

App to estimate the ultraviolet index in real time in the region of Puno, Peru

Ciro William Taipe Huaman¹, Eva Genoveva Mendoza Mamani², Julio Rumualdo Gallegos Ramos¹, Hugo Hernan Flores Laime³, Vitaliano Enriquez Mamani¹, Jhon Richard Huanca Suaquita¹, Matias Huillca Arbieto²

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, jgallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe, jr.huanca@unaj.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe, mhuillca@unap.edu.pe

³Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

Abstract– The objective of this research was to develop a mobile application to estimate the values of the ultraviolet index in real time using a theoretical model and the light sensor of the cell phone. For which an application is developed in Android Studio. The correlation and standard error statistics are considered for the validation of the measurements and a portable meter, to compare the measurements in real time in the city of Puno. Considerable results were obtained during the year 2021 considering the four seasons of the year. Where a data correlation of 0.99 was obtained between the data estimated by the cell phone with respect to the data measured by the GD-UV06 UV meter and a maximum average standard error of 0.521. Concluding that it is possible to estimate ultraviolet index values through the use of a cell phone and mobile App in real time.

Keywords-- Mobile App, ultraviolet index, light sensor, cell phone, solar radiation.

App para estimar el índice ultravioleta en tiempo real en la región de Puno, Perú

Ciro William Taipe Huaman¹, Eva Genoveva Mendoza Mamani², Julio Rumualdo Gallegos Ramos¹, Hugo Hernan Flores Laime³, Vitaliano Enriquez Mamani¹, Jhon Richard Huanca Suaquita¹, Matias Huillca Arbieto²

¹Universidad Nacional de Juliaca, Perú, c.taipe@unaj.edu.pe, jgallegos@unaj.edu.pe, v.enriquezm@unaj.edu.pe, jr.huanca@unaj.edu.pe

²Universidad Nacional del Altiplano, Perú, emendoza@unap.edu.pe, mhuillca@unap.edu.pe

³Universidad Nacional Intercultural de Quillabamba, Perú, hugo.flores@uniq.edu.pe

Abstract– *The objective of this research was to develop a mobile application to estimate the values of the ultraviolet index in real time using a theoretical model and the light sensor of the cell phone. For which an application is developed in Android Studio. The correlation and standard error statistics are considered for the validation of the measurements and a portable meter, to compare the measurements in real time in the city of Puno. Considerable results were obtained during the year 2021 considering the four seasons of the year. Where a data correlation of 0.99 was obtained between the data estimated by the cell phone with respect to the data measured by the GD-UV06 UV meter and a maximum average standard error of 0.521. Concluding that it is possible to estimate ultraviolet index values through the use of a cell phone and mobile App in real time.*

Keywords– *Mobile App, ultraviolet index, light sensor, cell phone, solar radiation.*

Resumen– *En esta investigación se tuvo como objetivo desarrollar una aplicación móvil para estimar los valores del índice ultravioleta en tiempo real mediante un modelo teórico y el sensor de luz del teléfono celular. Para lo cual se desarrolla una aplicación en Android Studio. Se consideran las estadísticas de correlación y error estándar para la validación de las mediciones y un medidor portátil, para comparar las mediciones en tiempo real en la ciudad de Puno. Se obtuvieron resultados considerables durante el año 2021 considerando las cuatro estaciones del año. Donde se obtuvo una correlación de datos de 0.99 entre los datos estimados por el celular con respecto a los datos medidos por el medidor UV GD-UV06 y un error estándar promedio máximo de 0.521. Concluyendo que es posible estimar valores de índice ultravioleta mediante el uso de un celular y App móvil en tiempo real.*

Palabras claves– *Aplicación móvil, índice ultravioleta, sensor de luz, teléfono celular, radiación solar.*

I. INTRODUCCIÓN

Los teléfonos móviles, especialmente los teléfonos inteligentes se están desarrollando rápidamente en los últimos años y se están convirtiendo en los dispositivos centrales de comunicación y computación en la vida diaria de las personas. Junto con el desarrollo de los teléfonos móviles, el desarrollo de aplicaciones móviles APPs también ha ganado mucha popularidad debido a su conveniencia [1], [2]. Buller et al. [3] afirma que los teléfonos inteligentes móviles están emergiendo

rápidamente como un medio efectivo de comunicación. Usando aplicaciones móviles, pueden acceder a bases de datos remotas, rastrear el tiempo y la ubicación.

En la actualidad, la información de los valores del índice ultravioleta (UV) se obtiene de las bases de datos proporcionadas en la web, como la que ofrece el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), que son valores promedio diarios para grandes regiones, que difieren de los valores estimados en tiempo real, Debido a las características del lugar, el tipo de clima que se produce. La otra forma de obtener valores de índice UV es mediante aplicaciones móviles que proporcionan datos de bases de datos web, también son valores estimados promedio que difieren de las mediciones en tiempo real, porque estos valores se estiman para áreas grandes y no se consideran la nubosidad que puede ocurrir en el lugar. También hay aplicaciones que se basan en la cámara del teléfono celular que no depende de ninguna base de datos, solo en la información proporcionada por la imagen, la dificultad es que no puede estimar los valores del índice UV, cuando estas imágenes no se toman de la manera adecuada [4]. También hay aplicaciones basadas en el uso del sensor de luz del teléfono celular que, para estimar el valor del índice UV, utiliza un factor de proporcionalidad con la radiación solar global, lo que dificulta la estimación del índice UV [5], debido a que esta proporcionalidad es para los valores promedio diarios del índice UV, que difiere de las estimadas en tiempo real, considerando que la intensidad de la radiación solar varía durante el día. La otra forma de obtenerlo es a través de instrumentos de medición como espectroradiómetros e instrumentos portátiles de medición del índice UV, cuyo resultado es extremadamente preciso, el inconveniente es que los ciudadanos no tienen acceso al uso de estos instrumentos.

