

## Radiación ultravioleta (UV) en el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica

José L. Vargas<sup>1</sup> & Eric J. Alfaro<sup>1,2,3</sup>

1. Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José, Costa Rica; jose.vargascastillo@ucr.ac.cr; erick.alfaro@ucr.ac.cr
2. Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José, Costa Rica.
3. Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología, Universidad de Costa Rica, 11501-2060 San José, Costa Rica.

Recibido 06-III-2015. Corregido 07-VIII-2015. Aceptado 07-IX-2015.

**Abstract: Ultraviolet radiation at Isla del Coco (Cocos Island) National Park, Costa Rica.** Incoming solar energy that reaches the land surface is divided mainly in infrared, visible and UV. UV radiation has wave lengths from 100 to 400 nm. The World Health Organization recommends studies and monitoring of UV radiation because of its biological effects in living organisms. The use of automatic Davis weather stations, Vantage Pro Plus/Vantage Pro2 Plus type, with a sensor model 6490, allowed UV radiation measurements at Isla del Coco, Costa Rica, located in the Eastern Tropical Pacific. The stations were set near Chatham Bay (5°32'51" N - 87°02'43" W, 142 m.a.s.l) and Wafer Bay (5°32'24" N - 87°03'26" W, 132 m.a.s.l). Measurements were recorded: Apr. 5-11, 2008, Mar. 1-6, 2009, Apr. 22-27, 2010, Jul. 2-8, 2011 and Mar. 15-21, 2012. Data were described for the cloudiest and sunniest days according to the UV index (UVI) as a standardized value that allows easy data interpretation in terms of the hazard exposure for living beings. This is especially important for coral reefs (the island has the largest Pacific reefs in Costa Rica). The maximum UVI average range in Chatham decrease from 14 for sunny days to 3 for cloudy days, and from 16 to 4 for the sunniest and cloudiest days, respectively. In Wafer, these values were 12 to 4 and 14.2 to 3.0, respectively. The average exposure to UV radiation was considered high for sunny days from 9:30 to 14:30hr in Chatham and from 10:00 to 14:30 in Wafer, but these values for the sunniest days increase from 9:00 to 15:00 in Chatham and from 9:00 to 14:30 in Wafer. The equipment used was able to identify events with extremely high UVI values during the expeditions. The generation and use of this information is useful for understanding and modeling the ecosystem dynamics, and it is also valuable for the rangers' work and for the tourism sector. *Rev. Biol. Trop.* 64 (Suppl. 1): S75-S86. Epub 2016 February 01.

**Key words:** Ultraviolet index, Isla del Coco, Cocos Island, Costa Rica, Eastern Tropical Pacific.

El primer semestre del año en la Isla del Coco, Costa Rica, ubicada en el Pacífico Tropical del Este, con localización geográfica aproximada en 5.5° N - 87° W, se caracteriza por ser el periodo con mayor flujo de radiación global, mayor temperatura superficial del aire, menor humedad relativa y menor velocidad del viento, principalmente en horas cercanas al medio día (Alfaro, 2008). Es también el periodo cuando se registra menor precipitación. A pesar de que Alfaro (2008) logra realizar una caracterización climática de algunas variables atmosféricas, a

partir de los registros existentes en la Isla del Coco, se detectó que no se habían realizado mediciones de radiación ultravioleta en superficie (UV) previo a las expediciones, la cual es una variable importante en el análisis y modelado de los ecosistemas presentes en la isla. Debido a lo anterior, se trazó como uno de los objetivos del estudio el realizar la observación de esta variable atmosférica durante las últimas cinco campañas, en el periodo 2008-2012.

La energía proveniente del sol que incide sobre la superficie de la tierra consta

principalmente de radiación infrarroja, visible y UV. El descubrimiento de la radiación UV se llevó a cabo en 1801 (Hockberger, 2002), cuando el físico alemán Johann Wilhelm Ritter descubrió que los rayos invisibles situados justo detrás del extremo violeta del espectro visible eran especialmente efectivos oscureciendo el papel impregnado con cloruro de plata. Denominó a estos rayos “rayos desoxidantes” para enfatizar su reactividad química y para distinguirlos de los “rayos calóricos” (descubiertos por William Herschel) que se encontraban al otro lado del espectro visible. Finalmente estos términos fueron dando paso a los más modernos de radiación infrarroja y ultravioleta (UV) respectivamente.

La radiación UV, abarca en el espectro el intervalo de longitudes de onda de 100 a 400nm y, debido a los efectos sobre los seres vivos, se ha dividido en tres bandas (WHO, 2003): UVA (315-400 nm), UVB (280-315nm) y UVC (100-280 nm). La intensidad de los rayos UV al atravesar la atmósfera se ve influenciada por varios factores (Cañarte, Salum, Ipiña, & Piacentini, 2013), entre ellos se pueden mencionar los siguientes: el Ozono (O<sub>3</sub>), el vapor de agua, el oxígeno, el dióxido de carbono, la hora del día, las superficies reflectantes (albedo), la latitud, la altitud y el día del año (Vanicek, Frei, Litynska, & Schnalwieser, 2000). Los gases mencionados anteriormente, absorben prácticamente toda la radiación UVC y aproximadamente el 90 % de la radiación UVB. La atmósfera absorbe la radiación UVA en menor medida. En consecuencia, la radiación UV que alcanza la superficie terrestre se compone en su mayor parte de rayos UVA, con una pequeña parte de rayos UVB. Por tanto, el intervalo espectral de longitudes de onda que tiene efecto sobre los seres vivos está entre 280 nm (UV de menor longitud de onda son absorbidos por la atmósfera) y 400 nm (límite con el espectro visible).

