Enviado: *Recibido:* *Aceptado:*

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

VISIÓN ELECTRÓNICA

Algo más que un estado sólido

https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728

VISIÓN ELECTRÓNICA

Estación De Monitoreo Para La Calidad Del Clima En El Páramo El Verjón

Monitoring Station for Weather Quality in the paramo "El Verjón"

Giovanni Rodrigo Bermúdez Bohórquez[1], Valeria Sofia Rios Cadena[2]

Resumen

El siguiente documento muestra los resultados obtenidos de una estación meteorológica diseñada para registrar datos de manera remota y ser visualizados en una página Web por medio de la tecnología IOT (internet de las cosas), para determinar la calidad del clima en el páramo el Verjón. En Colombia el IDEAM tiene estaciones meteorológicas en diferentes partes del país, pero desafortunadamente estas no tienen alcance a los páramos, por consiguiente, una solución es tener un monitoreo ambiental en los páramos para así mitigar las consecuencias ambientales de cambio climático causados por el hombre.

Palabras clave: IOT, Páramo el Verjón, calidad del clima, radiación UV.

[1] Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia. Maestría en Ingeniería Electrónica y de Computadores, Universidad de Los Andes, Colombia. Profesor asociado y director del grupo ROMA de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. E-mail: gbermudez@udistrital.edu.co ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4744-160X

[2] Tecnología en Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. Estudiante e investigador del grupo ROMA de Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia. E-mail: vsriosc@udistrital.edu.co

Abstract

The next document presents the results obtained from a meteorological station designed to collect data remotely and be visualized on a web page through IOT technology (internet of things), to determine the quality of the climate in the “Páramo el Verjón”. In Colombia "la IDEAM" has weather stations in different parts of the country, but unfortunately these do not reach the moors, therefore, a solution is to have environmental monitoring in the moors to mitigate the environmental consequences of climate change caused by man.

Keywords: IOT, Páramo el Verjón, climate quality, UV radiation.

1. Introducción

Históricamente, la humanidad ha generado cambios abruptos en el clima del planeta y que en particular, los páramos colombianos no han sido ajenos a estos cambio que reflejan en la actualidad reducción del recursos hídricos y contaminación del agua por el uso de elementos para la agricultura, ganadería o minería, que progresivamente han afectado el ecosistema paramuno que refleja la pérdida de biodiversidad, destrucción del paisaje, reducción de especies que habitan en los páramos y que principalmente, han reducido la capacidad del suelo en retener agua.

El 85% de los páramos del mundo se encuentran ubicados entre Venezuela, Ecuador y Colombia (particularmente, Colombia tiene el 49% de los páramos y proveen agua al 70% de la población del país). En Colombia se encuentra el páramo más grande del mundo con un

área de 266.250 hectáreas y se han documentado 91 especies de frailejones, que es la planta más importante de este ecosistema por su capacidad de absorber la humedad y transformarla en agua que recorren los principales afluentes del país.

Es por lo anterior que se deben formular actividades para la conservación y protección de los páramos que reduzcan todos los problemas descritos anteriormente. En este enfoque, este proyecto presenta los resultados de la implementación de un sistema de monitoreo de tres variables ambientales (radiación UV, velocidad del viento y nivel de agua) que permiten construir el índice de calidad del clima (ICC) para el páramo el Verjón, como una estrategia para el monitoreo del efecto del cambio climático en estos ecosistemas.

2. Descripción del proyecto

El páramo el Verjón está ubicado dentro del Parque Ecológico Matarredonda vía Choachí (Cundinamarca) a 17km de Bogotá. Este parque cuenta con 2.373 hectáreas que cuenta dinámicas sociales, históricas y biofísicas que brindan educación ambiental que aporta en la preservación, protección y conservación de los recursos naturales y el ecosistema paramuno. Otra característica que ofrece Matarredonda es su conocimiento ancestral fundamentado en la Laguna de Teusacá, laguna sagrada de los muiscas en donde realizaban rituales de fertilidad a través de ofrendas dadas a la madre tierra [1].

