

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Estudio exploratorio para determinar el índice UV
utilizando medidas espectrales de la luz del día**

Proyecto de Investigación

Carolina Placencia Sánchez

Ingeniería Ambiental

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniera Ambiental

Quito, 19 de agosto de 2016

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO CIENCIAS E INGENIERÍAS

**HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

**Estudio exploratorio para determinar el índice UV utilizando medidas
espectrales de la luz del día**

Carolina Placencia Sánchez

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico

María del Carmen Cazorla , Ph.D.

Firma del profesor

Quito, 19 de agosto de 2016

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: _____

Nombres y apellidos: Carolina Patricia Placencia Sánchez

Código: 00105560

Cédula de Identidad: 1713210399

Lugar y fecha: Quito, 19 de agosto de 2016

RESUMEN

La radiación UV proveniente del sol tiene efectos adversos en la salud como el envejecimiento prematuro de la piel, quemaduras de piel, cataratas, daño al ADN y cáncer de piel. El eritema es uno de los efectos adversos debido a una exposición excesiva a la radiación UV. Utilizando un piranómetro y un espectrómetro simultáneamente, se desarrolló un método económicamente viable para medir la cantidad de UV eritémica proveniente del sol con el fin de calcular un índice UV (IUV), característico de la zona de Cumbayá (00°12'00"S, 78°26'00"W, 2391 m.s.n.m), Ecuador. El estudio se realizó con datos promedio de 15 minutos durante los meses de julio, agosto y septiembre del 2015 en la Estación de Mediciones Atmosféricas de la Universidad San Francisco de Quito (EMA-USFQ). Los resultados se han comparado con los valores del IUV calculados en la Secretaría del Ambiente ubicada en Quito (00°09'36"S, 78°28'48"W, 2781 m.s.n.m) donde se utiliza un radiómetro multicanal avaluado en aproximadamente \$30 000 (valor en Estados Unidos) que calcula el índice UV directamente, realizando un combinación lineal de la irradiancia proveniente del radiómetro. Se ha obtenido una buena correlación entre ambos valores del IUV cuando los días son comparables (cielo despejado en los dos sitios). Sin embargo se observa que los resultados de la EMA-USFQ presentan valores menores en relación a los valores presentados por la Secretaría de Ambiente para todos los casos por lo que se sugiere ajustar algunos detalles en la metodología de cálculo del índice en la EMA como son los porcentajes transmitancia de los instrumentos ópticos.

Palabras clave: UV eritémica, cáncer de piel, irradiancia, radiómetro, espectrómetro.

ABSTRACT

UV radiation has significant adverse effects on human health such as premature skin aging, skin burn, cataracts, DNA damaging and skin cancer. The erythema is one of the negative effects of UV radiation. Using an pyrometer and spectrometer simultaneously, a low cost method has been developed for measuring the UV erythemal radiation coming from the sun with the purpose of calculating the UV index characteristic in the zone of Cumbayá (00°12'00"S, 78°26'00"W, 2391 m.s.n.m), Ecuador. The experiment was conducted using 15 minutes average measures during july, august, and september 2015 in Estación de Mediciones Atmosféricas (EMA) located at University San Francisco de Quito. Results have been compared with values coming from Secretaría de Ambiente located in Quito (00°09'36"S, 78°28'48"W, 2781 m.s.n.m) where they use a multichannel radiometer valued at approximately \$30 000 (price in the U.S) that calculates de UVI by a lineal combination of the spectral irradiance. IUV values are well correlated for comparable days (clear skies). However, EMA-USFQ IUV values are lower than IUV values published at Secretaría de Ambiente. It is suggested to adjust some details in the calculus of the EMA-USFQ UV index such as the transmission percent for every optical instrument used in this research.

Keywords: Erythemal UV, skin cancer, irradiance, radiometer, spectrometer.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción.....	10
Materiales y Métodos.....	15
Sitio de muestro.....	15
Tiempo de muestreo.....	15
Medidas espectrales.....	16
<i>Espectrometro.....</i>	<i>16</i>
<i>Especificación del instrumento.....</i>	<i>16</i>
Procesamiento de espectros.....	17
Medidas de irradiancia.....	19
<i>Piranómetro.....</i>	<i>19</i>
<i>Especificación del instrumento.....</i>	<i>19</i>
Procesamiento de datos de radiación.....	20
Cálculo del IUV en la EMA-USFQ.....	20
Ejemplo de cálculo de IUV para un caso.....	21
IUV en la Secretaría de Ambiente.....	24
Resultados y Discusión.....	26
Series de tiempo del índice UV.....	26
Análisis estadístico de los índices UV.....	34
Análisis para un día nublado y un día despejado.....	35
<i>21 de julio.....</i>	<i>37</i>
<i>03 de agosto.....</i>	<i>38</i>
Conclusiones y trabajo futuro.....	41
Referencias Bibliográficas.....	43
ANEXO 1: Tabla 2. Días del mes en que se midieron espectros.....	45
ANEXO 2: Tabla 3. Número de espectros medidos en cada hora del día durante los tres meses.....	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de IUV del día 6 de julio de 2016.....	25
Tabla 2. Escala del índice UV propuesta por la FEPSO.....	26
Tabla 3. Índices UV medidos en la EMA para dos días: 21 de julio (día nublado) y 03 de agosto (día despejado).....	36
Tabla 4. Días del mes en que se midieron espectros.....	45
Tabla 5. Número de espectros medidos en cada hora del día durante los tres meses.....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético.....	10
Figura 2. Espectro solar en la atmósfera y en la superficie terrestre.....	11
Figura 3. Promedio anual de la acción eritémica de la radiación UV.....	12
Figura 4. Espectro de acción de eritema.....	14
Figura 5. Fotografía realizada en la Estación de Mediciones Atmosféricas.....	17
Figura 6. Captura de la pantalla del Software Avantes donde se visualiza el espectro de la luz solar.....	18
Figura 7. Perfil diurno de la radiación solar en la EMA-USFQ en un día despejado.....	19
Figura 8. Perfil diurno de la radiación solar en la EMA-USFQ en un día nublado.....	20
Figura 9. Perfil del espectro de la luz solar del 3 de Agosto 2015 a las 10 a.m.....	22
Figura 10. Gráfico de la irradiancia espectral ponderada con su espectro de acción eritémico.....	23
Figura 11. Perfil diurno del índice UV del mes de julio.....	27
Figura 12. . Gráfico de correlación de todos los datos para el mes de julio.....	28
Figura 13. Gráfico de correlación de los momentos despejados para el mes de julio.....	28
Figura 14. Perfil diurno del índice UV del mes de agosto.....	29
Figura 15. Gráfico de correlación de todos los datos para el mes de agosto.....	29
Figura 16. Gráfico de correlación de los momentos despejados de los días para el mes de agosto.....	30
Figura 17. Perfil diurno del índice UV del mes de septiembre.....	31
Figura 18. Gráfico de correlación de todos los datos para el mes de septiembre.....	31

Figura 19. Gráfico de correlación de los momentos despejados para el mes de septiembre...	32
Figura 20. Perfil diurno de la radiación solar en Cumbayá el 21 de julio de 2015.....	37
Figura 21 Perfil diurno de la radiación solar en Quito el 21 de julio de 2015.....	37
Figura 22. Perfil diurno del índice UV medido en Cumbayá (EMA-USFQ) y el Índice UV medido en la Secretaría del Ambiente (Quito) para el día 21 de julio de 2015.....	38
Figura 23. Perfil diurno de la radiación solar en Cumbayá el 03 de agosto de 2015.....	39
Figura 24. Perfil diurno de la radiación solar en Quito el 03 de agosto de 2015.....	39
Figura 25. Perfil diurno del índice UV medido en Cumbayá (EMA-USFQ) y el índice UV medido en la Secretaría del Ambiente (Quito) para el día 03 de agosto de 2015.....	40

1. Introducción

La luz solar es la radiación electromagnética proveniente del sol y es la fuente principal de la radiación ultravioleta en la superficie terrestre. La radiación electromagnética está compuesta por diferentes longitudes de onda. Las longitudes de onda comprendidas entre 100 nanómetros (nm) y 400 nm, corresponden al rango ultravioleta. Entre 400 nm y 800 nm corresponden al rango visible y de 800 nm en adelante es el rango infrarrojo (Figura 1).

Dentro de la radiación ultravioleta se pueden distinguir tres categorías básicas de longitudes de onda: UVA que comprende las longitudes de onda de 315 a 400 nm; la UVB que va desde 280 a 315 nm, y la UVC que va desde 100 a 280 nm.

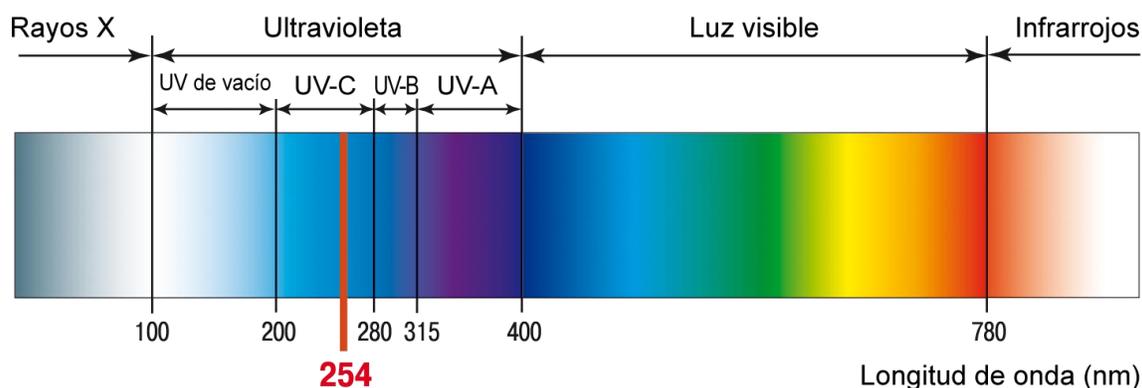


Figura 1. Espectro electromagnético (Calderón, 2014).

La radiación UVA es la que llega en mayor proporción a la superficie terrestre pero es la menos intensa, y es la responsable del envejecimiento de la piel. La radiación UVB llega en menor cantidad, ya que es absorbida principalmente por el ozono estratosférico, y es responsable de las quemaduras de piel. La UVC es la más dañina aunque casi inexistente en la superficie ya que estos rayos son absorbidos en la atmósfera por los filtros atmosféricos como el oxígeno y el

ozono (WHO, 2002). En la Figura 2 se observa la radiación que llega a la parte superior de la atmósfera (color amarillo) y la radiación que llega a la superficie de la tierra (color rojo). El vapor de agua y el dióxido de carbono absorben selectivamente en el infrarrojo cercano (como se indica en la Figura 2). La dispersión por aerosoles y otras partículas, incluidas las gotas de agua, modifican el espectro de la radiación que llega a la tierra.