La radiación solar UV tiene efectos nocivos sobre la salud de los seres humanos, en la piel la radiación UV causa envejecimiento prematuro, reacciones de tipo alérgicas, como foto-queratitis [6], cáncer en la piel [7]. En los ojos causa cataratas [8] y afecta al sistema inmunológico [9]. El efecto más común de la sobreexposición a la radiación solar es la quemadura solar o eritema, que aparece 10-16 horas después de la exposición al sol [10]. Los efectos en la naturaleza como en la agricultura y la vida acuática se presentan en las plantas y peces [11], en la vegetación afecta en su crecimiento [12], [13], en la conservación y durabilidad de materiales como el plásticos y la pintura [14]–[18].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).

ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).

DO NOT REMOVE

Por ello se plantea el objetivo de implementar una app móvil para estimar en tiempo real los valores confiables de índice ultravioleta. Esta información del nivel de índice UV, permita al usuario del Smartphone tomar precauciones con respecto a la exposición prolongada de la radiación solar. Con la finalidad de contribuir en la prevención de enfermedades por causa de la sobre exposición a la radiación solar prolongada.

II. MÉTODO Y MATERIALES

A. Cálculo de índice ultravioleta para cielos despejados

Para estimar la irradiancia directa espectral en el suelo se considera la ecuación (1)

$$I_{n\lambda} = I_{on\lambda} E_o \tau_r(\lambda) \tau_a(\lambda) \tau_o(\lambda) \quad (1)$$

Donde $I_{on\lambda}$ es la constante solar espectral a la distancia media Tierra Sol, E_o es el factor de corrección para la distancia Tierra-Sol, λ longitud de onda, $\tau_r(\lambda)$ transmitancia por la dispersión de Rayleigh, $\tau_a(\lambda)$ transmitancia espectral del aerosol atmosférico y $\tau_o(\lambda)$ transmitancia para el ozono [19], [20], los cuales se pueden estimar de la forma siguiente.

Transmitancia por la dispersión de Rayleigh se define como sigue:

$$\tau_r(\lambda) = e^{-0.008735\lambda^{-4.09}m_a} \quad (2)$$

donde m_a es la masa de aire relativa a la presión actual.

Transmitancia espectral del aerosol atmosférico definido como sigue:

$$\tau_a(\lambda) = e^{-\beta\lambda^{-\alpha}m_a} \quad (3)$$

Donde β es el coeficiente de turbiedad atmosférica, α es valor estrechamente relacionado con el tamaño y forma de la distribución de las partículas.

Transmitancia para el ozono se define de la forma:

$$\tau_o(\lambda) = e^{-k_{o\lambda}m_o} \quad (4)$$

Donde: $k_{o\lambda}$ es el coeficiente de atenuación para la absorción del ozono, m_o es la masa de aire óptico relativa para el ozono y l es el espesor de capa de ozono [21], [22].

Para estimar la irradiancia difusa espectral en el suelo se calcular con la ecuación (5)

$$I_{d\lambda} = I_{dr\lambda} + I_{da\lambda} + I_{dm\lambda} \quad (5)$$

Donde $I_{dr\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh, $I_{da\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producida por los aerosoles y $I_{dm\lambda}$ es la irradiancia difusa espectral producido por múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera [19], los cuales se calculan de la forma siguiente.

La irradiancia difusa espectral producida por la dispersión de Rayleigh

$$I_{dr\lambda} = I_{on\lambda} \cos\theta_z \tau_{o\lambda} [0.5(1-\tau_{r\lambda})\tau_{a\lambda}] \quad (6)$$

Donde θ_z , es el ángulo cenital del lugar.

La irradiancia difusa espectral producida por los aerosoles se calcula por la ecuación (7).

$$I_{da\lambda} = I_{on\lambda} \cos\theta_z \tau_{o\lambda} [F_c w_o (1-\tau_{a\lambda})\tau_{r\lambda}] \quad (7)$$

Donde F_c se define como el cociente entre la energía dispersada en la dirección entrante y la energía dispersada total, w_o es la dispersión simple del albedo.

La irradiancia difusa espectral producido por múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera se estima mediante la ecuación (8).

$$I_{dm\lambda} = Q_\lambda \left(\frac{\rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right) \quad (8)$$

Donde Q_λ es la irradiación difusa resultante de múltiples reflexiones entre el suelo y la atmósfera, $\rho_{a\lambda}$ es el albedo de la atmósfera y $\rho_{g\lambda}$ albedo del suelo.