Uno de los principales ecosistemas, relacionado con la rica biodiversidad marina presente en la Isla del Coco, son los arrecifes de coral (Guzman, & Cortés, 2007). El daño por la exposición prolongada del coral a la

radiación UV ha sido reportado en el pasado por estudios como los de Gleason & Wellington (1993), Brown, Dunne, Scoffin & Letissier (1994), Coles & Leapy (1998), Wellington & Fitt (2003) y Lesser & Farrell (2004). Drohan, Thoney & Baker (2005) encontraron que, en condiciones controladas de laboratorio, el octocoral, *Eunicea tourneforti*, pierde una porción de su población de algas simbiotes, cuando estas se exponen a temperaturas altas ( $\geq 29^{\circ}\text{C}$ ) y a la luz UVB. Este proceso es conocido como blanqueamiento ya que las algas simbiotes, en la mayoría de los casos les dan el color a los corales. Anderson et al., (2001) y Lesser (2011) indican que condiciones como estas, sumado a otros factores de la variabilidad y cambio climático, favorecen el blanqueamiento (e.g. Guzmán, Cortés, Richmond, & Glynn, 1987). También en condiciones de laboratorio, Gleason, Edmunds & Gates (2006) encontraron que las larvas de *Porites astreoides* pueden detectar la porción de radiación UV entre 280-400nm y prefieren para su asentamiento, aquellos lugares con incidencia de radiación UV reducida. Esto concuerda y verifica en forma parcial los resultados obtenidos previamente por Kuffner (2001a) para *Pocillopora damicornis*, sin embargo Kuffner (2001b) detectó muy pocos efectos de la radiación UV sobre *Porites compressa*. Kuffner (2002) agrega que lo anterior se puede deber a una resistencia de *P. compressa* y de sus zooxantelas simbiotes a los efectos nocivos de la radiación UV sobre los pigmentos fotosintéticos o la calcificación. También encuentra que la velocidad del flujo de agua fue un factor importante para mantener los amino ácidos tipo microsporina, que protegen el coral de la radiación UV. Liñán-Cabello et al., (2010), reportaron que *Pocillopora capitata* expuesto a la luz UV se combina con cambios, incluso no muy prolongados, en turbidez, sedimentos, nutrimentos, temperatura y salinidad, pueden causarse un daño irreversible a los corales. Sin embargo, Reef, Kaniewska & Hoegh-Guldberg (2009), encontraron que los esqueletos de corales presentan un mecanismo defensivo al tener una capacidad alta de absorber radiación UV, lo que más bien

los podría hacer prosperar bajo estos ambientes que en general son dañinos para la mayoría de la vida marina.

Una de las formas de resumir y reportar las mediciones de UV es por medio del Índice Ultravioleta o IUV. Este índice representa el “espectro de acción”, que se define como la repuesta de los organismos vivos cuando incide sobre ellos radiación UV (Bilbao, Román, Yousif, Mateos, & De Miguel, 2014). Para el caso de los seres humanos el efecto más común sobre la piel es el eritema o quemadura solar, y se le ha llamado “Espectro de Acción Erytherma”, definido por McKinlay & Differy (1987), y adoptado por la Commission Internationale de l' Eclairage (CIE) como la representación estándar promedio de la repuesta de la piel humana a los radiación UVB y UVA. Según este espectro, la piel es aproximadamente 100 veces más sensibles a la radiación de 298 nm que a la radiación de 319 nm. Tiene un máximo en 298 nm y va decreciendo conforme aumenta la longitud de onda. Este espectro de acción es una curva de efectos sobre los seres vivos, por lo que la magnitud no tiene unidades físicas y es usada para determinar la radiación o irradiancia UV eritemática o UVER. Según la Organización Mundial de la Salud u OMS (WHO, 2003), una exposición prolongada a la radiación UV solar produce daños en la piel, los ojos y el sistema inmunológico del ser humano. Los efectos más conocidos son las quemaduras solares y el bronceado, pero una exposición excesiva produce un envejecimiento prematuro de la piel como consecuencia de la degeneración de las células, del tejido fibroso y de vasos sanguíneos. Los efectos más crónicos encontrados en el ser humano son los cánceres de piel y las cataratas en los ojos, que se han convertido en dos grandes problemas debido a la cantidad de personas que lo padecen en el mundo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Índice Ultravioleta, IUV

La irradiancia UVER o  $I_{UVER}$  (Román, 2010; Correa et al., 2013), expresa los efectos

eritemáticos de la radiación solar, se obtiene al multiplicar la radiación incidente a nivel del suelo,  $I_{\lambda}$ , en unidades de  $Wm^{-2}$  por el espectro de acción propuesto por la CIE, denominado  $EE(\lambda)$ . La integral de la siguiente ecuación es equivalente al valor  $I_{UVER}$  y da información de la peligrosidad de la radiación solar sobre la piel humana (WHO, 2003).

$$I_{UVER} = \int_{280}^{400} I_{\lambda} EE(\lambda) d\lambda$$

La radiación UVER proporciona información acerca del daño en la piel debido a la exposición solar, pero sus valores oscilan entre 0 y  $0.30 Wm^{-2}$ , pero esta información es poco útil para el usuario no entrenado, por lo que se creó el índice IUV, que es un indicador de la capacidad de la radiación UV para producir lesiones en la piel humana y permite a la población entender mejor cuando es peligroso tomar el sol y como deben protegerse de este (WHO, 2003).

El IUV es un parámetro sin dimensiones que se calcula multiplicando la  $I_{UVER}$  en  $Wm^{-2}$  por una constante de proporcionalidad de  $40 m^2W^{-1}$  (WHO, 2003), resultando valores de fácil referencia para la población, es decir:

$$IUV = 40 \int_{280}^{400} I_{\lambda} EE(\lambda) d\lambda$$

El IUV fue creado como una labor de colaboración internacional por la Organización Mundial de la Salud, la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, y la Comisión Internacional de Protección contra la Radicación no Ionizante, este varía de 0-16 y se divide en 5 categorías de exposición (Cuadro 1).

La Organización Meteorológica Mundial ha establecido la Unidad de Índice UV en  $0.025 Wm^{-2}$ . Si lo que se tiene es el índice y se desea la  $I_{UVER}$ , basta con multiplicar este por el factor  $0.025 Wm^{-2}$ .