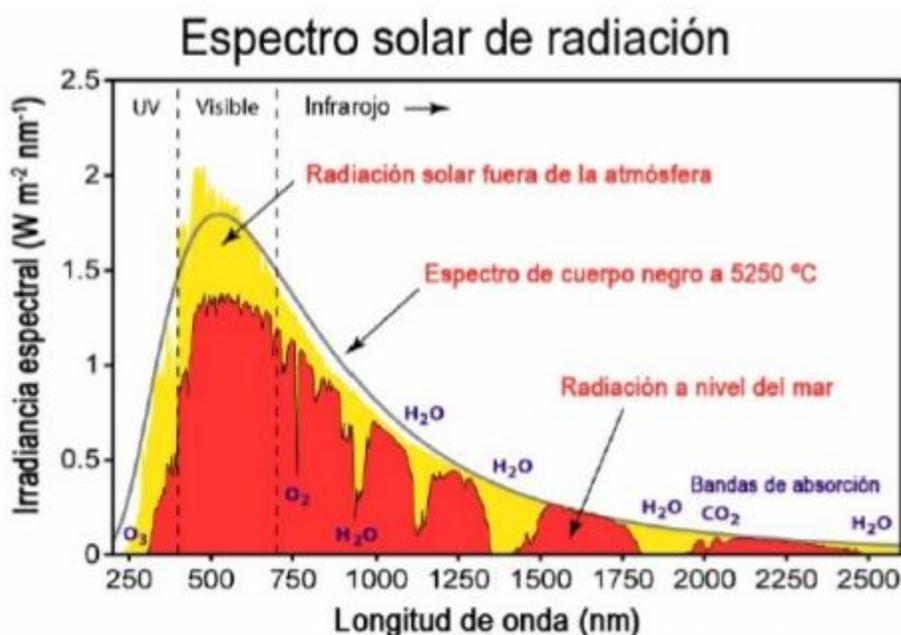


Figura 2. Espectro solar en la atmósfera y en la superficie terrestre (Pagliaro, 2008).

La radiación solar es necesaria para la síntesis de vitamina D en el cuerpo humano, la cual es esencial para la fijación de calcio en los huesos. A pesar de esto, la exposición prolongada a la radiación puede tener efectos adversos en la salud. Las quemaduras solares o eritema, el envejecimiento de la piel, y el daño al ADN son efectos ocasionados por la radiación solar. Adicionalmente, estudios han demostrado que la radiación UV es un potencial carcinógeno humano, y las longitudes de onda entre 290-320nm (UVB) son las responsables de los efectos cancerígenos. Esta radiación daña el ADN causando defectos genéticos y es responsable del

enrojecimiento y quemadura de la piel, y con un largo tiempo de exposición se puede desencadenar un cáncer de piel. Una de las enfermedades relacionadas con el cáncer de piel es el melanoma, el cual representa el 75% de las muertes por cáncer de piel en Estados Unidos (Gutiérrez, 2004). El cáncer de piel es el tipo de cáncer más común en poblaciones de piel clara (Narayanan, 2010). Globalmente, para la población caucásea hay una incidencia de cáncer 16 veces mayor a la población Africana debido a una menor cantidad de melanina presente en la piel, la cual hace que sea más vulnerable. Sin embargo, las poblaciones de piel oscura son igualmente susceptibles a otros efectos dañinos de la radiación UV como las enfermedades relacionadas con la visión, así, la aparición de terigios, cataratas y otras patologías oculares.

La exposición a la radiación UV depende de la ubicación geográfica. La cantidad de radiación que llega a la superficie terrestre depende del ángulo de incidencia de los rayos del sol. Debido a la naturaleza elíptica de la órbita de la tierra alrededor del sol, hay un 7% de diferencia en intensidad entre los hemisferios, siendo el hemisferio sur el que recibe más intensidad solar como se puede observar en la Figura 3.

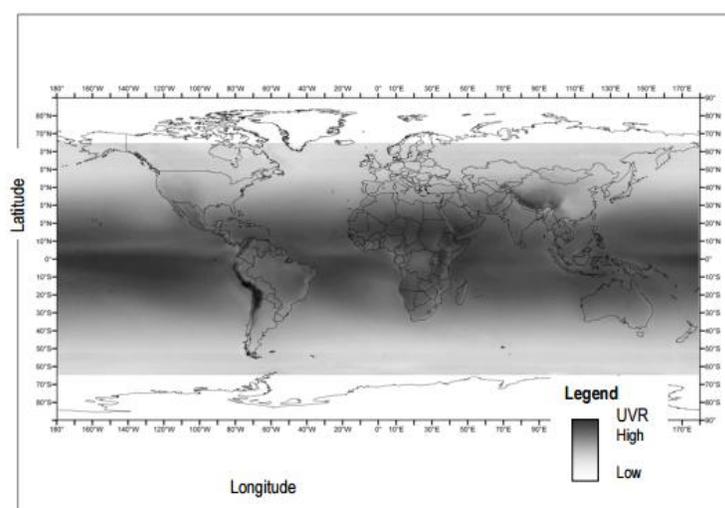


Figura 3. Promedio anual de la acción eritémica de la radiación UV, 1997-2000 (Lucas, 2006).

Asimismo, la intensidad de los rayos UV incrementa con la altitud debido a que existe una masa de aire más delgada por la cual tienen que atravesar los rayos solares, donde hay una menor cantidad de moléculas presentes que absorban la radiación UV. A medida que los rayos atraviesan una mayor distancia, pueden ser absorbidos en el camino por aerosoles. Por cada 1000 metros que se suba en la altitud, la radiación UV incrementa en un 10% (OMS).

La Organización Mundial de la Salud junto con otras organizaciones ha trabajado para dar a conocer al público los riesgos a la exposición solar prolongada. Para esto, desarrollaron un índice UV solar mundial (IUV) la cual es una medida de la intensidad de la radiación UV a nivel de la superficie terrestre. Esto sirve como un vehículo para concientizar y advertir a la población sobre la situación actual de los niveles de UV en la zona con el fin de tomar medidas de protección (OMS, 2002). Este índice se mide en las estaciones meteorológicas alrededor del mundo, y los índices son publicados junto con los pronósticos del tiempo para alertar a la población sobre cuán intensa es la radiación en un determinado momento. El índice puede variar desde un valor de 0 hasta un valor de 16, siendo 0 la ausencia de radiación, en el caso de la noche por ejemplo, y 16 podría presentarse al mediodía con un cielo despejado (Blumthaler. M, 1991). Según el valor del índice, la entidad encargada recomienda el uso de protección para el sol como son las gafas de sol, protector solar y gorra. La Organización Mundial de la Salud (OMS) está encargada de publicar los índices UV de algunos países a través de una red de recopilación de datos de las estaciones meteorológicas en el mundo (<http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>).

El presente proyecto de investigación se realizó en la Estación de Mediciones Atmosféricas (EMA) de la Universidad San Francisco de Quito (00°12'00"S, 78°26'00"W, 2391

m.s.n.m), ubicada en la ciudad de Cumbayá, un valle poblado ubicado al este de la ciudad de Quito. En la ciudad de Cumbayá no existen registros de datos de índice de UV. En el Ecuador existen dos entidades que publican el índice UV local: la Secretaría del Ambiente, en la ciudad de Quito (00°09'36"S, 78°28'48"W, 2781 m.s.n.m) y la Agencia Espacial Civil Ecuatoriana, ubicada en la ciudad de Guayaquil.

El espectro de acción de eritema es “la función que relaciona el daño que producen los fotones a un determinado proceso químico o biológico (Figura 4). La mayor acción producida por fotones de longitud de onda corta se puede interpretar como daño directo de los fotones sobre algunas moléculas orgánicas” (Cabrera-Silva, 2005).

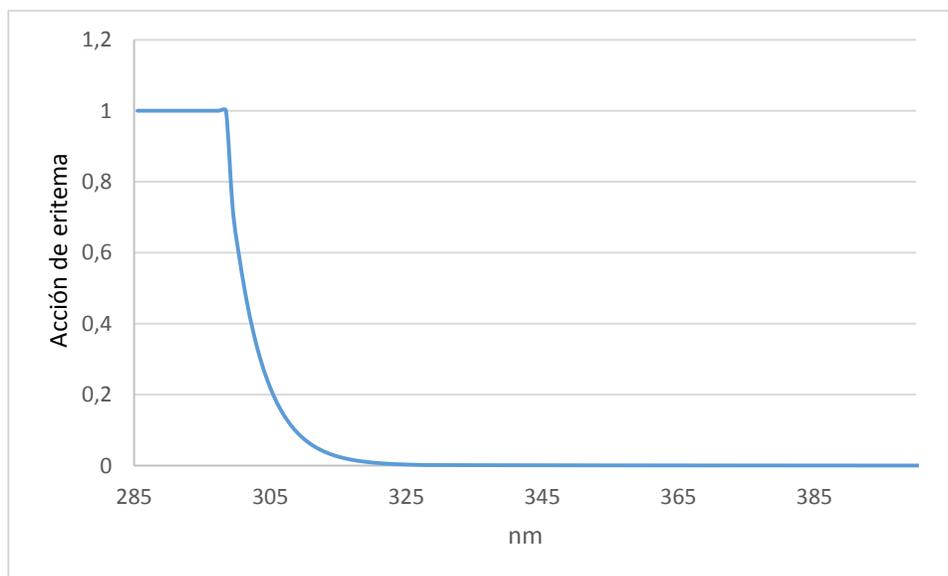


Figura 4. Espectro de acción de eritema, en la abscisa longitud de onda versus acción producida.

La acción de eritema tiene unidades de MED (mínima dosis de eritema) que es la cantidad más pequeña de radiación que produce un enrojecimiento apreciable y esto depende del tipo de piel. Es decir que para poblaciones de piel blanca la dosis mínima que produzca un enrojecimiento de la piel será menor que para una población de piel oscura.

La Secretaría de Ambiente realiza las mediciones del índice UV constantemente. Esta entidad realiza sus mediciones de radiación UV con un radiómetro multicanal GUV-2511 (Biospherical Instruments Inc), el cual mediante combinación lineal de las medidas de irradiancia de los multicanales estima el índice UV (Piedehierro, 2011). Este radiómetro está valuado en aproximadamente \$30,000 en Estados Unidos.

El objetivo de la investigación es desarrollar un método de bajo costo para medir la fracción de radiación UV eritemática en la EMA-USFQ. Para esto se utilizó un espectrómetro y un piranómetro por separado, con costos asequibles, con el fin de desarrollar un índice UV característico para la zona. Los resultados de la investigación se han comparado con los valores simultáneos del IUV calculados en la Secretaría del Ambiente.

2. Materiales y métodos

Sitio de muestreo

La investigación se realizó en la Estación de Mediciones Atmosféricas de la Universidad San Francisco de Quito (EMA-USFQ) la cual es una estación terrena de medición de variables meteorológicas y calidad del aire (Cazorla & Tamayo, 2014). La estación cuenta con observaciones diarias de radiación solar de resolución temporal de 10 minutos.

Tiempo de muestreo

Las mediciones espectrales se realizaron durante los meses de julio, agosto y septiembre del 2015 con el objetivo de determinar la variación de la composición de la luz relacionada con la proximidad del equinoccio del 23 de septiembre de 2015, donde se esperaba un aumento en

la intensidad de la radiación puesto que el sol alcanza su ángulo cenit menor en ese día. Se midieron espectros entre las 09h00 y las 15h00 de cada día con intervalos de 15 minutos. Para el mes de julio se midieron 102 espectros, para el mes de Agosto se midieron 80 espectros y para el mes de Septiembre se midieron 48 espectros. En total se midieron 230 espectros de resolución 0.343 nm durante los tres meses.