Considerando las ecuaciones (6), (7) y (8) se obtiene la ecuación (9) para estima la irradiancia difusa espectral [23].

$$I_{d\lambda} = (I_{dr\lambda} + I_{da\lambda}) \frac{1}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} + I_{n\lambda} \cos\theta_z \left(\frac{\rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}}{1 - \rho_{g\lambda} \rho_{a\lambda}} \right) \quad (9)$$

La irradiancia ultravioleta global espectral en una superficie horizontal se calcula por medio de la ecuación (10)

$$I_\lambda = I_{n\lambda} \cos\theta_z + I_{d\lambda} \quad (10)$$

El índice ultravioleta es definido utilizando el espectro de acción eritemática inducido por la radiación ultravioleta sobre la piel humana, formulada por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE).

$$IUV = k_{er} \int_{0.28}^{0.40} I_\lambda \varepsilon(\lambda) \quad (11)$$

Donde k_{er} es una constante igual a $40m^2/w$ y $\varepsilon(\lambda)$ es coeficiente de acción eritemática cuyo valores vienen dados por la ecuación (12) propuestos por Madronich y Flocke [24].

$$\varepsilon(\lambda) = \begin{cases} 1 & , \lambda \leq 0.298\mu m \\ 10^{0.094(298-1000/\lambda)} & , 0.298\mu m < \lambda \leq 0.328\mu m \\ 10^{0.015(139-1000/\lambda)} & , 0.328\mu m < \lambda \leq 0.400\mu m \end{cases} \quad (12)$$

B. Cálculo de radiación solar por el sensor de luz

El sensor de luz ambiental puede dar una medida precisa de la irradiancia solar en lux. La unidad convencional para la irradiancia solar es el watt por metro cuadrado. Por lo tanto, se convierte la unidad de lux utilizado la ecuación (13) ya que no hay una relación directa entre estas dos unidades.[5]

$$I_{lux} = K_m \int I_{watt} V(\lambda) d\lambda \quad (13)$$

Donde I_{lux} es la irradiancia solar en unidades de lux, I_{watt} es la correspondientes irradiación solar en unidad de watt, $V(\lambda)$

es la función de respuesta visual normalizada a un valor pico, y K_m es la eficacia luminosa, que sirve como el factor de escala que lleva el valor y las unidades adecuadas para $V(\lambda)$. Para la función de respuesta fotónica, K_m es 683 lúmenes/watt, lo que corresponde al pico de $V(\lambda)$ a una longitud de onda de 555nm considerando la luz solar como monocromática por simplicidad [5]. Ajustando la ecuación, se obtiene.

$$I_{watt} = \frac{I_{lux}}{K_m} \quad (14)$$

Usando los valores apropiados para $K_m = 120$ la irradiación solar en watt por metros cuadrados.

De acuerdo a Iqbal [19] la luz visible a nivel del suelo con el sol en su cenit es el 44% de la radiación solar global incidente sobre la superficie terrestre.

C. Desarrollo de la app móvil

La app móvil se desarrolló en Android Studio utilizando las relaciones para estimar el índice UV en tiempo real, utilizando datos medidos del índice UV para la ciudad de Puno.

1) *Calculo de la relación de índice UV y la radiación solar:* Para realizar el cálculo de la relación, se considera mediciones del año 2021 para la ciudad de Puno, en condiciones de cielos despejados para un mejor ajuste de la ecuación, en la figura 1 se muestra algunos datos de estación meteorológica de DAVIS VANTAGE PRO 2 PLUS [25] de la escuela profesional de Ciencias Físico Matemáticas utilizados para el ajuste de la relación (15).

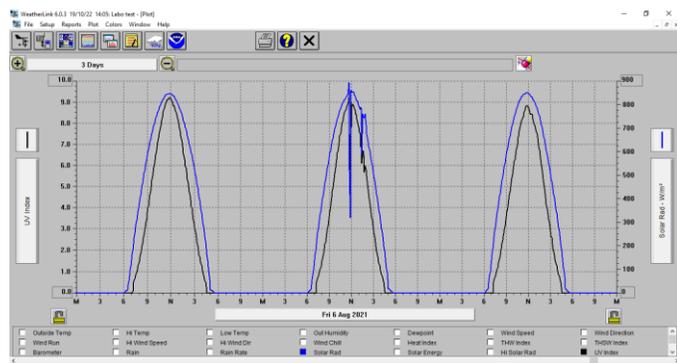


Fig. 1 Datos de índice UV y radiación solar

El ajuste de los datos se ha realizado en el software origen, el cual se muestra en la figura 2, donde se observa el comportamiento no lineal, pero se va considerar una relación polinomial entre los datos de radiación solar e índice UV para cielos despejados.

Para calcular valores de índice UV en función a la radiación solar se utiliza la ecuación (15).

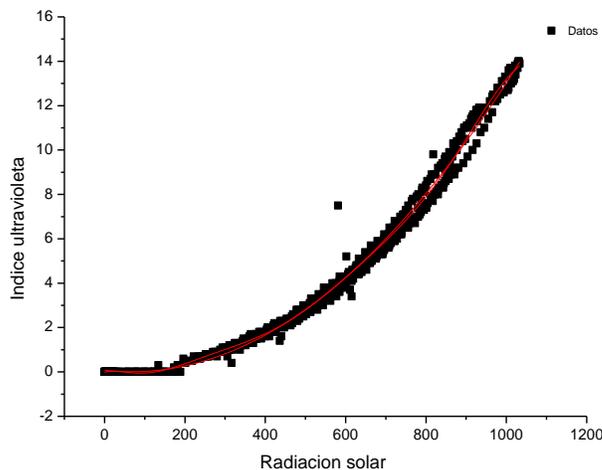


Fig. 2 Relación de índice UV y radiación solar

La ecuación que relación de radiación solar e índice ultravioleta

$$I = 0.07646 - 0.00202R + 0.0000149757R^2 \quad (15)$$

Donde I es la índice UV estimado, R , es la radiación solar, el modelo de regresión tiene un coeficiente de correlación 0.9925.