El efecto dañino en la piel producida por la radiación UV es acumulativo por lo que se

CUADRO 1  
Categoría de exposición a los rayos UV

TABLE 1  
Exposure category to UV rays

Categoría de exposición	Intervalo de valores del IUV
Baja	Inferior a 2
Moderada	3 a 5
Alta	6 a 7
Muy Alta	8 a 10
Extremadamente Alta	Superior a 10

Fuente: WHO (2003).

ha definido la dosis mínima eritemática (MED, por sus siglas en inglés), que es la dosis de radiación UV efectiva que causa un enrojecimiento perceptible en la piel no expuesta previamente. Pero como no todas las personas presentan la misma sensibilidad a la radiación UV debido a la pigmentación melánica propia de cada individuo (fototipos), 1 MED, varía entre 210 y 450 Jm<sup>-2</sup>. Por ejemplo, actualmente la mayoría de los países europeos han adoptado 4 tipos básico de piel dependiendo de la capacidad de ésta para broncearse (Cuadro 2). También se muestra la dosis aproximada para que se produzca un enrojecimiento de la piel (1 MED).

### Mediciones realizadas

Se realizaron seis expediciones a la Isla del Coco, dos durante el segundo semestre del año, octubre 2007 y julio 2011, llamadas respectivamente CIMAR-COCO-I y

UCR-UNA-COCO-IV. Las otras cuatro expediciones se realizaron durante el primer semestre del año, abril 2008, marzo 2009, abril 2010 y marzo 2012, denominadas respectivamente las dos primeras como CIMAR-COCO-II y III y las dos segundas como UCR-UNA-COCO-I y V. Dichas expediciones comprendían el estudio de los sistemas oceanográficos desde una perspectiva multidisciplinaria, por lo que incluyó su abordaje desde la oceanografía biológica, química, física y meteorológica, además de incluir el tema de la valoración económica del Área de Conservación Marina Isla del Coco. Los detalles de cada una de las expediciones pueden ser consultados en los informes técnicos, disponibles en el repositorio institucional Kérwá de la Universidad de Costa Rica (<http://kerwa.ucr.ac.cr/>).

Durante las expediciones realizadas en abril de 2008, marzo de 2009, abril de 2010, julio de 2011, y marzo de 2012, se instalaron cerca de las bahías de Chatham (5°32'51" N - 87°02'43" W, 142 m.s.n.m) y Wafer (5°32'24" N - 87°03'26" W, 132 m.s.n.m) dos estaciones meteorológicas marca Davis modelo Vantage Pro Plus/Vantage Pro2 Plus (Fig. 1), durante periodos de 5 a 7 días, que se programaron para que realizaran mediciones (promedios o acumulados) de variables atmosféricas en intervalos de 5 minutos. Estas disponían de una consola de despliegue, y sensores de lluvia, temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, radiación solar y UV (Fig. 1). Debido a la topografía irregular de la isla y a su vegetación, no fue posible hallar un área que

CUADRO 2  
Valores de la dosis eritemática mínima (MED) para los tipos de piel humana

TABLE 2  
Minimum erythemetic doses values (MED) for the human skin types

Fototipo	Se quema tras la exposición al Sol	Se broncea tras la exposición al Sol	1 MED
Tipo I	Siempre	Raramente	200 Jm <sup>-2</sup>
Tipo II	Habitualmente	Algunas veces	250 Jm <sup>-2</sup>
Tipo III	Algunas veces	Habitualmente	350 Jm <sup>-2</sup>
Tipo IV	Raramente	Siempre	450 Jm <sup>-2</sup>

Fuente: Vanicek et al. (2000).



**Fig. 1.** Estaciones meteorológicas usadas en las bahías Chatham (izquierda) y Wafer (derecha). Los sensores de radiación solar global y UV se localizan con la flecha roja.

**Fig. 1.** Meteorological stations used in Chatham (left) and Wafer (right) bays. The global solar radiation and UV sensors are marked with red arrows.

cumpliera con todas las especificaciones requeridas por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2008) para el emplazamiento de las estaciones automáticas, por lo que su localización se dispuso principalmente de acuerdo a las recomendaciones e instrucciones hechas por el personal de Guarda Recursos del Parque Nacional. Adicionalmente, la estación localizada en Chatham, utilizó la misma localización geográfica que usa el Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica para el emplazamiento de sus estaciones meteorológicas. Los sensores se ubicaron lo suficientemente alejados de las sombras de la vegetación, para que la misma no afectara los datos recolectados.

El sensor UV utilizado (Davis, modelo 6490) mide la irradiancia solar global UV en  $\text{Wm}^{-2}$ , la suma de los componentes de la radiación UV solar transmitida directamente y la dispersada en la atmósfera, es un instrumento de precisión que detecta longitudes de onda de 280 y 360 nm (que es la porción del espectro UV que produce quemaduras en la piel) y mide el IUV, en el ámbito 1 al 16. El sensor mide con una resolución de 0.1, y una exactitud de  $\pm 5\%$  de la escala completa. Está formado por un fotodiodo semiconductor de alta precisión, ubicado dentro de una carcasa plástica que proporciona un camino a las corrientes de aire para enfriar el interior por convección,

minimizando el calentamiento del sensor. El anillo de corte proporciona una excelente respuesta coseno. Cada sensor es calibrado contra un estándar secundario bajo luz natural. Su respuesta espectral es muy cercana al Espectro de Acción de Eritema (EAS, por sus siglas en inglés), reconocido internacionalmente como el responsable de causar quemaduras en la piel (McKinlay, & Differy, 1987). Por su parte, el sensor de radiación solar (Davis, modelo 6450) detecta radiación de longitud de onda de 300 a 1100 nm, también mide la irradiancia solar global (directa+difusa) en  $\text{Wm}^{-2}$ , el traductor es un fotodiodo de silicio con respuesta espectral ancha.