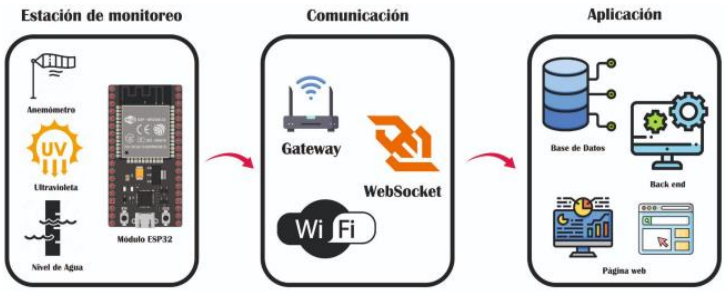
Los páramos son considerados zonas estratégicas para la preservación del medio ambiente debido a su capacidad de almacenamiento hídrico. Lamentablemente, es muy poca la

información que detalle el comportamiento de las variables climáticas que permitan monitorear el comportamiento del clima de los páramos.

Para mitigar el problema anterior, se desarrolló un sistema de monitoreo de la calidad de clima de los páramos mediante la implementación de sensores que a través de procesamiento de datos y metodologías de IOT (Internet de las cosas), se puede realizar un monitoreo continuo del clima de un páramo aportando información para que profesionales en áreas ambientales puedan establecer diversas estrategias de conservación de los páramos.

El sistema de monitoreo desarrollado se muestra en la figura 1, en donde se detallan los sensores implementados (radiación ultravioleta, anemómetro, condensador interdigital), interconectados a través de un gateway implementado en ThingSpeak y un dashboard construido en wordpress a través de una página web que puede ser consultada en https://paramundos.com.

Figura 1. Estación de monitoreo de calidad del clima.



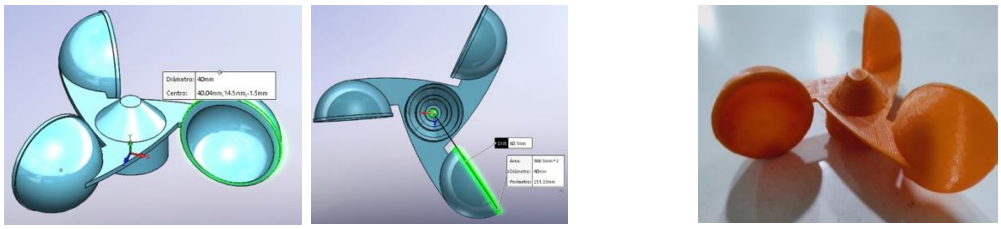
Fuente. Elaboración propia

El sistema de monitoreo cuenta con el sensor ML8511 que mide el índice de radiación ultravioleta UV-A y UV-B con un rango de 280 a 390nm; un sensor de infrarrojo que mide las RPM a través de un sistema de aspas diseñado para determina la velocidad del viento y un

condensador interdigital diseñado para medir la conductividad eléctrica del agua que permite determinar el nivel del agua. Todas las señales e información obtenida fueron procesadas en una ESP32.

Para la lectura de velocidad del viento se diseñó en SolidWorks un anemómetro que cuenta con unas hélices de tres aspas (ver figura 2) con un rodamiento acoplado al eje y una carcasa que disminuye la exposición del sensor a la lluvia, para reducir errores en la medida (ver figura 7). En la figura 3, el sensor de nivel de agua se diseñó en Kicad con las siguientes características: es un sensor interdigital con una placa de cobre de 50cm (con 36 pistas positivas y 36 negativas de 2mm cada una y con una separación de 3mm por pista).

Figura 2. Aspas diseñadas en SolidWorks. (a) Aspa en SolidWorks, (b) Aspa impresa en 3D.