2) *Estructura de la aplicación móvil:* Solo requiere de un celular de gama alta, para poder adquirir datos de forma interna como: intensidad de luz en unidades lux, latitud del lugar en grados, hora y número del día juliano, como se muestra en la figura 3.

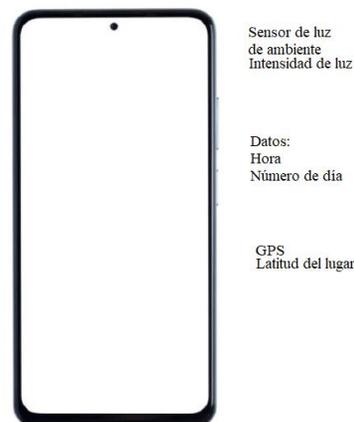


Fig. 3 Celular de gama alta con datos requeridos

3) *Acciones que puede realizar la aplicación:* se muestra en el diagrama de caso de uso la cual se muestra en figura 4. Como acción principal es calcular el índice UV, acciones consecuentes, informar sobre las precauciones a tomar por el usuario para su protección y la información sobre la aplicación.

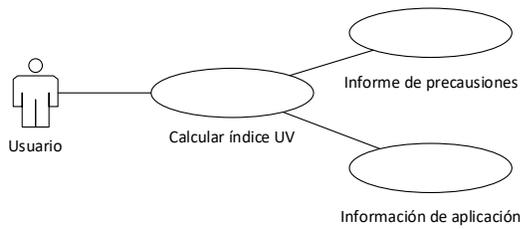


Fig. 4 Diagrama de caso de uso

4) *Los datos obtenidos del celular:* Es la intensidad de luz, hora, día y posición geográfica. Se ha utilizado el celular Huawei P40 pro [27]. Con Sistema Android 10, interfaz de fabricante EMUI 10 y sensores Acelerómetro, Brújula, Giroscopio, Lector de huella dactilar en lateral, Luz ambiente, Proximidad. En esta investigación se utiliza el sensor de luz ambiente.

5) *Generación del algoritmo para calcular índice UV en condiciones de cielo despejado:* Se consideran las ecuaciones (1) al (11) para el cálculo de índice UV. Algoritmo que calcula el índice ultravioleta para cielos despejados [26].

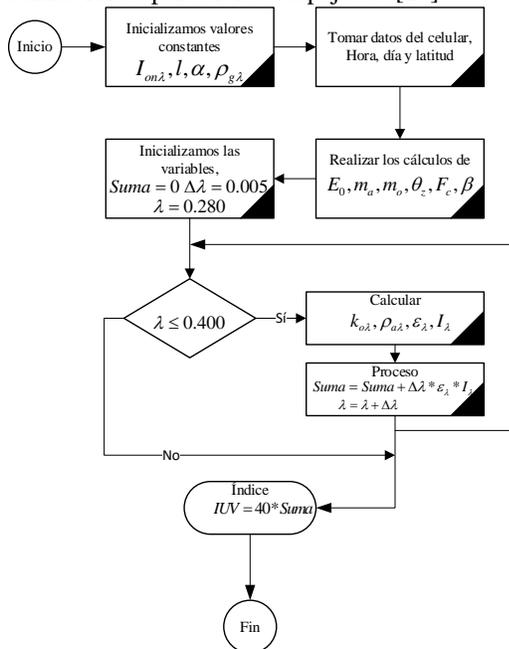


Fig. 5 Diagrama de flujo para cielos despejados

6) *Implementación del algoritmo que calcula índice UV con sensor:* que calcular índice UV en función a los datos obtenidos del sensor de luz, se muestra en figura 6 un diagrama de flujo del proceso de cálculo del índice ultravioleta, se inicializa el app móvil desarrollado en Android Studio, luego la aplicación mide la intensidad de luz ambiente para luego estimar el índice ultravioleta en función a la ecuación (14) y (15), para luego imprimir en pantalla el valor estimado [28].

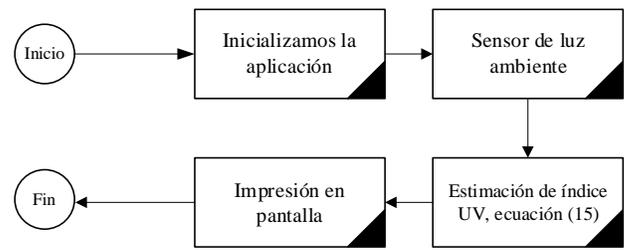


Fig. 6 Diagrama de flujo de cálculo del índice UV con sensor de luz

7) *Implementación en Android Studio:* Se muestra en la figura 7. La implementación de la aplicación móvil se desarrolló mediante la metodología de desarrollo de aplicaciones móviles, el cual se muestra en el trabajo de Mantilla, Ariza y Delgado [29] donde se consideran cinco pasos a seguir los cuales son: Análisis de requerimientos, diseño, desarrollo, prueba de funcionamiento y entrega de producto.