Los datos recolectados fueron primero inspeccionados gráficamente para efectuar la comparación entre los sensores de las dos estaciones y realizar el análisis exploratorio de los mismos. Posteriormente y con el propósito de suavizar las series originales que se registraron en intervalos de 5 min, se calcularon promedios cada 30 min y se seleccionó el día más nublado y el más despejado para cada expedición, entre las 6 y 18 hr, tiempo local. Luego, se promediaron los días seleccionados para todas las expediciones, lo que permitió finalmente el cálculo del porcentaje de cambio del IUV, primero para el promedio de los días más nublados y más despejados y segundo para el día que se

observó como más nublado y más despejado. Este último análisis se hizo entre las 9 y 15 hr, por ser el periodo de mayor incidencia de radiación solar (Alfaro, 2008).

## RESULTADOS

En la Figura 2 se muestra los datos registrados cada 5 min por el sensor UV de estaciones meteorológicas Davis ubicados cerca de las bahías Chatham y Wafer. A partir de esta serie de datos se pueden ver el comportamiento del IUV a lo largo de un día lo que permite la caracterización del ciclo diurno. Nótese que si las oscilaciones diarias son simétricas, indican que ese fue un día de cielo claro, mientras que si son asimétricas indican fluctuaciones debidas a la nubosidad, las cuales en general producen disminuciones del IUV observado. Al comparar en esta figura las curvas etiquetadas como A1 y B1 de Chatham con A2 y B2 de Wafer, correspondiente al 2008 y al 2009, se nota que la magnitud máxima obtenida para cada día fue superior en Chatham al compararlo con Wafer. No ocurre lo mismo para las demás curvas C1, D1, E1 y C2, D2, E2 en donde el valor del índice para las series para los dos sitios es parecido. Por otro lado, al comparar datos de radiación solar global en esas expediciones, se encontró que las mediciones para los periodos de 2008 y 2009 eran muy similares. Lo anterior podría reflejar que posiblemente el sensor UV ubicado en Wafer para esos años presentó algún defecto que no se pudo determinar. Los valores del IUV máximos cercanos al mediodía local, alcanzan valores superiores a 10 (Fig. 2), con una categoría de exposición calificada como extremadamente alta de acuerdo al Cuadro 1.

Posteriormente, se seleccionó el día más y menos nublado de las series de datos correspondientes a cada año desde las 6:00 hasta las 18:00, horas locales (Fig. 3). Nuevamente se observó que el máximo valor de índice en Chatham curva A1 y B1 es mayor que en A2 y B2 respectivamente, esto, como se mencionó anteriormente, debido posiblemente a un error no identificado en el sensor de UV en Wafer. El criterio que se siguió para seleccionar los

días más despejados y nublados (Cuadro 3), es que los valores registrados por los sensores de radiación solar global y de UV fueron los más altos o bajos, respectivamente en cada una de las estaciones automáticas instaladas, es decir, el máximo y mínimo para una expedición en particular.

CUADRO 3

Días seleccionados como más despejados y nublados para las bahías de Chatham y Wafer