(a) *(b)*

Fuente. Elaboración propia

Figura 3. Condensador Interdigital.



Fuente. Elaboración propia

Los sensores usados fueron calibrados usando patrones de medida. Por ejemplo, el sensor UV ML8511 fue calibrado con el sensor de Vernier Go Direct Light and Color Sensor que mide la luz en el espectro electromagnético visible a ultravioleta (ver figura 4). El anemómetro fue calibrado con un vehículo en movimiento variando la velocidad, registrando la información y

comparando los resultados registrados en los sistemas de medición. Finalmente, el sensor de nivel de agua fue calibrado por medio del registro de distancias realizado con un metro.

El procesamiento de toda la información fue realizado por un microcontrolador ESP32 que envía los datos a través del módulo SIM800L GSM, alimentado con una batería de litio BRC 18650 de 9800mAh 4.2V. Todos los datos son registrados en ThingSpeak y almacenados en una base de datos implementada con MySQL y procesados por el entorno Node.js de ejecución JavaScript. Finalmente, en una página web se implementó un dashboard realizada en Wordpress usando el plugin WpDataTables para poder visibilizar todos los datos que son registrados. De igual forma, en la página web se encuentra información del páramo, diferentes preguntas y respuestas sobre la calidad del clima e información de otras variables que son registradas por sistemas gemelos que alimentan el proyecto paramundos del grupo de investigación ROMA.

Figura 4. Sensores UV. (a) Sensor UV Vernier, (b) Sensor UV ML8511.



Fuente. Elaboración Propia

Para instalar los sensores en el páramo y toda la electrónica que se requirió, se utilizó una caja de derivación Dexson con protección IP% e IK05 fabricadas en polímero de alta resistencia ABS-PC con el objetivo de mejorar la protección de los sistemas a la humedad, el agua y el polvo (ver figura 5).

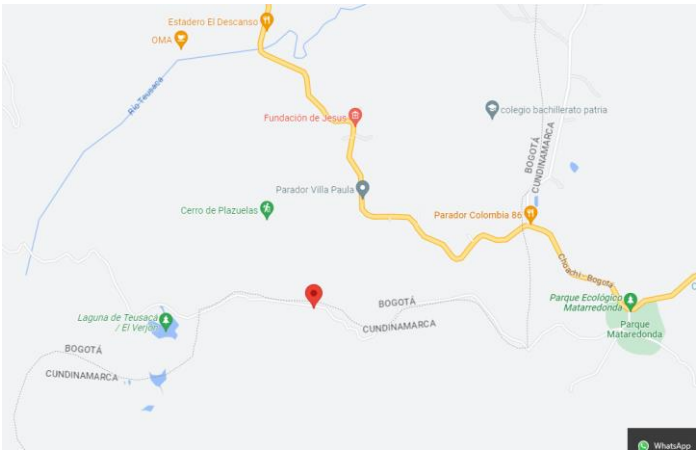
Figura 5. Caja de derivación Dexson.



Fuente. Elaboración propia

La estación de monitoreo fue instalada en las coordenadas geográficas (4.5616470, -74.0155420) aproximadamente a 2.2km de la entrada al parque Matarredonda muy cerca al camino que conduce hacía la laguna de Teusacá (ver figura 6). El punto seleccionado cuenta con una altura de 3440m sobre el nivel del mar y un acceso limitado para las personas que reduce la posible manipulación de la estación.

Figura 6. Localización de los sensores.



Fuente. Elaboración propia

El anemómetro se instaló en un punto donde el viento circula sin problema, sin obstáculos naturales que afecten la medición y el sensor de nivel se instaló sobre una cuenca hidrográfica de profundidad de 11cm inicialmente y con un área de aproximadamente 4m^2. El sensor de UV

está ubicado encima del techo del anemómetro protegido de tal forma que no sea afectado por la humedad del páramo (ver figura 7).

Figura 7. Estación de monitoreo instalada en el páramo.