Medidas espectrales

Espectrómetro

La espectrometría surgió con el estudio de la interacción entre la radiación y la materia. El análisis espectral se basa en detectar la absorción o emisión de radiación electromagnética a ciertas longitudes de onda. Se puede medir el campo de UV, visible e infrarrojo. Para esto se utiliza un espectrómetro el cual se basa en la descomposición de la luz según su longitud de onda gracias al fenómeno de refracción. El espectrómetro está compuesto de lentes, un colimador, una rejilla de difracción y un ocular.

Especificación del instrumento

Para el presente estudio se utilizó un espectrómetro AVANTES (Avaspec-usb2) con una entrada de fibra óptica instalada en un tubo óptico marca Thorlabs la cual apunta directamente al sol (Figura 5). El espectrómetro tiene una respuesta espectral desde 180 nm a 1100 nm con una resolución de 0.343 nm.



Figura 5. Fotografía realizada en la Estación de Mediciones Atmosféricas (EMA) de la USFQ en Agosto del 2016. La fibra óptica se apoya en un tubo óptico el cual tiene incorporado un filtro de densidad neutra 3.0. La fibra óptica está conectada al espectrómetro el cual a su vez está conectado al software Avasoft donde se visualiza el espectro solar (Figura 6).

Procesamiento de espectros

El espectrómetro utiliza un software de procesamiento de datos Avasoft 8, el cual permite visualizar el espectro en cantidad de cuentas de luz en función de la longitud de onda. A continuación se presenta una toma de la pantalla del software donde se visualiza el perfil del espectro medido durante 15 minutos (Figura 6).

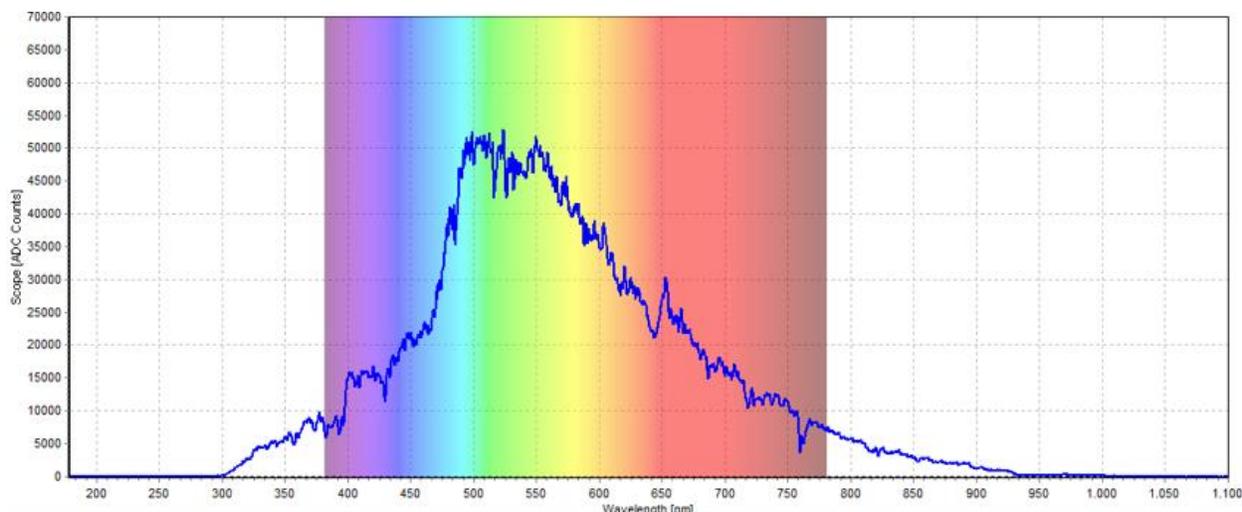


Figura 6. Captura de la pantalla del Software Avantes donde se visualiza el espectro de la luz solar el 22 de julio de 2015 a las 14h00. utilizando un filtro de densidad óptica 3.0.

El software permite no solo visualizar el espectro si no también muestra los datos crudos a partir de los cuales se construyó dicho espectro. Los datos se almacenaron cada 15 minutos y después de cada registro de la medición fue necesario mover la fibra manualmente para volver a apuntar al sol. Debido a la intensidad del sol que satura al espectrómetro, se utilizó un filtro Thorlabs de densidad óptica neutra 3.0, el cual se limita a atenuar la luz uniformemente en todo el rango de frecuencias. Se utilizó un filtro de densidad neutra 3.0 ya que apuntando directamente al sol este filtro permite ver el perfil del espectro sin dejar ciego al espectrómetro. Se probaron diferentes filtros, el de densidad neutra 2.0 saturaba la fibra y el filtro de densidad neutra 4.0 no permitía visualizar un buen espectro ya que reflejaba mucho la luz. Por esta razón se eligió trabajar con un filtro de densidad neutra 3.0.

Los datos registrados de cada espectro fueron procesados en el programa computacional Matlab R2013a con el fin de utilizar la función “trapz” la cual realiza una integración para obtener la fracción de datos que pertenezcan al rango de longitud de onda UV, entre 285 nm y

400 nm. Es decir, se calculó el porcentaje de UV presente en la radiación solar para cada espectro.

Medidas de irradiancia

Piranómetro

El piranómetro mide la radiación solar global en un campo de 180 grados en torno al instrumento. Utiliza el principio de detección termoeléctrica, que consiste en que la radiación que entra se absorbe casi por completo por una superficie horizontal de color negro. El aumento de la temperatura captada se mide a través de termopares que conforman la termopila la cual actúa como un generador eléctrico (Folgueras, 2009).

Especificaciones del instrumento

Para el presente estudio se utilizó un piranómetro Kipp & Zonen CMP 3 que tiene una respuesta espectral desde 310 nm a 2800 nm, el cual mide la irradiancia solar total en unidades de W/m^2 (Gráfico 7 y 8) con datos de resolución de diez minutos.

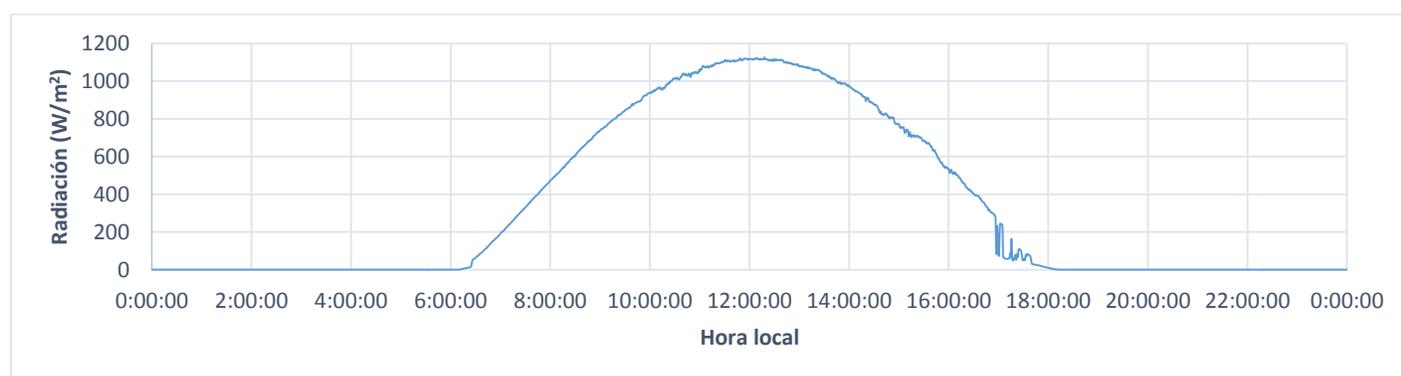


Figura 7. Perfil diario de la radiación solar en la EMA-USFQ en un día despejado obtenido con un piranómetro Kipp & Zonen CMP 3 con datos de resolución de 10 minutos.

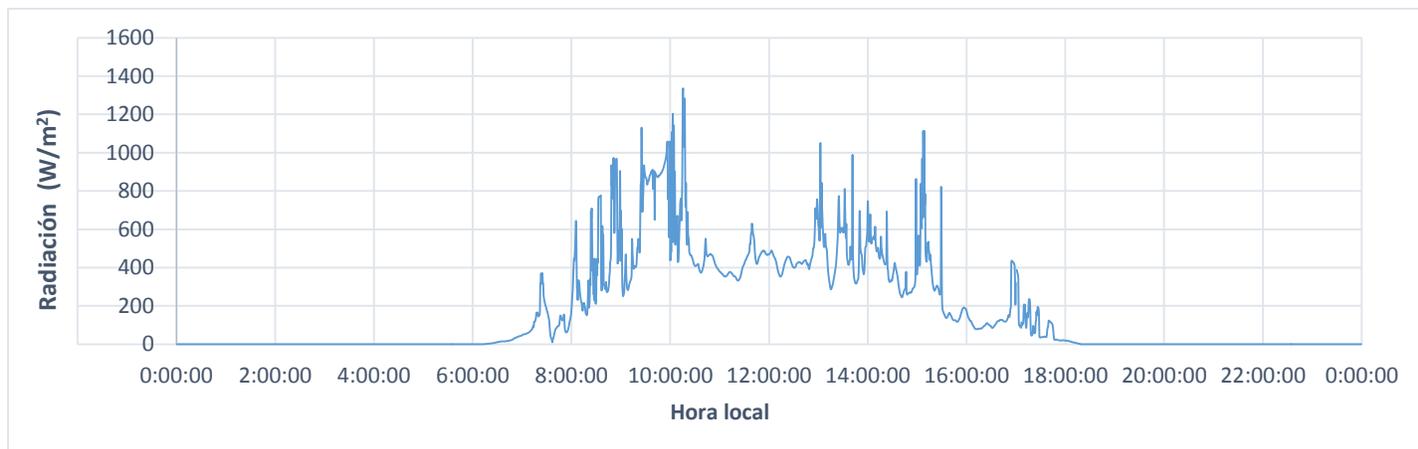


Figura 8. Perfil diario de la radiación solar en la EMA-USFQ en un día nublado obtenido con un piranómetro Kipp & Zonen CMP 3 con datos de resolución de 10 minutos.

Procesamiento de datos de radiación

Puesto que el espectrómetro tiene una respuesta espectral de 180 nm a 1100 nm y el piranómetro de 310 nm a 2800 nm se hicieron ajustes para trabajar dentro del mismo espacio espectral. Según estudios realizados sobre radiación solar, el 80% de la radiación solar se encuentra entre los 310 y 1100 nm (Newport, 2016). Por lo tanto los datos crudos de radiación solar se multiplicaron por 80%. Este dato de radiación multiplicado por el 80% corresponde entonces a la radiación solar total entre 310 nm y 1100 nm.