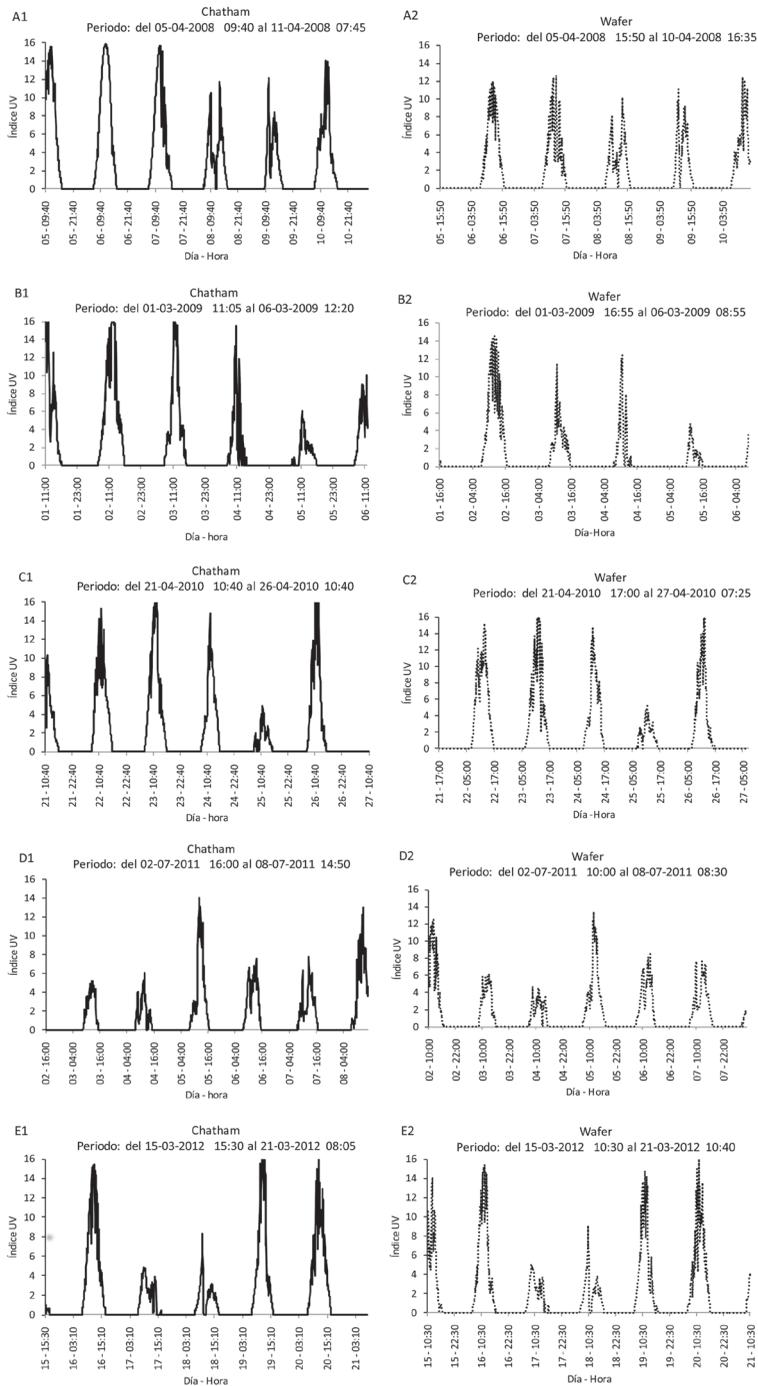
TABLE 3

Least and most cloudy days in Chatham and Wafer bays

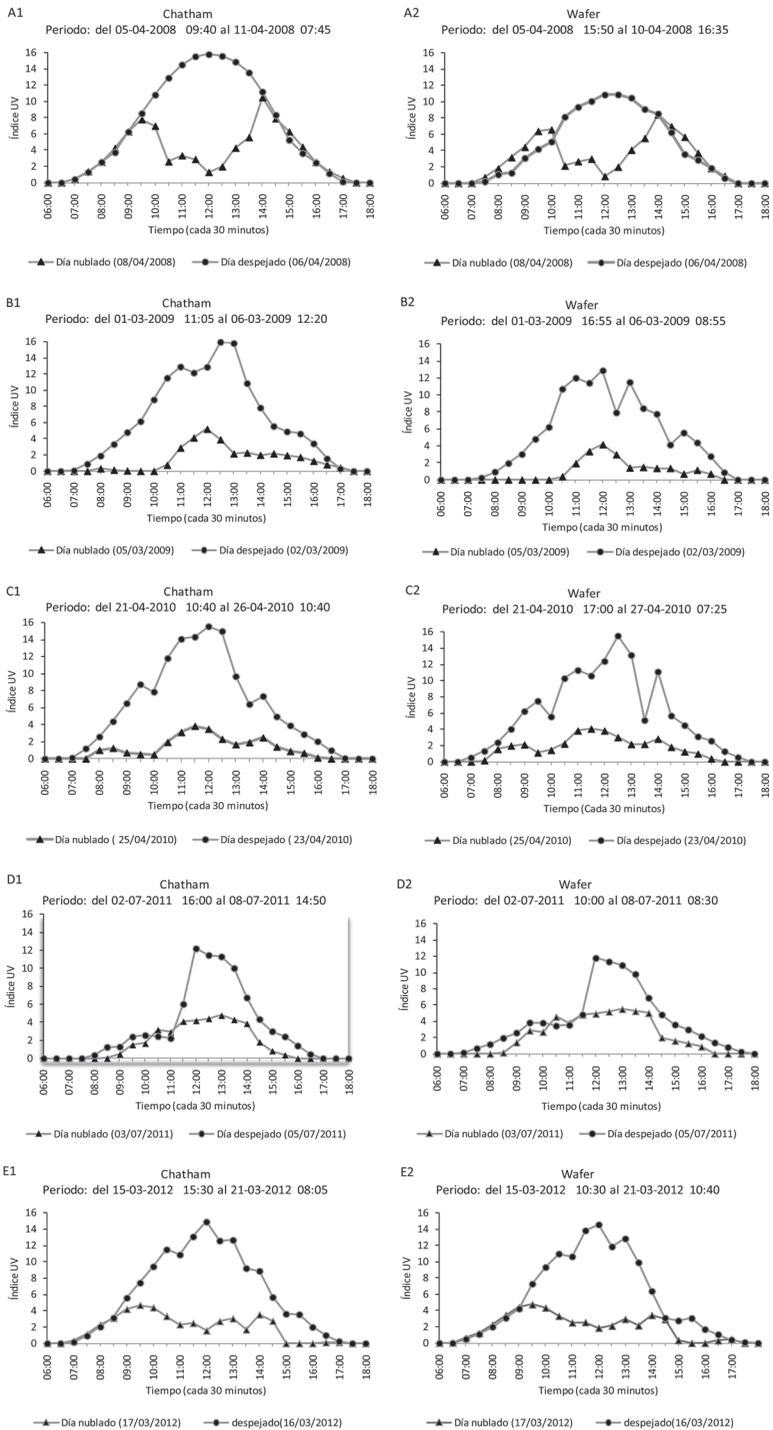
Días nublados	Días despejados
08/04/2008	06/04/2008
05/03/2009	02/03/2009
25/04/2010	23/04/2010
03/07/2011	05/07/2011
17/03/2012	16/03/2012

Con el propósito de resumir el análisis de datos, se muestra en la Fig. 4, para las observaciones en Chatham y Wafer, las curvas del promedio de días despejados y nublados, así como el día considerado como más despejado y más nublado. Al observar los datos graficados en esta figura se nota que la presencia de nubes tiene un efecto considerable en la disminución de la radiación solar y en especial sobre la UV, pues la amplitud máxima del promedio del índice en Chatham pasa de 14 para días despejados a 3 en días nublados. Algo similar ocurre para el valor máximo del día más despejado con respecto al más nublado pasando de 16 a 4. Al analizar el gráfico correspondiente a Wafer, la amplitud máxima promedio del índice disminuye de 12 a 4. En el caso del día más despejado con respecto al más nublado, el valor máximo pasa de 14.2 a 4.0.

Este resultado para días nublados coincide parcialmente con lo reportado por Alfaro (2008), quien notó en general valores pequeños en el flujo de radiación total, lo que a su vez concuerda con los valores altos obtenidos por Amador, Alfaro, Lizano & Magaña (2006) para el promedio anual de la cobertura nubosa sobre la isla, la cual es de aproximadamente de 70-75



**Fig. 2.** Valores promedio registrados cada 5 min por el sensor UV de las estaciones meteorológicas ubicadas en la Isla del Coco. A1, B1, C1, D1 y E1 a la izquierda corresponden a las mediciones realizadas en Bahía Chatham y A2, B2, C2, D2 y E2 a la derecha en Bahía Wafer. Cada gráfico incluye la fecha y la hora: minutos, inicial y final de medición para cada periodo. **Fig. 2.** Average values recorded every 5 min by the UV sensor located in the Cocos Island. A1, B1, C1, D1 and E1 in the left were taken in Chatham Bay and A2, B2, C2, D2 and E2 in the right in Wafer Bay. Every plot includes the start and end measurements done in every expedition in the format date and hour:minutes.