Fuente. Elaboración propia

3. Resultados

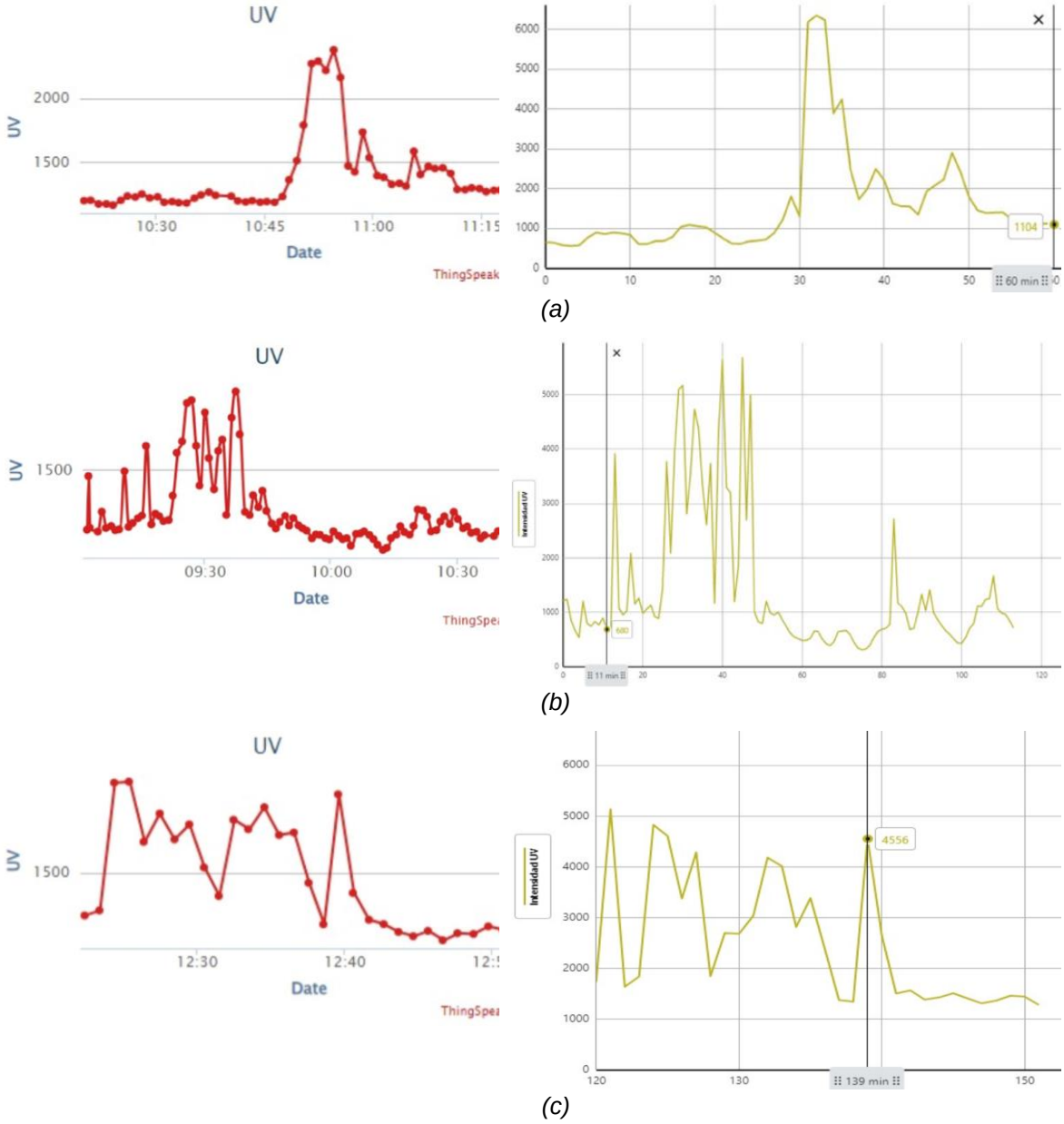
3.1. Calibración de Sensores

El sensor UV ML8511 es un fotodiodo que mide entre 280 y 390nm de luz de forma análoga y acondicionado para entregar un voltaje de salida que permite registrar el índice UV entre 0 y 11. Con estas características, este sensor fue calibrado por el método de comparación usando el sensor Vernier Go Direct Light and Color aportado por el laboratorio de física de la Facultad de Ciencias y Educación de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Los dos sensores registraron información durante 6 días y a diferente horas y condiciones de clima que totalizó 410 minutos de datos. En la figura 8 se muestran todos los datos obtenidos. Con esta información, se comparó el comportamiento de cada sensor, realizar una estimación de correlación que obtuvo 0.98 mostrando que los datos presentan un alto rango de similitud entre ellos como se muestra en la figura 9a. Finalmente, se realizó una conversión de medida para obtener el índice UV que fue comparado, a su vez, con diferentes pronósticos de clima