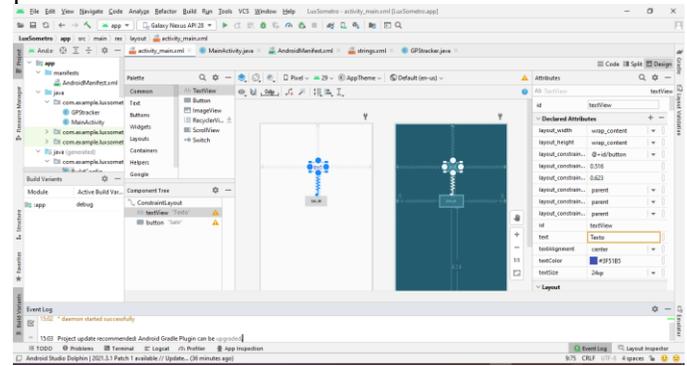


Fig. 7 Desarrollo en Android Studio

D. Validación de los valores de índice ultravioleta calculados

1) *Toma de datos:* Se ha realizado en la región de Puno con APP móvil e instrumento portátil. Para la toma de datos se ha considerado la app móvil y el medidor de índice UV en diferentes espacios geográficos de la región de Puno considerando la tabla I, como puntos de referencia para la toma de datos.

TABLA I

DATOS DE POSICIÓN DE CIUDAD DE PROVINCIAS DE LA REGIÓN DE PUNO

N°	Provincia	Ciudad	Latitud	Longitud
1	Azángaro	Azángaro	14°55'1.9" S	70°11'25.7" W
2	Carabaya	Cruceiro	14°21'51.1" S	70°1'33.3" W
3	Chucuito	Juli	16°12'13.392" S	69° 27' 36.140" W
4	El Collao	Ilave	16°3'35.8" S	69°38'25.4" W
5	Huancané	Huancané	15°12'24.7" S	69°45'29.9" W
6	Lampa	Lampa	15°21'39.9" S	70°22'27" W
7	Melgar	Santa Rosa	14°37'4.1" S	70°47'34" W
8	Moho	Moho	15°23'17.15" S	69°29'3.09" W
9	Puno	Puno	15°49'34.5" S	70°0'43.5" W
10	San Antonio de Putina	Putina	14°55'15.6" S	69°52'32.5" W
11	San Román	Juliaca	15°26'38.94" S	70°12'28.02" W
12	Sandia	Cuyo Cuyo	14°29'19.83" S	69°33'.13" W
13	Yunguyo	Yunguyo	16°18'28.2" S	69°4'29" W

2) *Instrumento de medida de índice UV*: Sea utilizado medidor de rayos UV, de marca Aliexpress medidor UV GD-UV06, el cual se utiliza para la medición de índice UV en tiempo real y de esta forma realizar la validación de los valores medidos por app móvil. El medidor de UV se muestra en la figura 8 el cual tiene una presentación de un llavero, lo cual facilita su uso [30].



Fig. 8 Medidor UV GD-UV06

3) *Tratamiento de datos*: los datos fueron registrado en intervalos de 20min durante el intervalo de 11:00am a 13:00pm, y almacenado en tablas de tiempo e índice UV medido por app móvil y medidor de índice UV para la región de Puno, para realizar los respectivos análisis.

4) *Cálculo del coeficiente de correlación de datos*: se utiliza los estadísticos de evaluación, el error estándar promedio (RMSE), el error medio (MBE), llamado también sesgo o desviación, coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de correlación (r) es para medir la relación lineal entre los valores medidos por la app móvil con respecto a los obtenidos por el medidor UV GD-UV06 [31]. Están dados por las siguientes ecuaciones:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (I_{mi} - I_{si})^2}{n} \right]^{1/2} \quad (16)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (I_{mi} - I_{si})}{n} \quad (17)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})(I_{si} - \bar{I}_{si}) \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^n (I_{mi} - \bar{I}_{mi})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (I_{si} - \bar{I}_{si})^2 \right]} \quad (18)$$

$$r = \sqrt{R^2} \quad (19)$$

Donde: I_{mi} es el dato medido por medidor UV GD-UV06, I_{si} es el dato obtenido por la App móvil, \bar{I}_{mi} es el promedio de los datos medidos por medidor UV, \bar{I}_{si} es el promedio de los datos obtenidos por App móvil y n es el número total de observaciones [32].

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A. App móvil para la estimar valores de índice ultravioleta en tiempo real.

Para ingresar a la aplicación se tiene que identificar el icono que representa medidor índice UV, el cual se muestra en la figura 9, el icono está representado mediante una representación del astro sol, el cual indica el nivel de índice ultravioleta incidente solo el lugar.



