días soleados y ninguno soleado simultáneamente en La Paz y en Sica Sica, de manera que el análisis comparativo se redujo notablemente.

Finalmente, se hizo la comparación en dos días soleados (14 y 17 de diciembre). Considerando que la diferencia en la posición del sol en su máximo entre los dos días es de aproximadamente un minuto, no se realizó corrección alguna a los tiempos por ser esa diferencia despreciable cerca al solsticio de diciembre.

La figura 6 muestra la mayor intensidad de la RUV

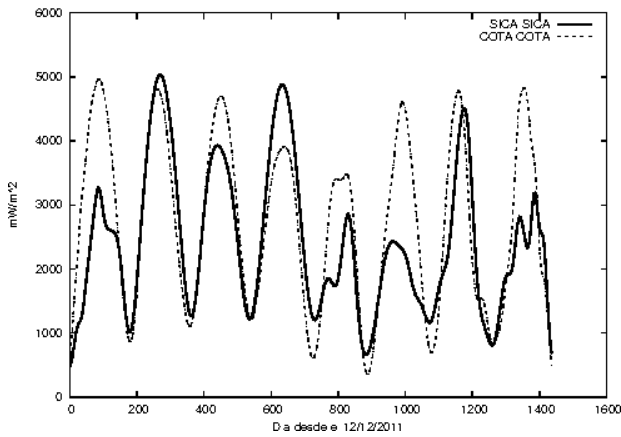


FIG. 4.— Radiación registrada en el mes de diciembre de 2010.

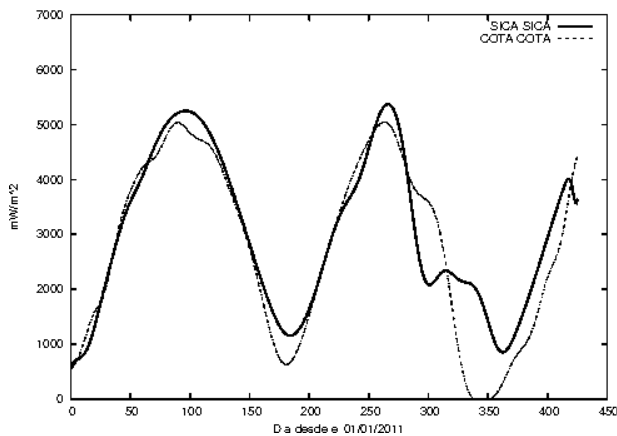


FIG. 5.— Radiación registrada en el mes de enero de 2011

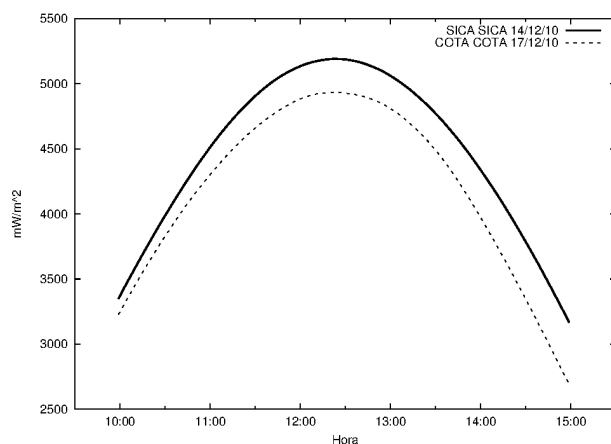
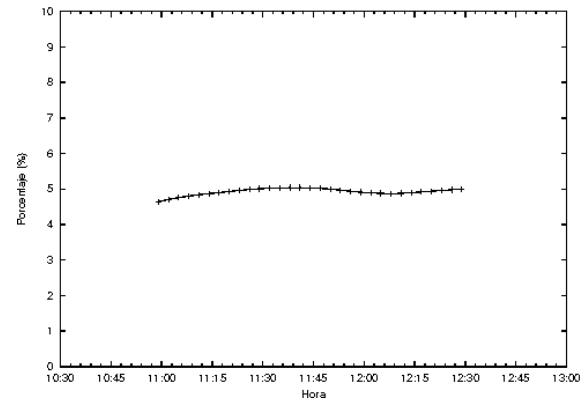


FIG. 6.— Diferencia de la medida obtenida en Sica Sica con respecto a La Paz en un día soleado

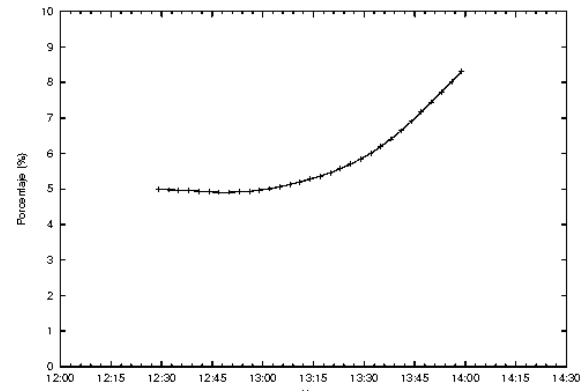
en Sica Sica con respecto a Cota Cota y la figura 7 cuantifica esta diferencia en el intervalo central del día de 11:00 a 14:00 en un porcentaje entre 4.6%-5.0% (mañana) y 4.9%-8.3% (tarde).