Cálculo del IUV en la EMA-USFQ

Para determinar el índice UV se utilizó la ecuación del espectro de acción eritémico de McKinlay-Diffey propuesta por la National Oceanic and Atmospheric Administration (McKinlay, 1987):

$$UVI = \frac{1}{25 \frac{mW}{m^2}} \int_{310nm}^{400nm} I_{\lambda} * w_{\lambda} d\lambda \quad (1)$$

Donde la función de eritema w_λ depende de la longitud, I_λ corresponde a la irradiancia espectral en unidades de $\text{W}/\text{m}^2 \text{ nm}$ y el factor $1/25$ es una constante establecida con el fin de normalizar el índice. Esto resulta en un valor para el índice que varía entre 0 (en ausencia de luz) y 15, y es adimensional.

Los índices UV de la EMA fueron calculados en base a la fórmula (1), obteniendo un índice UV cada 15 minutos durante los 3 meses, es decir 230 índices en total.

Ejemplo de cálculo de IUUV para un caso

En primer lugar se observan las medidas de radiación solar obtenidas con el piranómetro para las 10h00 del día 03 de Agosto de 2015, la cual tiene un valor de $840 \text{ W}/\text{m}^2$. Como se mencionó anteriormente se debe hacer un ajuste en esta medida para trabajar en el mismo espacio espectral del espectrómetro (310 nm-1100 nm). Se multiplica el valor de radiación por 80% como se muestra en la ecuación 2.

$$80\% * 840 \text{ W}/\text{m}^2 = 672 \text{ W}/\text{m}^2 \quad (2)$$

Para ese preciso momento se obtiene el espectro siguiente obtenido con el espectrómetro (Figura 9).

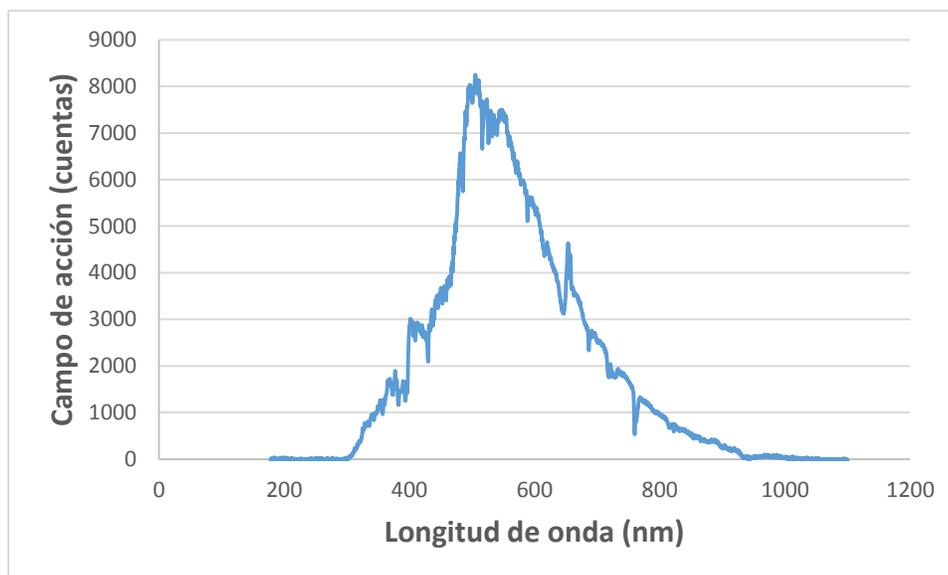


Figura 9. Perfil del espectro de la luz solar del 03 de Agosto de 2015 a las 10h00 utilizando el software Avasoft 8 y un filtro de densidad óptica 3.0.

Con la herramienta “trapz” del programa computacional Matlab se determinó la contribución de cada longitud de onda, desde 310nm a 400nm. Esto da un resultado en unidades de cuentas por nanómetro. Por ejemplo, para la longitud de onda centrada en 310, su contribución a todo el espectro es 454.4 cuentas. El espectro entero tiene un total de 5.4×10^6 cuentas nm^{-1} . El total de cuentas del espectro corresponden al valor de radiación solar. Por lo tanto 5.4×10^6 cuentas contribuyen a 672 W/m^2 .

Para utilizar la formula (1) es necesario calcular la irradiancia espectral I_λ de cada nanómetro entre 310 nm y 400 nm. Para esto se dividió la contribución de cada nanómetro en relación a todas las longitudes de onda para obtener una fracción de contribución como se muestra en la ecuación 3.

$$\text{Fracción de contribución del nanómetro 310} = \frac{454.4 \text{ cuentas nm}^{-1}}{5.4 \times 10^6 \text{ cuentas nm}^{-1}} = \text{de } 8.42 \times 10^{-5} \quad (3)$$

$$I_{\lambda} = I_{310} = \frac{\text{Fracción de contribución } 310 * \text{Irradiancia total } \left(\frac{W}{m^2}\right)}{\Delta x(nm)} = \frac{8,42 \times 10^{-5} \times 672 \text{ W/m}^2}{1nm} = 5,6642 \times$$

$10^{-2} \text{ W m}^{-2} \text{ nm}^{-1}$. Este valor es la irradiancia espectral, es decir la irradiancia proveniente de la longitud de onda 300.

La irradiancia espectral debe ser ponderada con la función de eritema w_{λ} la cual depende de la longitud de onda de la siguiente manera:

$$w_{\lambda} = \begin{cases} 1 & 250 < \lambda \leq 298 \\ 10^{0,094 * 298 - \lambda} & 298 < \lambda \leq 328 \\ 10^{0,015 * 139 - \lambda} & 328 < \lambda \leq 400 \end{cases}$$

Se realiza una multiplicación de la irradiancia espectral por la acción de eritema para cada longitud de onda del rango UV obteniendo el siguiente perfil (Figura 10).

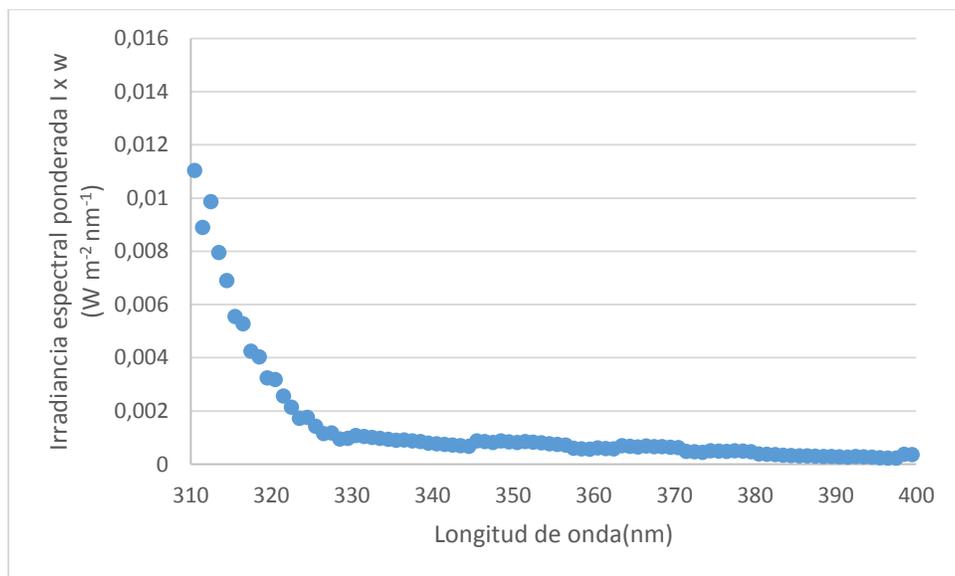


Figura 10. Gráfico de la irradiancia espectral ponderada con su espectro de acción eritémico en función de la longitud de onda para el día 03 de Agosto de 2015 a las 10h00.

Finalmente se debe integrar la función desde 310 nm a 400 nm para trabajar con todas las longitudes de onda de ese rango, obteniendo en este caso un valor del área bajo la curva de 0.13925 W/m^2 . Como último paso para calcular el índice UV se debe multiplicar por un factor de $1/25 \text{ mW/m}^2$ para normalizar el valor a un número que varía entre 0 y 15.

$$0.13925 \text{ W/m}^2 * 1/25 \text{ mW/m}^2 = 5.5. \quad (4)$$

El índice UV para el día 03 de Agosto es 5.5. Este procedimiento se realizó con cada espectro medido.

IUV en la Secretaría de Ambiente

La Secretaría de Ambiente es una entidad Ecuatoriana que pertenece a la Alcaldía de Quito y es la encargada de gestionar todos los temas relacionados con el medioambiente. Parte de su labor es gestionar una red de monitoreo atmosférico donde se incluye calidad del aire, reportes meteorológicos, red hídrica, radiación ultravioleta, entre otros. Para la radiación ultravioleta la entidad cuenta con un radiómetro multicanal GUV-2511 que está compuesto por un sensor y una unidad de control (Deckbox). La cabeza del sensor está cubierta por un difusor de teflón que incluye un paquete de filtros y detectores que permiten medir la irradiancia ultravioleta con ancho de bandas de aproximadamente 10 nm, centrados en las longitudes de onda de 305 nm, 313nm, 320 nm y 340 nm. Para calcular el índice UV la Secretaría del Ambiente utilizó la siguiente ecuación propuesta por los proveedores del aparato, Biospherical Instruments (Piedehierro, 2011).

$$UVI_{4 \text{ CHANNEL}} = 0.8058 E_{305} + 0.0887 E_{313} + 0.0324 E_{320} + 0.0131 E_{340} \quad (5)$$

Donde E_{305} , E_{313} , E_{320} , E_{340} , corresponden a los canales de 305 nm, 313 nm, 320 nm y 340 nm, respectivamente. Los coeficientes 0.8058, 0.0887, 0.0324 y 0.0131 son coeficientes proporcionados por Biospherical Instruments. El $UVI_{4CHANNEL}$ correspondería al índice UV evaluado en esos cuatro canales.

La página web provee la descarga de datos crudos con resolución de 1 minuto. Los índices son publicados en la página web <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/radiacion-ultravioleta-app> y se presentan de la siguiente manera (Tabla 1).

Tabla 1. Valores de IUV del día 06 de julio de 2016. Promedio en 30 minutos (Secretaría de Ambiente).

Fecha	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00
	- 10:30	- 11:00	- 11:30	- 12:00	- 12:30	- 13:00	- 13:30	- 14:00	- 14:30
miércoles 6 de julio del 2016	7	9	10	10	11	11	8	9	4
martes 5 de julio del 2016	4	5	5	6	8	8	5	6	3
lunes 4 de julio del 2016	5	6	6	6	7	10	8	7	5
domingo 3 de julio del 2016	5	7	6	7	6	5	4	4	3
sábado 2 de julio del 2016	5	6	6	8	5	3	4	4	3

Tabla 2. Escala del índice UV propuesta por la FEPSO (Fundación Ecuatoriana para la Psioarasis) para el Ecuador (Secretaría de Ambiente).

Valor	Calificación
0 - 3	Muy Bajo
4 - 5	Bajo
6 - 7	Moderado
8 - 10	Alto
11 - 15	Muy Alto
16 o más	Extremo

Esta escala es específica para la población del Ecuador, conociendo su tipo de piel (Tipo IV en la escala de Fitzpatrick) (Fitzpatrick, 1988). Para otros países, como Estados Unidos donde la población es de piel blanca (Tipo II en la escala de Fitzpatrick), la escala va a ser más estricta. Es decir, para una piel de tipo II un índice UV con un valor de 8-10 la calificación será “Muy Alta” debido al daño en la piel que se pueda ocasionar, mientras que para una piel de tipo IV la calificación será solamente “Alta”.