Fig. 9 Icono de App móvil medidor de índice UV

En la figura 10 (a) se muestra la pantalla principal de la aplicación donde se visualiza la estimación de índice ultravioleta. Primero se indica los niveles de índice ultravioleta según la Organización Mundial de la Salud (OMS), para luego mostrar lo estimado por la aplicación y las opciones de precauciones, información de APP y la opción salir de la aplicación. Al presionar precauciones nos lleva a otra pantalla en el cual se muestra las precauciones a tomar para prevenir lesiones en la piel como lo recomienda la OMS, lo cual se muestra en la figura 10(b), se tiene dos opciones volver a calcular el índice UV, o salir de la aplicación. Al presionar la opción información de APP nos muestra una pantalla donde se indica la forma como se calcula el índice ultravioleta mediante la aplicación figura 10(c), para que el usuario lo considere en las mediciones realizadas.

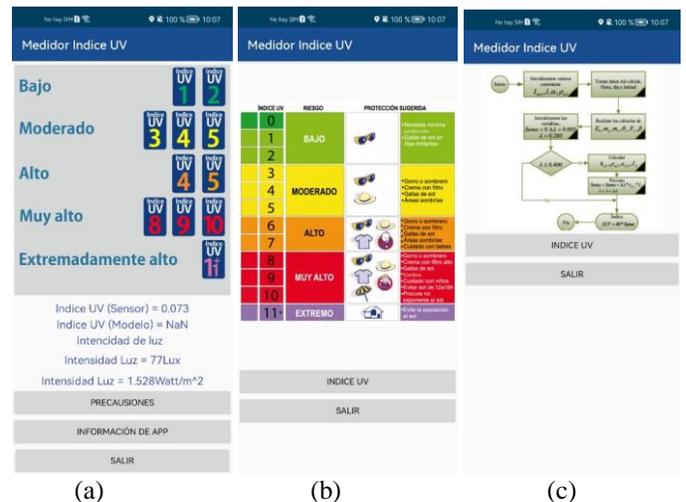


Fig. 10 Captura de pantalla de teléfono celular, (a)Cálculo de índice UV, (b) Precauciones a considerar, (c) información de la aplicación móvil

La aplicación muestra tres pantallas para que el usuario interactúe, considerando la importancia de la información de las precauciones que se debe tomar ante valores extremos de índice UV y la forma como es que se ha realizado las mediciones del índice ultravioleta. Se ha considerado las

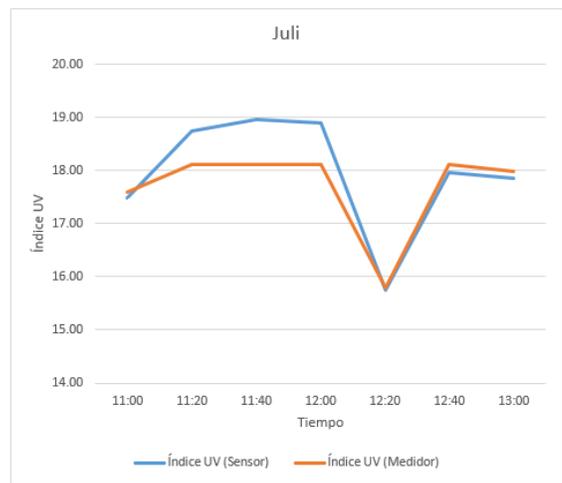
pantallas básicas considerando los trabajos similares [3] el cual muestra dos capturas de pantallas, una de la estimación de índice UV y la otra de la recomendaciones sobre la precauciones a tomar, mientras que [4] presenta tres capturas de pantallas, la primera para realizar la captura de foto, segundo para visualizar la foto a considerar y por último muestra el cálculo de radiación ultravioleta, [5] muestra tres capturas de pantallas, la primera captura es un pantalla principal en el cual muestra las opciones medir índice UV, realizar un test, Tutorial, luego muestra la estimación de intensidad de la radiación ultravioleta e índice UV sugiriendo el tiempo de exposición y en la tercera captura muestra la clasificación de piel según el color de la piel. La aplicación desarrollada muestra la información de índice UV y sugiera las precauciones a tomar según el nivel de índice UV, e informa sobre la forma como estima los valores, por ello cumple con la finalidad de informar sobre los valores de índice ultravioleta.

B. Validación de los valores de índice ultravioleta calculados por la app móvil con mediciones de instrumento portátil.

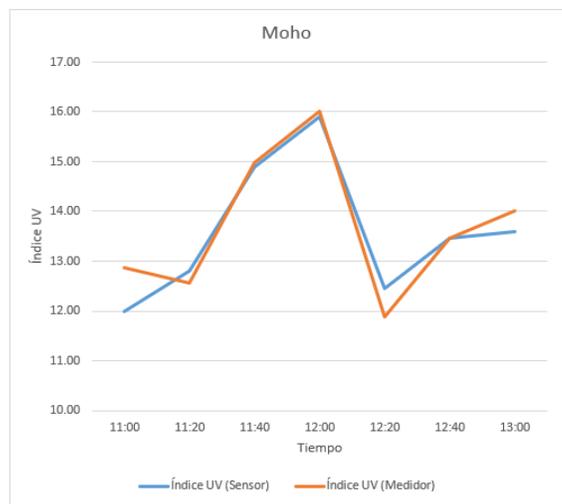
Para realizar la validación en la región de Puno, se ha considerado trece puntos geográficos, considerando las trece provincias de la región de Puno, como referencia los datos de la tabla I, para lo cual se ha utilizado la aplicación móvil de una primera versión el cual se muestra en la figura 11, donde se ha realizado las mediciones en el horario de 11 am a 13pm considerando que es el horario critico donde se presenta valores extremos de índice ultravioleta en la región de Puno [17], [18]. Se muestra en la figura 12 dos casos de muestreo para las provincias de Juli y Moho, los resultados de las mediciones y su análisis estadístico considerando las ecuaciones (16)-(19) se muestran en la tabla II, mostrando los resultados de análisis estadísticos de las trece provincias de la región de Puno. Y el comportamiento de las mediciones para Juli y Moho se presentan en la figura 12.