**Fig. 3.** Valores del IUUV promediados cada 30 min para días nublados y despejados en la Isla del Coco. A1, B1, C1, D1 y E1 corresponden a las mediciones realizadas en Bahía Chatham y A2, B2, C2, D2 y E2 en Bahía Wafer.

**Fig. 3.** Average IUUV values every 30 min for the most cloudy and sunny days in Cocos Island. A1, B1, C1, D1 and E1 were taken in Chatham Bay and A2, B2, C2, D2 and E2 in Wafer Bay.

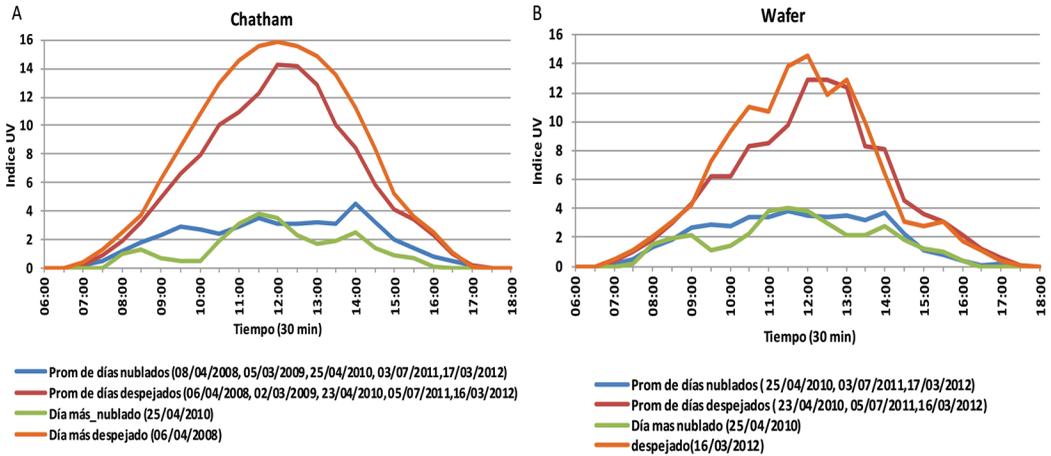


Fig. 4. Comparación del IUV para días despejados y nublados en Bahía (A) Chatham y (B) Wafer.  
 Fig. 4. UVI comparison for sunny and cloudy days in (A) Chatham and (B) Wafer Bay.

%. La razón de lo anterior son los procesos de convección profunda que se desarrollan en la región tropical asociados a la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT). Según estos autores, lo anterior explica que el flujo de energía neto a nivel superficial sea muy pequeño en las regiones circundantes a la isla, ya que mucha de la energía que alcanza el océano es luego cedido a la atmósfera suprayacente en forma de calor latente o transportado por las corrientes oceánicas.

La exposición a la radiación UV para el promedio de días despejados es considera

alta desde las 9:30 a las 14:30 en Chatham y desde las 10:00 a las 14:30 en Wafer (Cuadro 2, Fig. 4). Para el día más despejado el ámbito es de 9:00 a 15:00 en Chatham y 9:00 a 14:30 en Wafer.

Al comparar el promedio del índice UV entre días despejados y nublados, se produce una reducción en el ámbito de 42 a 80 % en Chatham y de 40 a 72 % en Wafer, en presencia de nubosidad (Fig. 5). Para el caso del día más despejado y más nublado la reducción en el IUV es aún mayor, el rango va de 75 a 95 % en Chatham y de 42 a 85 % en Wafer.

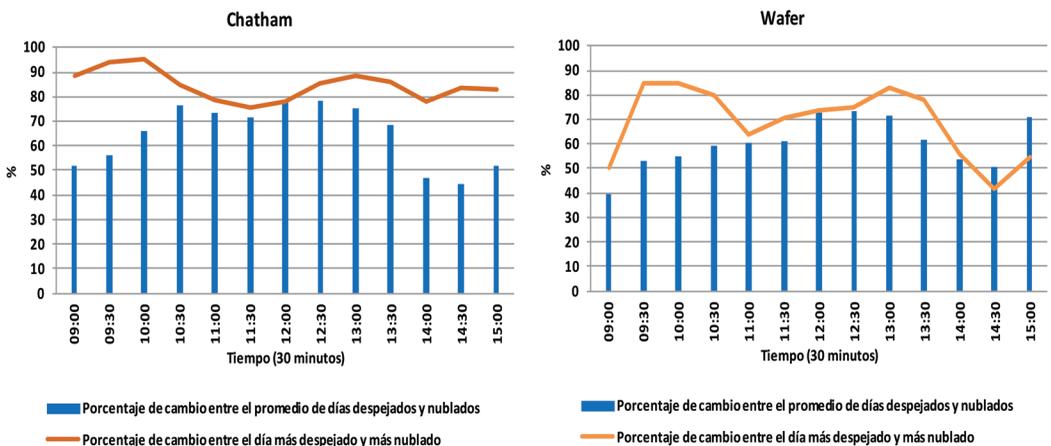


Fig. 5. Porcentaje de reducción del índice en presencia de nubes para Chatham y Wafer.  
 Fig. 5. Percentage reduction rate in the presence of clouds for Chatham and Wafer.

## DISCUSIÓN

Los resultados muestran que el uso del IUV, el cuál es un valor estandarizado, facilita la interpretación en términos de peligrosidad de exposición para los seres vivos (WHO, 2003). Si bien es cierto, las observaciones realizadas por los sensores UV usados en estas expediciones han sido utilizados principalmente para cuantificar la radiación UV que afecta la piel humana y dependiendo del tipo de piel de cada individuo, el IUV también es un indicativo de la cantidad de radiación UV recibida en la superficie de la tierra, por lo que un cambio en ésta también serviría para detectar posibles efectos sobre la vida marina.