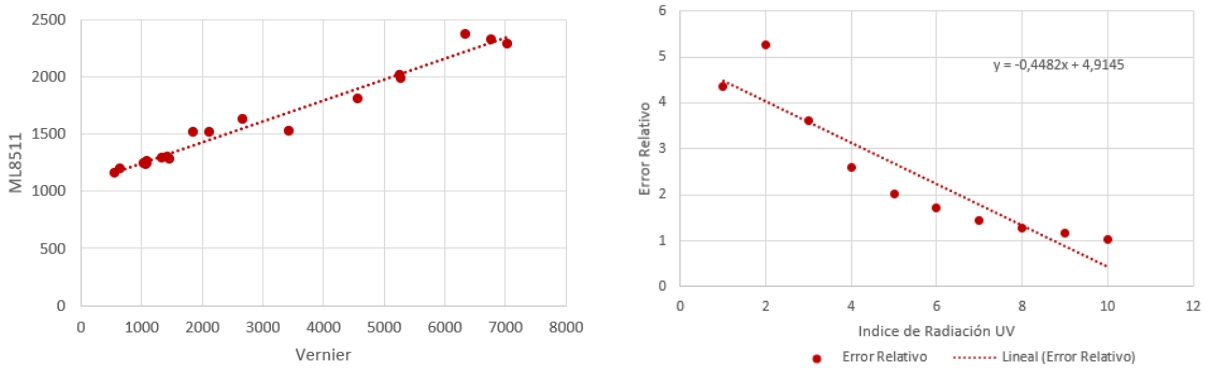
en tiempo real [2]. Con esta correlación se calculó el error relativo considerando que se tomaron 20 datos por índice. El error obtenido fue igual a -0.49% (ver figura 9b).

Figura 8. Datos obtenidos de Radiación UV del ML8611 y Vernier. (a) Datos tomados día 1, (b) Datos tomados día 3. (c) Datos tomados día 6.



Fuente. Elaboración propia

Figura 9. (a) Correlación entre Sensor UV ML8511 y Vernier; (b) Error Relativo del Sensor UV



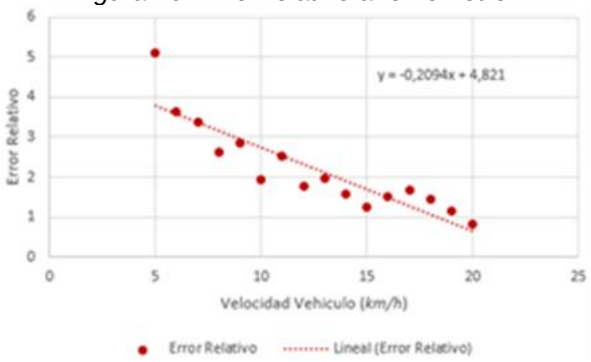
(a) (b)

Fuente. Elaboración propia

Con el anemómetro se utilizó la misma metodología basado en comparación de datos obtenidos usando un vehículo desplazándose a diferentes velocidades (entre 5 y 20 km/h con variaciones de 1km/h) en una vía despejada y sin obstáculos para que no existiera afectación de la medición. El anemómetro fue instalado en la parte superior del vehículo a 1.45m y registrando 10 datos, datos que fueron comparados con Winfinder (una página web que da la velocidad del viento en tiempo real por zonas [3]). La información obtenida se muestra en la figura 10.