Fig. 11 Medidas en Juli y Moho



(a)



(b)

Fig. 12 Muestra de medida de valores de índice UV en: (a) Juli y (b) Moho

Para la recolección de datos en la región de Puno se utilizó varias marcas de celular como Honor, Huawei, Motorola, Poco, Redmi, Samsung Tecno y Xiaomi, ello porque se ha considerado las marcas de celular que los usuarios utilizan.

TABLA II
ESTADÍSTICOS DE MEDIDAS PARA REGIÓN DE PUNO DE ÍNDICE UV

Provincia	Lugar	RMSE	MBE	R ²	r	Cielo
Azángaro	Azángaro	1.36	0.99	0.43	0.66	C.D.
Carabaya	Macusani	0.97	0.76	0.94	0.97	C.N.
Chucuito	Juli	0.51	0.39	0.85	0.92	C.D.
El Collao	Ilave	1.04	0.74	0.92	0.96	C.D.
Huancané	Huancané	0.79	0.67	0.93	0.96	C.D.
Lampa	Lampa	1.46	1.24	0.72	0.85	C.N.
Melgar	Ayaviri	1.41	1.22	0.67	0.82	C.D.
Moho	Moho	0.65	0.56	0.84	0.91	C.N.
Puno	Puno	0.75	0.43	0.38	0.61	C:D
San Antonio de Putina	Putina	0.75	0.66	0.61	0.78	C.D.
San Román	Juliaca	0.59	0.52	0.97	0.99	C.N
Sandia	Sandia	0.71	0.53	0.95	0.97	C.N.
Yunguyo	Yunguyo	0.50	0.47	0.71	0.84	C.D.

Donde C.D es cielos despejados y C.N. es cielo nublado. La región de Puno se encuentra en el altiplano Peruano y parte de la ceja de selva, es por ello el alto nivel de índice UV, que ha medio día se presentan valores extremos de índice UV, como lo manifiesta [17] , y lo reafirma [22] mostrando valores extremos máximo en la temporada de verano, es por ello la importancia de realizar las mediciones para las trece provincias, mediante un instrumento en tiempo real como la aplicación desarrollada.

IV. CONCLUSIONES

Se logro obtener una App móvil desarrollado en Android Studio para medir el índice UV utilizando un modelo teórico y el sensor de luz ambiental del celular en tiempo real, con un error estándar promedio máximo de 0.521 y con coeficiente de correlación mayor a 0.99 con respecto a la medida del celular y el medidor UV GD-UV06, para días despejado y nublados. La limitación de la aplicación es que el celular tiene que están en una posición horizontal sin ningún obstáculo que distorsione la luz de sol para las medir con el sensor de luz, y la ecuación (15) es un ajuste estadístico que puede variar según la cantidad y lugar de los datos considerados.

REFERENCIAS

[1] C. Seeger, A. Buchmann, y K. Van Laerhoven, «MyHealthAssistant: A Phone-based body sensor network that captures the wearer's exercises throughout the day», *BODYNETS 2011 - 6th Int. ICST Conf. Body Area Networks*, pp. 1-7, 2012.

[2] N. D. Lane, E. Miluzzo, H. Lu, D. Peebles, T. Choudhury, y A. T. Campbell, «A survey of mobile phone sensing», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, n.º 9, pp. 140-150, 2010.

[3] D. B. Buller *et al.*, «Smartphone mobile application delivering personalized, real-time sun protection advice: A randomized clinical trial», *JAMA Dermatology*, vol. 151, n.º 5, pp. 497-504, 2015.

[4] B. Mei, W. Cheng, y X. Cheng, «Fog computing based ultraviolet radiation measurement via smartphones», *Proc. - 3rd Work. Hot Top. Web Syst. Technol. HotWeb 2015*, pp. 79-84, 2016.

[5] A. A. Ananno, A. A. Akash, y A. Rahman, «Development and Prototyping of an Android Based Mobile Application to Measure UV Intensity in Real Time Development and prototyping of an android based mobile application to measure UV intensity in real time», en *International Conference on Engineering Research and Education School of Applied sciences & Technology, SUST, Sylhet*, 2018, n.º January.

[6] C. Sordo y C. Gutiérrez, «Cáncer de piel y radiacion solar: Experiencia peruana en la prevencion y deteccion temprana del cáncer de piel y melanoma», *Rev. Peru. Med. Exp. Salud Publica*, vol. 30, n.º 1, pp. 113-117, 2013.

[7] R. P. Gallagher y T. K. Lee, «Adverse effects of ultraviolet radiation : A brief review», *Prog. Biophys. Mol. Biol.* 92, vol. 92, pp. 119-131, 2006.

[8] B. B. Lonsberry, E. Wyles, D. Goodwin, L. Casser, y N. Lingel, *Diseases of the Cornea*, Fifth Edit. Elsevier Inc., 2008.