Nótese que al estar la isla en una latitud cercana al ecuador, 5.5° N aproximadamente, la variación estacional debido a la traslación terrestre es pequeña y la incidencia superficial de radiación está ligada principalmente a las variaciones estacionales de la nubosidad (Alfaro, 2008), asociada con la migración meridional de la ZCIT (Amador et al., 2006). Esto es muy importante para los organismos que viven en los arrecifes de coral, el más importante ecosistema marino protegido por el Parque Nacional Isla del Coco (Cortés, 2012).

Se encontró que el equipo usado, permite la identificación de eventos con valores considerados con una categoría de exposición calificada como extremadamente alta durante las expediciones realizadas, principalmente por su latitud cercana al ecuador y esto es importante debido a los efectos de la radiación UV sobre la vida en general. Dicha información podría ser útil para la comprensión y modelado de la dinámica de los ecosistemas. Para ello el establecimiento de un programa sistemático de monitoreo a largo plazo, podría ser establecido e incluido dentro de programas relacionados con el cambio climático.

Por otro lado, la biodiversidad y los ecosistemas protegidos en la Isla del Coco, dan lugar a una de sus actividades económicas más importantes, el turismo (Moreno-Díaz, 2012), donde la sistematización de los ingresos brutos por las actividades económicas en este parque

nacional en el 2010 fue de aproximadamente 8 millones de dólares estadounidenses. Al ser el turismo una actividad que se realiza en general a la intemperie, la información del IUV es valiosa para los tour operadores y visitantes ocasionales, ya que puede hacerse fácil de entender por parte de los usuarios por medio de alguna codificación de colores de sus categorías. Esta codificación a través de colores para la intensidad del IUV ya existe y al igual que el MED, es internacional. Ejemplos de ello lo encontramos a nivel nacional por parte del IMN de Costa Rica (ver <http://imn.ac.cr/>) o en Europa por el Laboratorio de atmósfera y energía (ver <https://www5.uva.es/laten/index.php/es/solaruv>), además de que es útil para las labores operacionales efectuadas por los guarda recursos destacados en la isla, pudiendo ser incorporado en programas de salud laboral. La OMS destaca que los estudios sobre la radiación solar UV y su medición en estas localidades son muy necesarios, además de que la información al público sobre este aspecto es una acción altamente recomendada (WHO, 2003).

## AGRADECIMIENTOS

El estudio se realizó dentro del marco de los siguientes proyectos de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica: 808-B0-654 (apoyado por FEES-CONARE), 808-A9-180, 808-A9-902, 808-B5-298, 805-A9-532 (apoyado por CSUCA-ASDI), 805-B3-600 (apoyo del fondo de estímulo UCR), 805-B3-413 (apoyado por CI), 805-B0-065, 805-B4-227. A Alberto Salazar por todo su apoyo logístico antes, durante y después de las expediciones a la Isla del Coco, así como al personal científico y de apoyo participante que colaboró con el transporte y la instalación de las estaciones meteorológicas.

## RESUMEN

La energía proveniente del sol que incide sobre la superficie de la tierra consta principalmente de radiación infrarroja, visible y UV. La radiación UV, abarca el

intervalo de longitudes de onda de 100 a 400nm y, debido a los efectos biológicos que origina sobre los seres vivos, se recomienda su estudio y medición por parte de la Organización Mundial de la Salud. El uso de estaciones automáticas Davis modelo Vantage Pro Plus/Vantage Pro2 Plus, permitió la realización de mediciones de radiación UV, utilizando un sensor modelo 6490, en la Isla del Coco, Costa Rica, ubicada en el Pacífico Tropical del Este. Las estaciones se instalaron cerca de las bahías de Chatham (5°32'51" N - 87°02'43" W, 142m.s.n.m) y Wafer (5°32'24" N - 87°03'26" W, 132m.s.n.m). Los periodos de medición fueron: 5-11 abril 2008, 1-6 marzo 2009, 22-27 abril 2010, 2-8 julio 2011 y 15-21 marzo 2012. Los datos se analizaron para los días considerados como más nublados y más despejados e interpretados por medio del Índice Ultravioleta (IUV), el cual es un valor estandarizado que permite su fácil interpretación en términos de peligrosidad de exposición para los seres vivos, especialmente para los organismos que viven en los arrecifes de coral, el más importante ecosistema marino protegido por el Parque Nacional Isla del Coco. La amplitud máxima del promedio del IUV en Chatham pasa de 14 para días despejados a 3 en días nublados, mientras que para el valor máximo del día más despejado con respecto al más nublado este pasa de 16 a 4. En Wafer, la amplitud máxima promedio del IUV disminuye de 12 a 4 y en el caso del día más despejado con respecto al más nublado, el valor máximo pasa de 14.2 a 3.0. La exposición a la radiación UV para el promedio de días despejados es considera alta desde las 9:30 a las 14:30 en Chatham y desde las 10:00 a las 14:30 en Wafer, mientras que para el día más despejado el ámbito es de 9:00 a 15:00 en Chatham y 9:00 a 14:30 en Wafer. Se encontró que el equipo usado, permite la identificación de eventos con valores considerados con una categoría de exposición calificada como extremadamente alta durante las expediciones realizadas. Dicha información no sólo podría ser útil para la comprensión y modelado de la dinámica de los ecosistemas, sino que además es valiosa para las labores operacionales efectuadas por los guarda recursos destacados en la isla y para el sector turismo.

**Palabras clave:** Índice Ultravioleta, Isla del Coco, Costa Rica, Pacífico Tropical del Este.

## REFERENCIAS

Alfaro, E. (2008). Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56(Suplemento 2), 19-29.

Amador, J. A., Alfaro, E. J., Lizano, O. G., & Magaña, V. O. (2006). Atmospheric forcing in the Eastern Tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69, 101-142.

Anderson, S. L., Machula, J., Cherr, G., Zepp, R. G., Santavy, D. L., Hansen, L. J., & Mueller, E. (2001).

Indicators of UV exposure in corals and their relevance to global climate change and coral bleaching. *Human and Ecological Risk Assessment*, 7(5), 1271-1282.