3. Resultados y discusión

El objetivo de esta investigación fue desarrollar un método económicamente viable para obtener el índice UV utilizando un piranómetro y un espectrómetro en la zona de Cumbayá ya que en esta zona no se presentan datos de radiación UV previos.

Se procesaron 230 espectros 102 para julio, 80 para agosto y 48 para septiembre. Los días que se midieron se especifican en el ANEXO 1.

Series de tiempo del índice UV

Las series de tiempo presentadas a continuación (Figuras 11, 14, 17) muestran el perfil diurno del índice UV medido en la EMA-USFQ y el índice UV medido en la Secretaría de

Ambiente durante los meses de julio, agosto y septiembre del 2015 respectivamente. Las horas medidas de cada día se especifican en el ANEXO 2.

Cada figura se acompaña de un gráfico de correlación entre el índice medido en la EMA-USFQ y el índice medido en la Secretaría de Ambiente de todos los espectros del mes (Figuras 12, 15, 18). Un análisis de correlación entre todos los datos de cada mes no sería apropiado ya que se están comparando datos en dos sitios diferentes, donde las condiciones meteorológicas son distintas. Con el fin de aproximar de mejor manera las condiciones en los dos sitios es pertinente realizar una comparación de los índices en días comprobables de cada mes donde el cielo esté completamente despejado (Figuras 13, 16, 19).

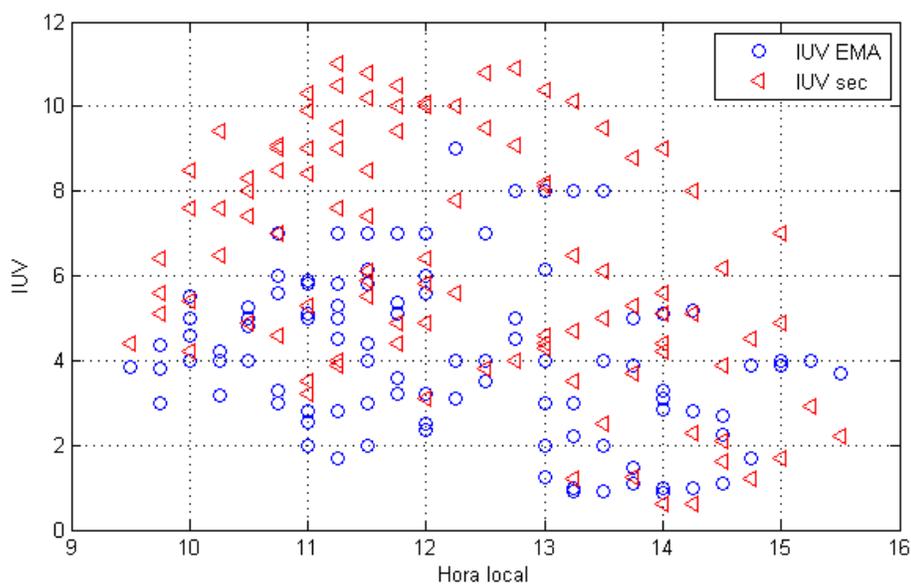


Figura 11. Perfil diario del índice UV del mes de julio. 102 datos medidos en la EMA-USFQ.

Los puntos representan, azul: índice UV medido en la EMA-USFQ (IUV EMA), rojo: índice UV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec)

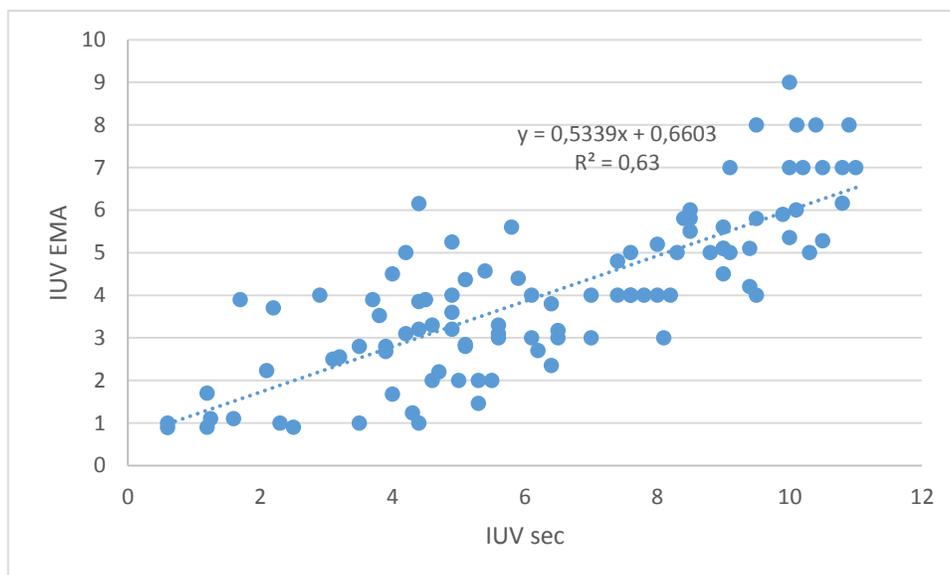


Figura 12. Gráfico de correlación de todos los datos (102 datos) entre el IUV medido en la EMA (IUV EMA) y el IUV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec) para el mes de julio.

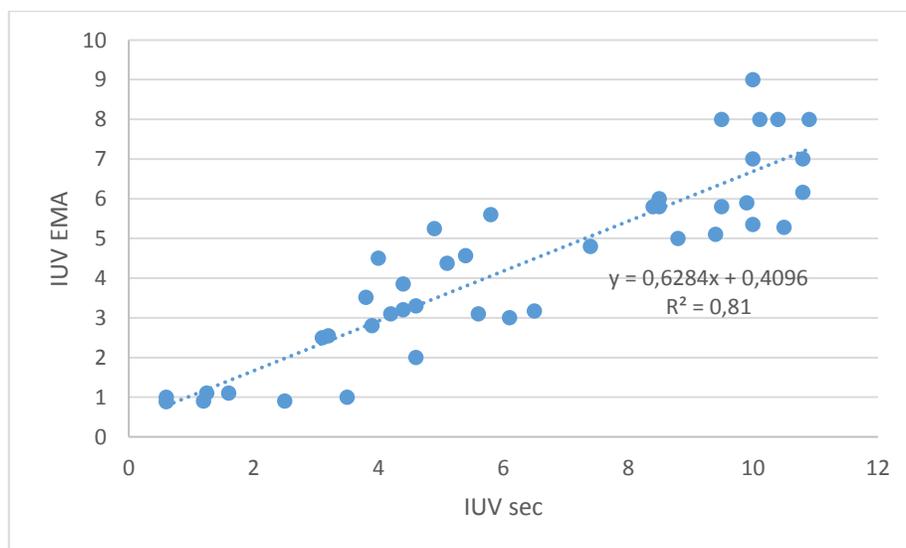


Figura 13. Gráfico de correlación de los momentos despejados de los días 03, 15 y 22 de julio (26 datos) entre el IUV medido en la EMA (IUV EMA) y el IUV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec) para el mes de julio.

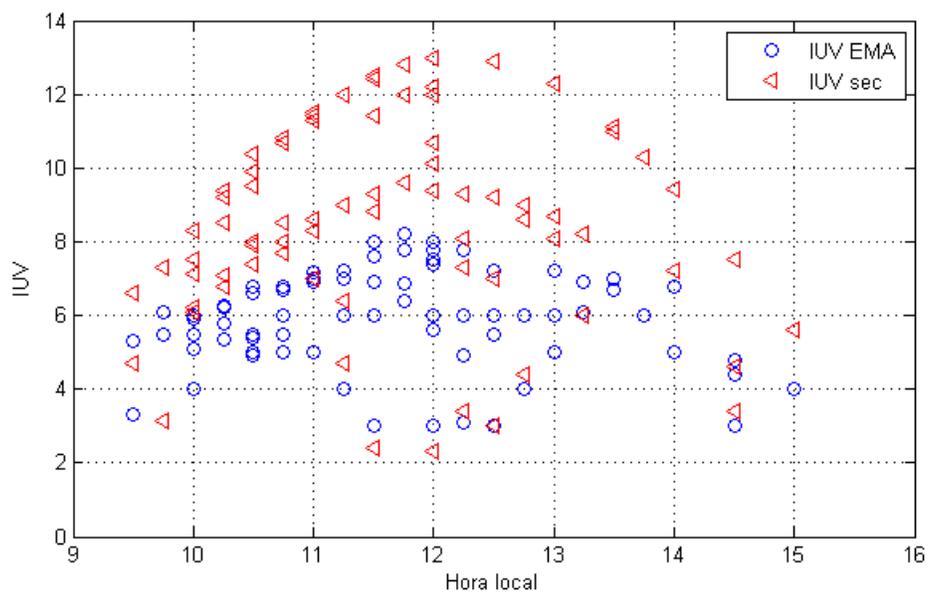


Figura 14. Perfil diario del índice UV del mes de agosto. 80 datos medidos en la EMA-USFQ.

Los puntos representan, azul: índice UV medido en la EMA-USFQ (IUV EMA), rojo: índice UV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec).

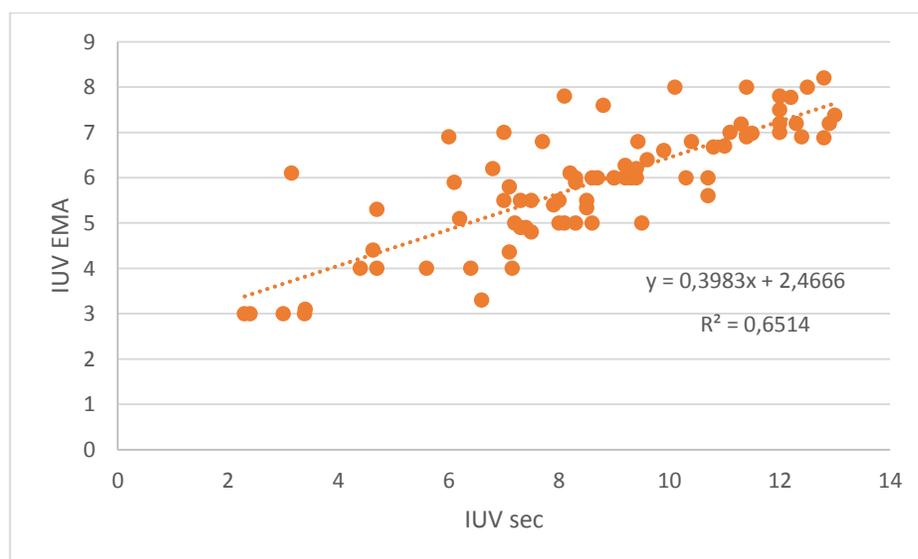


Figura 15. Gráfico de correlación de todos los datos (80 datos) entre el IUV medido en la EMA (IUV EMA) y el IUV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec) para el mes de agosto.