[9] M. Norval, «The Effect of Ultraviolet Radiation on Human Viral Infections», *Photochem. Photobiol.*, vol. 82, n.º 6, pp. 1495-1504, nov. 2006.

[10] O. Torres *et al.*, «Aerosols and surface UV products from Ozone Monitoring Instrument observations: An overview», *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 112, n.º D24, dic. 2007.

[11] M. Sweet, N. Kirkham, M. Bendall, L. Currey, J. Bythell, y M. Heupel, «Evidence of melanoma in wild marine fish populations», *PLoS One*, vol. 7, n.º 8, ago. 2012.

[12] B. A. Kunz, D. M. Cahill, P. G. Mohr, M. J. Osmond, y E. J. Vonarx,

«Plant Responses to UV Radiation and Links to Pathogen Resistance», *Int. Rev. Cytol.*, vol. 255, n.º 06, pp. 1-40, 2006.

[13] L. Zhang, L. Hartwell, A. Jr, M. M. Vaughan, B. A. Hauser, y K. J. Boote, «Agricultural and Forest Meteorology Solar ultraviolet radiation exclusion increases soybean internode lengths and plant height», *Agric. For. Meteorol.*, vol. 184, n.º July 2011, pp. 170-178, 2014.

[14] B. W. Johnson y R. Mcintyre, «Analysis of test methods for UV durability polymer coatings», *Prog. Org. Coatings* 27, vol. 27, pp. 95-106, 1996.

[15] X. Liu, C. J. Hurren, y X. Wang, «Compression Properties of Wool and Alpaca Fibres», n.º 4, 1988.

[16] V. Mouillet, F. Farcas, y S. Besson, «Ageing by UV radiation of an elastomer modified bitumen», *Fuel*, vol. 87, pp. 2408-2419, 2008.

[17] M. Huilca, C. W. Taipe, y M. Saavedra, «Índice Ultravioleta en la ciudad de Puno para cielos claros», *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.*, vol. 19, n.º 2, pp. 211-218, jun. 2017.

[18] M. Huilca y C. Taipe, «Modelo Parametrico De La Radiación Ultravioleta Global Para Cielos Claros En La Ciudad De Puno», *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Investig.*, vol. 17, n.º 1, pp. 2-11, 2015.

[19] M. Iqbal, *An introduction to solar radiation*. Academic Press, 1983.

[20] J. W. Spencer, «Fourier series representation of the position of the Sun», *Search*, vol. 2, n.º 5, p. 172, 1971.

[21] K. Hernández, R. Morera, y J. Wright, « Medición y cálculo del índice ultravioleta en Costa Rica», *Tópicos Meteorológicos Y Ocean.*, vol. 2, pp. 41-55, 2014.

[22] C. W. Taipe, E. G. Mendoza, y H. H. Flores, «Validation of ultraviolet index data from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) based on measurements from meteorological stations in the city of Puno», *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1841, n.º 1, 2021.

[23] M. Huilca y C. W. Taipe, «Estimación y análisis del índice ultravioleta en la ciudad de Puno durante el periodo de setiembre del 2015 a setiembre del 2016», *Nawparisun - Rev. Investig. Científica*, vol. 1, n.º 1, dic. 2018.

[24] S. Madronich y S. Flocke, «Theoretical Estimation of Biologically Effective UV Radiation at the Earth's Surface», *Sol. Ultrav. Radiat.*, vol. 1, pp. 23-48, 1997.

[25] C. W. Taipe, U. Yancachajlla, J. R. Gallegos, y E. G. Mendoza, «Índice de radiación ultravioleta estimado por la Estación Meteorológica Davis de la Universidad Nacional de Juliaca», *Nawparisun*, vol. 2, pp. 37-42, 2020.

[26] C. W. Taipe, M. Huilca, E. G. Mendoza, y J. R. Gallegos, «Aplicación móvil para determinar el índice ultravioleta en condiciones de cielos despejados», *Ing. USBMed*, vol. 13, n.º 1, pp. 3-8, 2022.

[27] «Huawei P40 Lite - Principales características y rendimiento», 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.movilzona.es/moviles/huawei/huawei-p40-lite/>. [Accedido: 24-ago-2022].

[28] C. W. T. Huaman, M. H. Calsín, O. M. L. Vilca, L. T. Carrizales, y E. G. M. Mamani, «Design of a Mobile App for Measuring the Ultraviolet Index in Real-Time», pp. 164-173, 2023.

[29] M. C. G. Mantilla, L. L. C. Ariza, y B. M. Delgado, «Metodología para el desarrollo de aplicaciones móviles», *Rev. Tecnura*, vol. 18, n.º 40, pp. 20-35, 2014.

[30] «Aliexpress UV detector UV detector GD-UV06», 2022. [En línea]. Disponible en: <https://irecommend.ru/content/brelok-dlya-tekh-kto-ne-khochet-sgoret-na-solntse>. [Accedido: 24-ago-2022].

[31] M. Blal *et al.*, «A prediction models for estimating global solar radiation and evaluation meteorological effect on solar radiation potential under several weather conditions at the surface of Adrar environment», *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 152, p. 107348, 2020.

[32] H. Tabari, «Evaluation of reference crop evapotranspiration equations in various climates», *Water Resour. Manag.*, vol. 24, n.º 10, pp. 2311-2337, 2010.