Bilbao, J., Román, R., Yousif, Ch., Mateos, D., & De Miguel, A. (2014). Total ozone column, water vapour and aerosol effects on erythral and global solar irradiance in Marsaxlokk, Malta. *Atmospheric Environment*, 99, 508-518.

Brown, B. E., Dunne, R. P., Scoffin, T. P., & Le Tissier, M. D. A. (1994). Solar damage in intertidal corals. *Marine Ecology-Progress Series*, 105(3), 219-230.

Cañarte, C., Salum, G., Ipiña, A., & Piacentini, R. (2011). Índice ultravioleta como indicador de riesgo en la piel. *Dermatología Ibero-Americana On line*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/46182372/Indice-UV-un-indicador-del-riesgo-solar-en-la-piel>

Coles, S. L., & Leapy, D. G. (1998). Ultra-violet absorbing compounds and tumorous growths on acropoid corals from Bandar Khayran, Gulf of Oman, Indian Ocean. *Coral Reefs*, 17, 195-198.

Correa, T., Salazar, G. A., Marín-Fernández, M. J., Utrillas, P., Martínez-Lozano, J. A., Fernández, C. A., & Sulligoy, H. C. (2013). Análisis de los efectos de valores extremos de irradiancia UV eritematica en la ciudad de Salta. *Energías Renovables y Medio Ambiente*, 1, 11.79-11.84.

Cortés, J. (2012). Marine biodiversity of an Eastern Tropical Pacific oceanic island, Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 60(Suplemento 3), 131-185.

Drohan, A. F., Thoney, D. A., & Baker, A. C. (2005). Synergistic effect of high temperature and ultraviolet-B radiation on the gorgonian coral *Eunicea tournefortii* (Alcyonaria: Gorgonacea: Plexauridae). *Bulletin of Marine Science*, 77, 257-266.

Gleason, D. F., & Wellington, G. M. (1993). Ultraviolet radiation and coral bleaching. *Nature*, 365, 836-838.

Gleason, D., Edmunds, P., & Gates, R. (2006). Ultraviolet radiation effects on the behavior and recruitment of larvae from the reef coral *Porites astreoides*. *Marine Biology*, 148, 503-512.

Guzmán, H. M., & Cortés, J. (2007). Reef recovery 20 years after the 1982-83 El Niño massive mortality. *Marine Biology*, 151, 401-411.

Guzmán, H. M., Cortés, J., Richmond, R. H., & Glynn, P. W. (1987). Efectos del fenómeno de "El Niño-Oscilación Sureña" 1982/83 en los arrecifes de la Isla del Caño, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 35, 325-332.

Hockberger, P. E. (2002). A history of ultraviolet photobiology for humans, animals and microorganisms. *Photochemistry and Photobiology*, 76, 561-579.



- Kuffner, I. B. (2001a). Effects of ultraviolet (UV) radiation on larval settlement of the reef coral *Pocillopora damicornis*. *Marine Ecology Progress Series*, 217, 251-261.
- Kuffner, I. B. (2001b). Effects of ultraviolet radiation and water motion on the reef coral *Porites compressa* Dana: a flume experiment. *Marine Biology*, 138, 467-476.
- Kuffner, I. B. (2002). Effects of ultraviolet radiation and water motion on the reef coral, *Porites compressa* Dana: a transplantation experiment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 270, 147-169.
- Lesser, M. P. (2011). Coral Bleaching: Causes and Mechanisms. In Z. Dubinsky & N. Stambler (Eds.), *Coral Reefs: An Ecosystem in Transition* (pp. 405-419), New York, USA: Springer. DOI 10.1007/978-94-007-0114-4\_23.
- Lesser, M. P., & Farrell, J. H. (2004). Exposure to solar radiation increases damage to both host tissues and algal symbionts of corals during thermal stress. *Coral Reefs*, 23(3), 367-377.
- Liñán-Cabello, M. A., Flores-Ramírez, L. A., Cobo-Díaz, J. F., Zenteno-Savín, T., Olguín-Monroy, N. O., Olivos-Ortiz, A., & Tintos-Gómez, A. (2010). Response to short term ultraviolet stress in the reef-building coral *Pocillopora capitata* (Anthozoa: Scleractinia). *Revista de Biología Tropical*, 58(1), 103-118.
- McKinlay, A. F., & Diffey, B. L. (1987). A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. *CIE Journal*, 6(1), 17-22.
- Moreno-Díaz, M. L. (2012). Actividades socioeconómicas en el Parque Nacional Isla del Coco, Costa Rica y posibles efectos de la variabilidad climática. *Revista de Biología Tropical*, 60(Suplemento 3), 113-129.
- Reef, R., Kaniewska, P., & Hoegh-Guldberg, O. (2009). Coral skeletons defend against Ultraviolet Radiation. *PLoS ONE*, 4(11), 1-6.
- Román, R. D. (2010). *Efectos de los componentes atmosféricos sobre la radiación eritemática y modelo propuesto para la reconstrucción de series*. (Tesis inédita de maestría). Universidad de Valladolid, España.
- Vanicek, K., Frei, T., Litynska, Z., & Schnalwieser, A. (2000). *UV-Index for the public, A guide for publication and interpretation of solar UV Index forecasts for the public prepared by the Working Group 4 of the COST-713 Action*. Recuperado de [http://www.uv-index.ch/images/Leitfaden\\_COST-713.pdf](http://www.uv-index.ch/images/Leitfaden_COST-713.pdf)
- Wellington, G. M., & Fitt, W. K. (2003). Influence of UV radiation on the survival of larvae from broadcast-spawning reef corals. *Marine Biology*, 143, 1185-1192.
- World Health Organization. (WHO). (2003). Global solar UV index. A practical guide. Recuperado de <http://www.who.int/uv/publications/en/UVIGuide.pdf>
- World Health Organization. (WMO). (2008). *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation WMO-No. 8*. Ginebra, Suiza: World Meteorological Organization.