##### 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se conoce que en el departamento de La Paz se registran altos niveles de radiación UVB a consecuencia de la altura y su ubicación geográfica. Además, es



(a) mañana



(b) tarde

FIG. 7.— Incremento de RUV en porcentaje.

importante considerar que en Bolivia existe un alto porcentaje de habitantes que viven a más de 3000 msnm. Es necesario estudiar la variación de la intensidad de la radiación ultravioleta conforme va incrementando la altura, tomando en cuenta que, la radiación ultravioleta no tiene que comportarse necesariamente de forma lineal con la altura. De todos modos, esta radiación puede provocar cáncer de piel, acelerar el envejecimiento de la piel, causar lesiones oculares y debilitar el sistema inmunológico humano (Pozadas 2010). Con los datos obtenidos en Sica Sica con respecto al LFA en La Paz, se obtuvo que el incremento de la intensidad de la RUV es de 4.6% - 5.0% en la mañana y 4.9% - 8.3% en la tarde. Este incremento puede deberse al verano en Bolivia, a la mayor altura de Sica Sica y a su cielo poco contaminado.

En particular, las conclusiones del estudio sobre el incremento de la RUV con la altura son:

1. Los factores ambientales juegan un papel importante en el buen funcionamiento de equipos de medida. Por eso es recomendable calibrar los equipos en condiciones de trabajo.
2. Se verifica que la radiación ultravioleta se incrementa conforme ascendemos en la superficie terrestre.
3. Los valores máximos de incidencia de la radiación ultravioleta se dan alrededor del medio día, aproximadamente a horas 12:30 en época

de verano, en la localidad de Sica Sica y en La Paz.

4. Los factores de incremento hallados son ligeramente diferentes a los obtenidos en una anterior campaña de medidas (Zaratti et al. 2003). Esta diferencia se explica por varias razones: la topografía de Sica Sica que permite captar mayor cantidad de RUV, la estación del año y la no linealidad del incremento con la altura, debido a la variación de la densidad del aire.
5. La variación de los porcentajes entre mañana y tarde se debe posiblemente a que la RUV en La Paz es atenuada desde el medio día por la contaminación de origen antropogénico.

El elevado índice de RUV medido en Sica Sica motivó la realización de campañas de concientización sobre la necesidad de fotoprotección contra la RUV en el altiplano pacaño, debido a que afecta a más de 40 millones de habitantes en Bolivia. Esta campaña brindó información veraz y directa a los sectores prioritarios, en una gran mayoría a niños (en etapa de formación de su sistema inmunológico y piel más delicada) y jóvenes que carecen de recursos económicos o falta de información acerca de fotoprotección. Además, se distribuyó un total de 2900 gorras adecuadas para la protección ante los rayos UV, 50 banners, con información de la RUV, en diferentes escuelas del municipio de Sica Sica y se difundieron los cuidados ante la RUV en radios locales del mismo municipio.

Las conclusiones de la campaña son:

- a) La campaña fue un éxito con respecto al

propósito que se tuvo desde un principio, el cual fue brindar información de fotoprotección tanto a profesores, niños y población en general.

- b) Hace falta todavía mayor concientización de la gente que vive en áreas rurales, debido a que bastantes niños y adultos usan gorras, las cuales no son adecuadas para una protección óptima.
- c) Es muy importante esta concientización porque las personas que viven en el altiplano son más vulnerables a los efectos nocivos de la radiación ultravioleta debido a su forma de trabajo y a su diario vivir.
- d) Es necesario brindar mayor información a los municipios rurales. Las campañas de interacción social en torno a los riesgos de una prolongada exposición al sol del altiplano, respaldadas por la investigación científica, representan un excelente ejemplo de como la ciencia puede estar al servicio de la población.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Dirección de Posgrado, Investigación e Interacción social (DIPGIS) de la Universidad Mayor de San Andrés por el apoyo recibido mediante un fondo IDH. Asimismo ponderan la cooperación de las autoridades municipales y escolares de Sica Sica a lo largo de la Campaña. Finalmente se reconoce el apoyo constante de la oficina local de la OPS/OMS en el desarrollo de las campañas de la RUV en Bolivia.

#### REFERENCIAS

- McKinley A. & Diffey B. (1987), *Commission Int. Eclairage (CIE)*, **6**, 17
- Pozadas M. (2010), *Medición de la RUV en los Municipios de Pucarani y Mecapaca*
- WMO (1994), *WMO Technical Report*, **95**
- (1997), *WMO Technical Report*, **143**
- Yankee-Environmental-Systems (2008), *Inc. UVB-1 Ultraviolet Pyranometer Installation and User Guide, Version 2.04*
- Zaratti F. & Forno R. (2003), *La Radiación Ultravioleta en Bolivia* (U. M. S. A.)
- Zaratti F., Forno R., García J. & Andrade M. F. (2003), *J. Geophys. Res.*, **108**, 4263