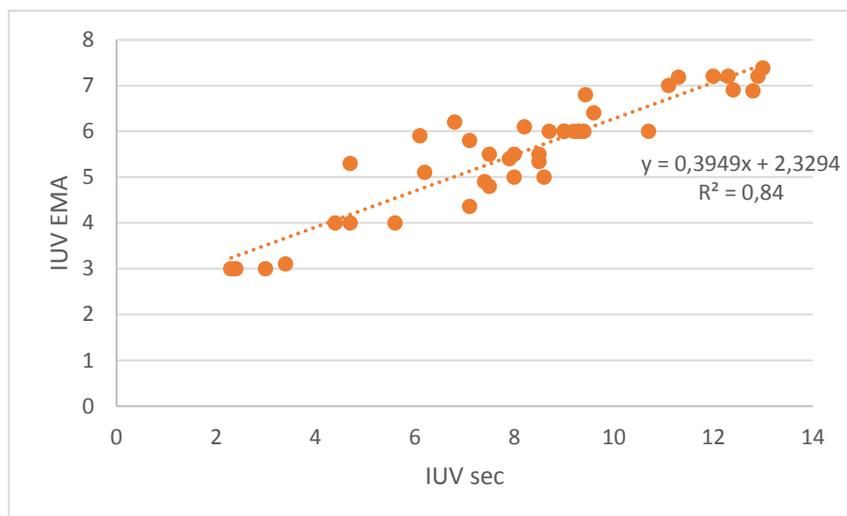


Figura 16. Gráfico de correlación de los momentos despejados de los días 03, 12 y 18 de Agosto (50 datos) entre el IUV medido en la EMA (IUV EMA) y el IUV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec) para el mes de agosto.

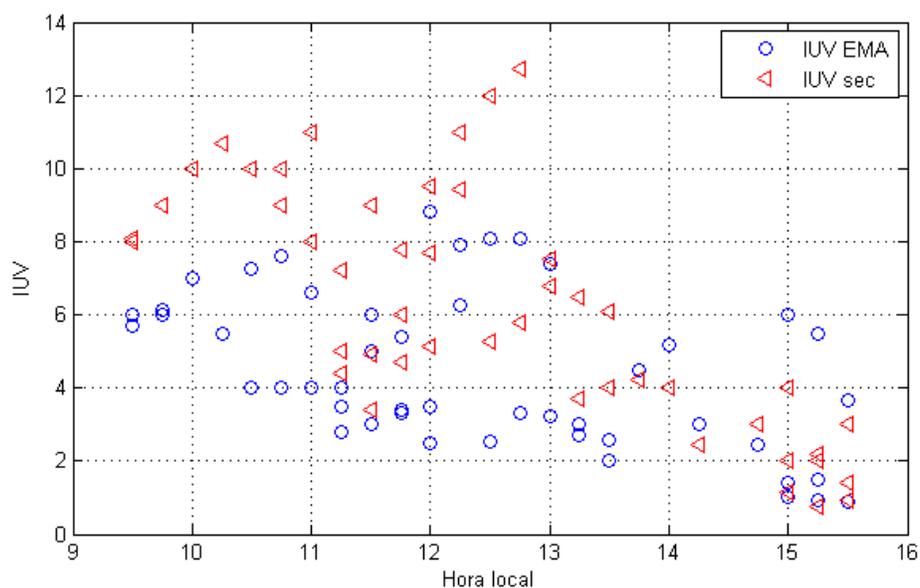


Figura 17. Perfil diario del índice UV del mes de septiembre. 48 datos medidos en la EMA-USFQ. Los puntos representan, azul: índice UV medido en la EMA-USFQ (IUV EMA), rojo: índice UV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec).

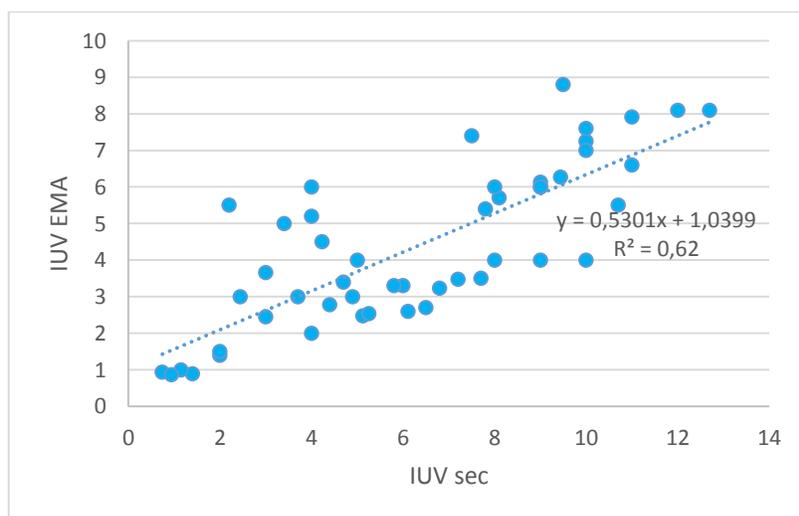


Figura 18. Gráfico de correlación de todos los datos (48 datos) entre el IUV medido en la EMA (IUV EMA) y el IUV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec) para el mes de septiembre.

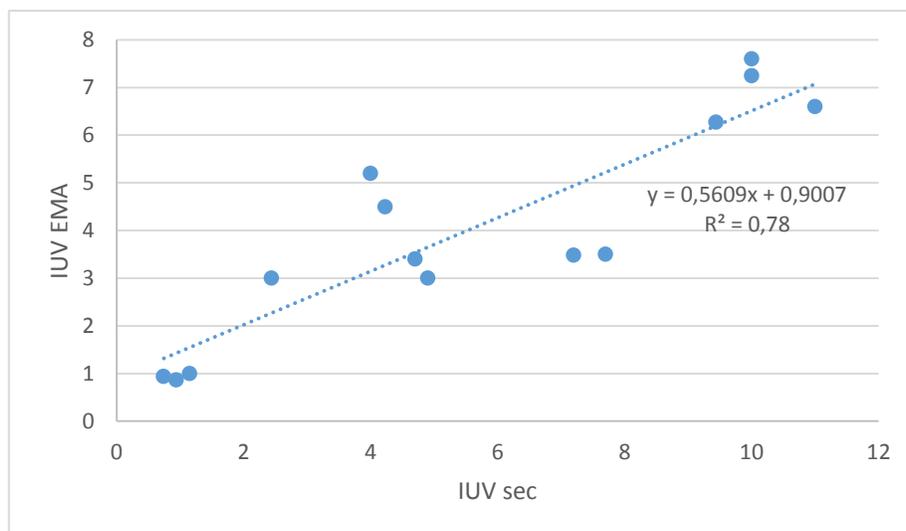


Figura 19. Gráfico de correlación de los momentos despejados del día 19 de septiembre (14 datos) entre el IUV medido en la EMA (IUV EMA) y el IUV medido en la Secretaría de Ambiente (IUV sec) para el mes de Septiembre.

Los índices en los dos sitios siguen una misma tendencia. En momentos de cielo despejado en los dos lugares el IUV EMA puede llegar a ser el mismo que el IUV sec. Por el contrario, la nubosidad afecta bastante a la radiación UV; a veces puede aumentar debido a la radiación difusa, o puede disminuir ya que las nubes bloquean la radiación UV, esto depende del tipo de nubes (American Cancer Society, 2015).

Cuando se analizan todos los puntos, es decir sin importar si son días comparables, el IUV EMA presenta valores menores en relación a los valores del IUV sec. Esto debido a que los dos sitios se encuentran en lugares diferentes donde los procesos físicos son específicos en cada lugar. Para el análisis de todos los puntos, en el mes de julio el IUV EMA presenta valores 47% menores que el IUV sec. En el mes de agosto el IUV EMA presenta valores menores en un

60% en comparación al IUV sec. En el mes de septiembre el IUV EMA presenta valores menores en un 47%. Cuando se analizan los días comparables, es decir días despejados en los dos lugares, el mes de julio el IUV EMA presenta valores menores en un 38% en comparación al IUV sec. El mes de agosto el IUV EMA presenta valores menores en un 44% en relación al IUV sec y el mes de septiembre el IUV EMA presenta valores menores en un 44% en relación al IUV sec.

Estas diferencias entre los dos índices comparados se explican principalmente por la altitud. La diferencia de altitud entre los dos lugares, (Secretaría de Ambiente 2800 m.s.n.m y la EMA-USFQ 2391 m.s.n.m) puede tener un gran efecto en el índice ya que la Secretaría de ambiente se encuentre 400 metros mas arriba que la EMA donde existe hay un factor de atenuación debido a la presencia de nubes, moléculas o partículas suspendidas presentes en estos 400 metros de camino. Estos elementos antes mencionados actúan como filtros en la atmósfera y pueden dispersar la radiación.

Debido a que en Cumbayá no se registran medidas de concentración de partículas se atribuye de manera preliminar esta la causa por la diferencia en los valores de los índices en la EMA-USFQ en relación a los índices registrados en la Secretaría de Ambiente. Se sugiere un estudio más detallado de estos aspectos para ser concluyentes.

El índice medido en la EMA-USFQ tiene una barra de error por determinarse. Es posible que exista una fracción de la radiación difusa la cual no se está capturando en las mediciones. El espectrómetro, al ser apuntado directamente al sol, está perdiendo información de la radiación difusa que proviene del ángulo solido de toda la semiesfera celeste (Resnick,

2001). Por lo tanto se está detectando la luz espectral del día, pero se están perdiendo datos de radiación difusa del resto del ángulo.

Otro factor importante por lo cual las mediciones de la EMA-USFQ pueden tener un margen de error está relacionado con la óptica de los instrumentos. El filtro de densidad neutra no tiene la misma transmitancia para todas las longitudes de onda. Asimismo sucede con la fibra óptica y el espectrómetro. Es decir, cuando se corrija la fracción de luz incidente de cada longitud de onda de los tres instrumentos ópticos, los valores de IUUV deberían cambiar (Griffiths, 2004).

Por otro lado, el índice UV de la Secretaría utiliza la ecuación 5 para calcular el IUUV. Esta ecuación solo toma en cuenta las longitudes de onda de 305 nm a 340 nm, por lo tanto no está tomando en cuenta las longitudes de onda hasta los 400 nm. Hay que recalcar que las longitudes de onda cercanas a los 400 nm tienen un bajo espectro de acción en cuanto al efecto biológico, por lo tanto el valor del índice no debería aumentar sustancialmente. Por otro lado, se sugiere obtener más información para interpretar los coeficientes de la ecuación 5 proporcionados por el proveedor del instrumento. Así también se sugiere conocer a profundidad la incertidumbre de los datos del radiómetro ya que al tratarse de un instrumento óptico hay un aspecto inherente relacionado a la calibración del instrumento.

Análisis estadístico de los índices UV

Para la evaluación estadística de los índices UV calculados en la EMA y en la Secretaría de Ambiente se ha realizado un gráfico de dispersión de puntos y una regresión lineal de cada mes (Figuras 12, 15 y 18). Los puntos se alinean aunque el R^2 tiene valores de

0.63, 0.65 y 0.62, para julio, agosto y septiembre respectivamente. Estos valores no tienen una correlación positiva perfecta ($R^2=1$) ya que el análisis fue hecho para todos los días, sin importar si son días nublados o despejados. La nubosidad afecta de manera significativa a la radiación UV; a veces puede aumentar debido a la radiación difusa, o puede disminuir ya que las nubes bloquean la radiación UV, esto depende del tipo de nubes (American Cancer Society, 2015).

Por esto, se realizaron gráficos de correlación para días despejados, sin nubosidad. La correlación por ende es mayor, obteniendo un R^2 de 0.81, 0.81 y 0.78 para los meses de julio, agosto y septiembre respectivamente. Aun así la correlación no es perfecta ya que existen otros factores que afectan las mediciones además de la altitud, como son la presencia de nubes, de partículas y la radiación difusa que no se está detectando.

Análisis para un día nublado y un día despejado

Con el fin de mostrar el comportamiento del IUV durante el día, en la Tabla 3 se muestra el IUV obtenido en dos días diferentes, un día nublado y un día despejado. En el caso del día nublado el índice UV oscila alrededor de 3.0 y 4.0 (lo que equivale a una calificación “baja” (Tabla 2)) y alcanzan su mayor valor de 6 (lo que equivale a una calificación “moderada” (Tabla 2)) alrededor de las 11h00. En horas de la tarde el índice llega a tener un valor de 1, que corresponde a una calificación de nivel radiación UV “muy baja”.

En el caso del día despejado, 03 de agosto del 2015, el día empieza con una radiación relativamente baja con índices de 4.0. A partir de las 10h30 la calificación se considera “moderada” hasta las 12h00 donde alcanza valores de 8 correspondientes a una calificación de

radiación “alta”. A las 12h30 los índices vuelven a ser moderados y a las 14h15 su radiación vuelve ser “baja”. (Sanclemente, 2009).

Tabla 3. Índices UV medidos en la EMA para dos días: 21 de julio (día nublado) y 03 de agosto (día despejado). Ver la escala de calificación (Tabla 2).

Fecha	21/07/2015	03/08/2015
Hora	IUV EMA	IUV EMA
9h45-10h	4.0	4.3
10h-10h15	4.0	5.5
10h15-10h30	4.5	5.3
10h30-10h45	3.1	5.5
10h45-11h	4.8	6.0
11h-11h15	6.0	7.1
11h15-11h30	5.8	7.2
11h30-11h45	5.8	7.0
11h45-12h	5.8	6.8
12h-12h15	5.1	8.0
12h15-12h30	5.6	8.0
12h30-12h45	3.1	7.2
12h45-13h	3.5	7.0
13h-13h15	4.5	7.2
13h15-13h30	2.0	7.2
13h30-13h45	1.0	7.0
13h45-14h	1.0	6.5
14h-14h15	1.1	6.8
14h15-14h30	1.0	5.0
14h30-14h45	1.0	4.8

21 de julio

A continuación se presenta un ejemplo de perfil diurno de la radiación solar del día 21 de julio de 2015.

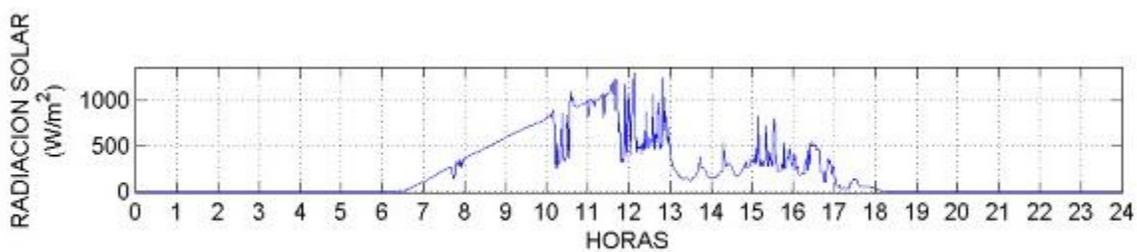


Figura 20. Perfil diurno de la radiación solar en Cumbayá el 21 de julio de 2015.

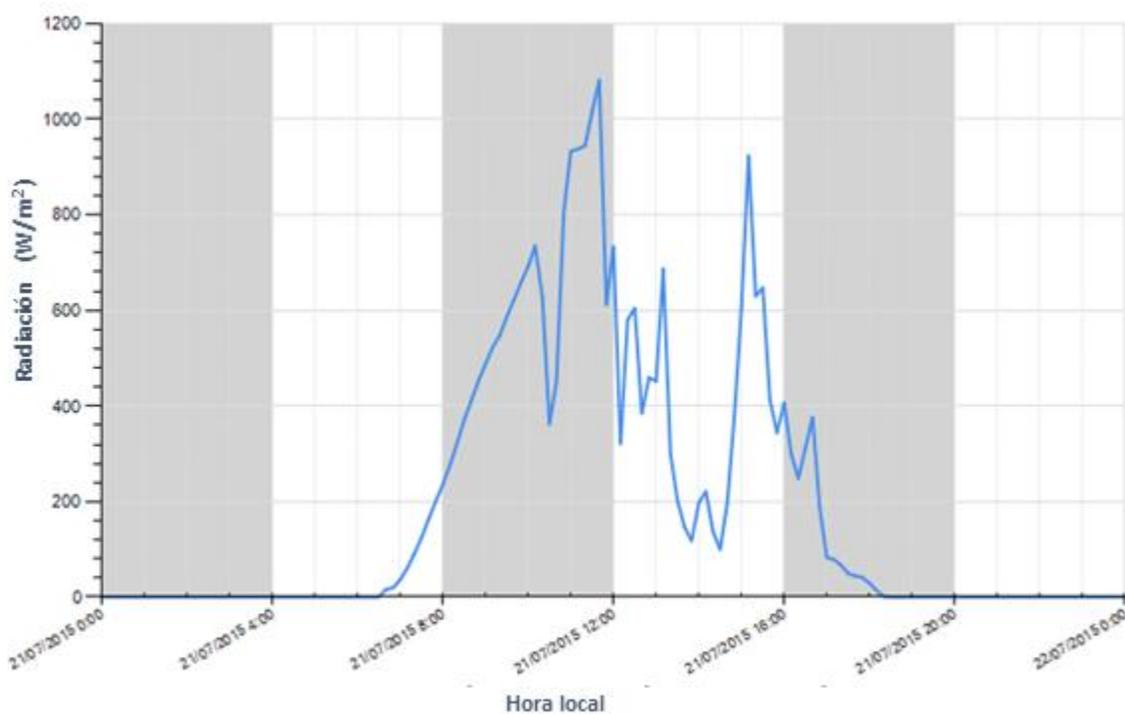


Figura 21. Perfil diurno de la radiación solar en Quito el 21 de julio de 2015.

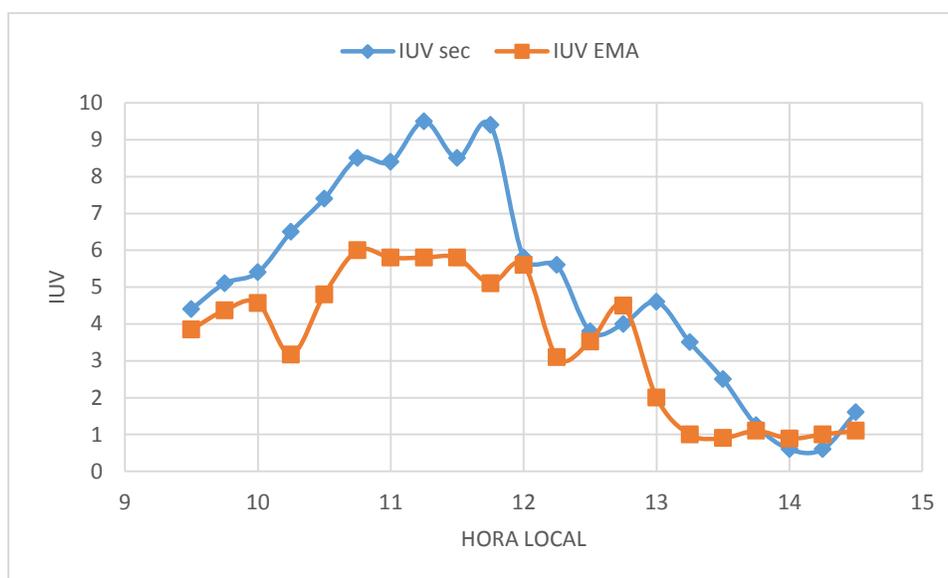


Figura 22. Perfil diario del índice UV medido en Cumbayá (EMA-USFQ) y el índice UV medido en la Secretaría del Ambiente (Quito) para el día 21 de julio de 2015. Las puntos representan, tomate: IUV medido en la EMA-USFQ, azul: IUV medida en la Secretaria del Ambiente en Quito.

El perfil de los índices se asemeja al perfil de radiación solar ya que el índice es muy dependiente de la radiación. El perfil de los índices sigue un patrón similar aunque los valores de la EMA-USFQ son menores a los valores de la Secretaría con diferencias de 0.15 hasta 4.3 puntos.

03 de agosto

A continuación se presenta un ejemplo de perfil diario de la radiación solar del día 03 de agosto de 2015.

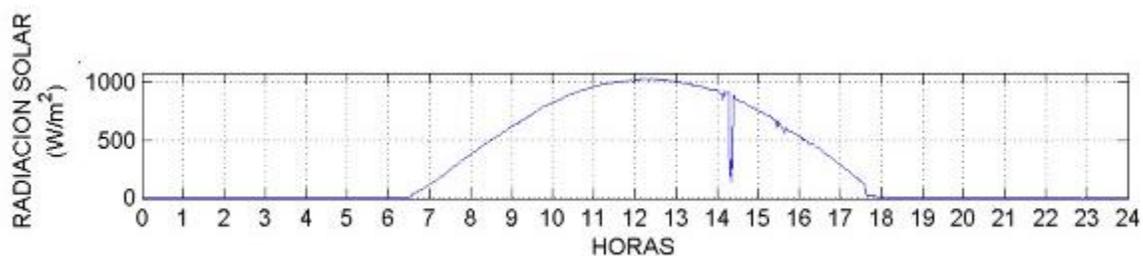


Figura 23. Perfil diario de la radiación solar en Cumbayá el 03 de agosto de 2015. (Instituto de Investigaciones Atmosféricas EMA-USFQ)

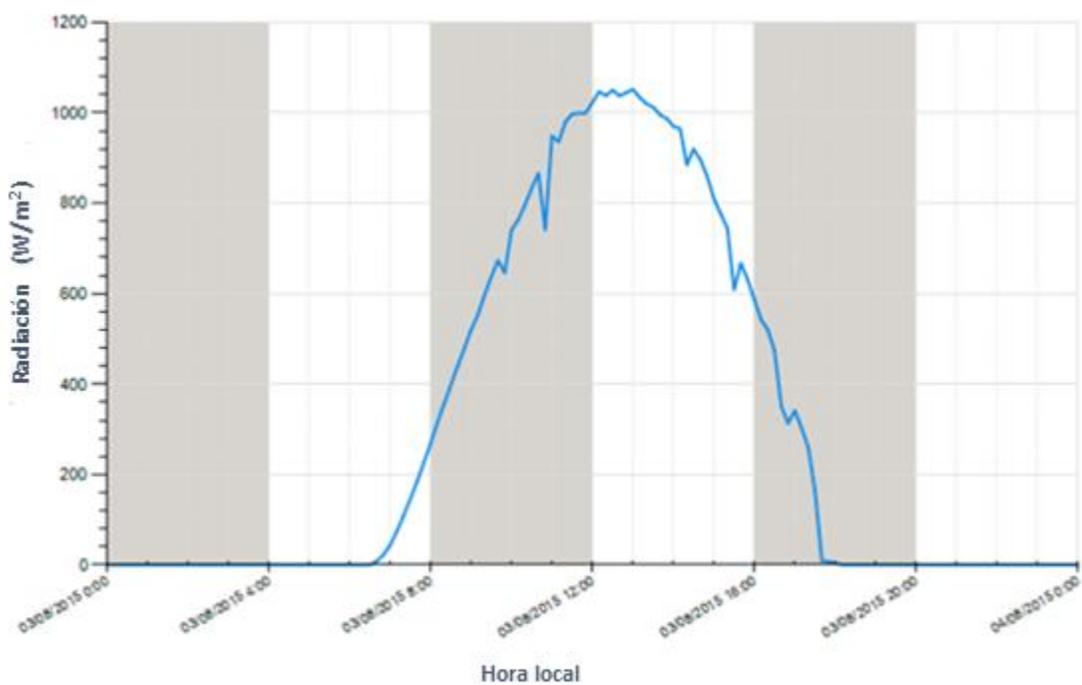


Figura 24. Perfil diario de la radiación solar en Quito el 03 de agosto de 2015. (Secretaría de Ambiente)

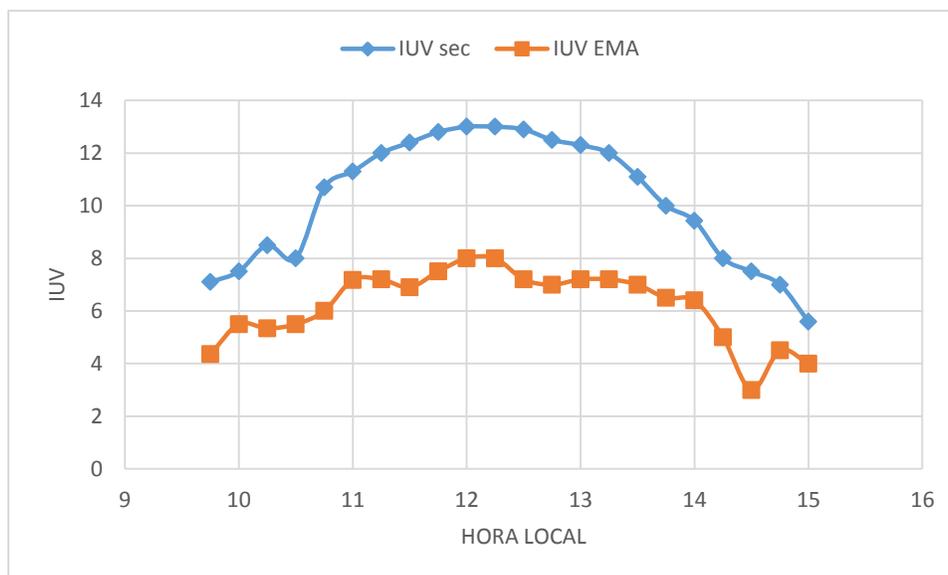


Figura 25. Perfil diario del índice UV medido en Cumbayá (EMA-USFQ) y el Índice UV medido en la Secretaría del Ambiente (Quito) para el día 03 de agosto de 2015. Los puntos representan, tomate: IUV medido en la EMA-USFQ, azul: IUV medida en la Secretaría del Ambiente en Quito.

El 03 de agosto es un día despejado. La tendencia de los índices de la Secretaría de Ambiente y de la EMA-USFQ es similar aunque los puntos de la EMA-USFQ son menores en relación a los valores de la Secretaría de Ambiente con diferencias de 2 hasta 5.9 puntos.

4. Conclusiones y trabajo futuro

A partir de medidas espectrales, medidas radiométricas y cálculos matemáticos se desarrolló una estrategia de medición del índice UV en la EMA-USFQ, Cumbayá.

Se realizaron varios cálculos para determinar la irradiancia espectral a partir de medidas espectrales y medidas de irradiancia con el fin de calcular el índice UV característico de la zona. Los resultados del índice fueron comparados con los índices medidos en la Secretaría de Ambiente, en Quito, a pesar de que esta se encuentre a mayor altitud (400 metros más elevado que la EMA-USFQ). Los resultados del IUV de la EMA-USFQ son menores en relación a los resultados presentados por la Secretaría de Ambiente. La correlación entre los resultados de los dos índices muestra una alineación de los puntos aunque con un R^2 todavía bajo (R^2 de 0.63, 0.65 y 0.62, para julio, agosto y septiembre, respectivamente). Esto, ya que los dos sitios además de estar ubicados a diferente altitud, tienen condiciones meteorológicas distintas, con diferente nubosidad y diferente composición de partículas que pueden atenuar la luz.

Para contrarrestar las diferencias debido a las condiciones meteorológicas, se analizaron días despejados en los dos lugares y se obtuvo una correlación mayor (R^2 de 0.81, 0.81 y 0.78). La correlación debería mejorar cuando se haga un ajuste con el porcentaje de transmitancia correspondiente a cada longitud de onda de los tres instrumentos ópticos utilizados que son el filtro de densidad neutra, la fibra óptica y el espectrómetro. Como trabajo futuro se propone estimar estos porcentajes de pérdida de datos para compensar la medida del índice UV. No obstante las mediciones realizadas en la EMA-USFQ son correctas. Otro factor que influye en las mediciones realizadas en la EMA-USFQ es la radiación difusa que no se está viendo en su

totalidad ya que el filtro óptico es apuntado directamente al sol, obviando la radiación proveniente de toda la semiesfera celeste.

En cuanto al cálculo del índice UV de la Secretaría de Ambiente, se sugiere utilizar una ecuación que contemple todas las longitudes de onda del rango UV (310 nm a 400 nm) y conocer a profundidad la naturaleza de los coeficientes utilizados en la ecuación del radiómetro (Ecuación 2) así como la incertidumbre de sus datos.

Por otro lado, en cuanto al cálculo del índice UV propuesto por la NOAA (McKinlay, 1987), se propone manejar un índice que dependa de las condiciones de nubosidad. Es decir, realizar un ajuste al índice en caso de que existan nubes que puedan incrementar la radiación difusa.

Por último se recomienda una automatización del proceso de medición realizado en esta investigación, con el fin de obtener una mayor cantidad de datos sin tener que contar con un personal encargado de realizar las mediciones todo el día.

5. Referencias bibliográficas

American Cancer Society. (2015). What is ultraviolet radiation? Recuperado el 07 de julio de 2016 desde <http://www.cancer.org/espanol/cancer/cancerdepiel>.

Balter, S., Hopewell, J.W., Miller, D.L., Wagner, L.K & Zelefsky, M.J. (2010). Fluoroscopically guided interventional procedures: A review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology* 327-341.

Blumthaler, M. (1991). Solar UV-A and UV-B Radiation Fluxes at two Alpine Stations at Different Altitudes.

Cabrera-Silva, S. (2005). Radiación ultravioleta y salud. Editorial Universitaria.

Calderón Landy, G. R. (2014). Diseño y construcción del prototipo en línea de un sistema de tratamiento de aguas residuales a base de luz ultravioleta.

Cazorla, M. & Tamayo, E. (2014). Atmospheric measurement station in Universidad San Francisco de Quito (EMA): ground-based physical meteorology instrumentation and assessment of initial measurements. *Av. Cienc. Ing. (Quito)*, 6 (2), C21 – C30.

Fitzpatrick, T. B. (1988). The validity and practicality of sun-reactive skin types I through VI. *Archives of dermatology*, 124(6), 869-871.

Folgueras, J., Portela, A. E., García, M. A., & Escobar, J. R. (2009). Evaluación de termopilas como detectores de radiación IR para un capnógrafo. *Revista Bioingeniería y Física Médica Cubana*, 10(3), 18-23.

Griffiths, David J. (2004). *Introduction to Quantum Mechanics (2nd ed.)*.

Gutiérrez, R. (2004). Servicio de Oncología Dermatológica. Cáncer de piel

Holick et al. (1988). Influence of Season and Latitude on the Cutaneous Synthesis of Vitamin D₃: Exposure to Winter Sunlight in Boston and Edmonton Will Not Promote Vitamin D₃ Synthesis in Human Skin.

Instituto de Investigaciones Atmosféricas EMA-USFQ. Recuperado el 07 de julio de 2016 desde https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/politecnico/institutos/ia/Observaciones.

Lucas, *et al.* (2006). Solar Ultraviolet Radiation. World health organization. Recuperado el 6 de Abril de 2016 desde http://www.who.int/uv/health/solaruvradfull_180706.pdf.

McKinlay, B. L. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin, *CIE Journal* 6, 17-22.

Narayanan, D. L., Saladi, R. N., & Fox, J. L. (2010). Review: Ultraviolet radiation and skin cancer. *International journal of dermatology*, 49(9), 978-986.

NOAA. (2007). Instantaneous UV Index and Daily UV Dose Calculations

Organización Mundial de la Salud. (2002). Índice UV Solar Mundial.

Organización Mundial de la salud (2015). Índice global.

Pagliaro, G. Palmisano, and R. Ciriminna. (2008) *Flexible Solar Cells*, John Wiley, New York.

Piedehierro, A. (2011). Índice ultravioleta estimado en Badajoz (España) mediante radiómetro multicanal. Recuperado el 04 de abril del 2015 desde http://www.sedoptica.es/Menu_Volumenes/Pdfs/OPA45-1-23.pdf

Sanclément G, Díaz A. (2009). Impact of a sun protection campaign in Medellín, Colombia.

Secretaría del Ambiente de Quito. Recuperado el 06 de julio de 2016 desde <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/radiacion-ultravioleta-app>.

ANEXOS

Anexo 1.

Tabla 4. Días del mes en que se midieron espectros.

Día del mes	Julio	Agosto	Septiembre
1			
2			
3	x	x	
4		x	
5		x	
6		x	
7			
8	x		
9			
10			
11			
12		x	
13	x	x	
14			
15	x		
16			
17		x	
18		x	x
19			x
20		x	x
21	x		
22	x	x	x
23			x
24			
25		x	
26			
27	x	x	
28			
29			
30	x		
31			

Anexo 2.

Tabla 5. Número de espectros medidos en cada hora del día durante los tres meses.

Hora del día	Julio	Agosto	Septiembre
9:30	1	2	2
9:45	3	2	2
10:00	5	6	1
10:15	3	4	1
10:30	5	8	2
10:45	5	5	2
11:00	8	3	2
11:15	7	4	3
11:30	7	5	2
11:45	5	4	2
12:00	6	8	2
12:15	3	4	2
12:30	3	4	2
12:45	3	2	2
13:00	7	3	2
13:15	5	2	2
13:30	4	3	2
13:45	4	1	1
14:00	6	2	1
14:15	3	3	1
14:30	3	4	1
14:45	2	0	3
15:00	2	1	3
15:15	1	0	3
15:30	1	0	2
TOTAL	102	80	48