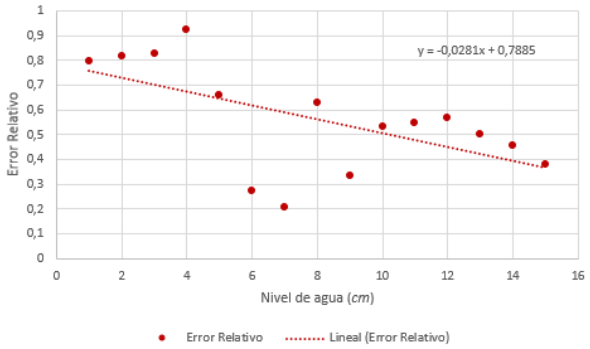
El sensor de nivel de agua usa el principio de la conductividad eléctrica registrando la variación del condensador y la resistencia. Para ello, se implementó un divisor de voltaje con una resistencia de 2.9kΩ y una fuente de 5v e interconectado con la ESP32 que a través de un algoritmo se registra el voltaje de salida. En la figura 11 se muestra la gráfica del error relativo obtenido que fue -0.028%.

Figura 10. Error relativo anemómetro.



Fuente. Elaboración propia

Figura 11. Error relativo condensador Interdigital.



Fuente. Elaboración propia

3.2. Datos registrados con la estación de monitoreo

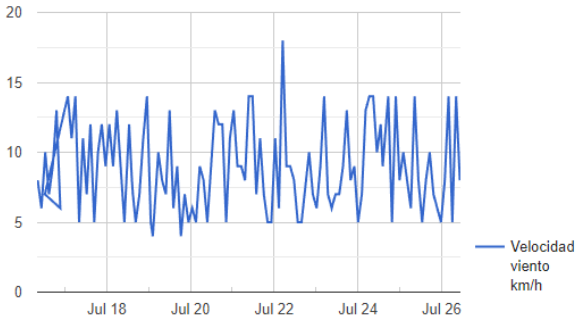
La estación de monitoreo fue ubicada el día 16 de Julio de 2023. Los datos fueron registrados cada 10 minutos por 3 horas para corroborar el correcto funcionamiento de la estación. El envió de datos fue configurado para transmitirse cada 2 horas y así publicarse en la página web https://paramundos.com

3.2.1. Anemómetro

Los datos registrados para la velocidad del viento muestran valores comprendidos entre 5 y 18 km/h de forma no lineal con variaciones inesperadas. La velocidad mínima obtenida fue de 5

km/h todos los días de la medición y el máximo ha sido de 18 km/h obtenida el 22 de julio a las 4:54 pm, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Datos obtenidos velocidad del viento.

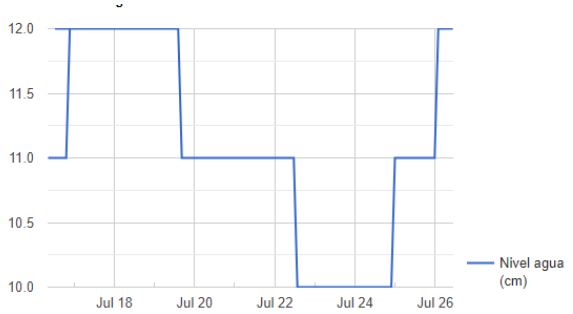


Fuente. Elaboración propia

3.2.2. Nivel del agua

Los datos registrados para el nivel del agua muestran una altura inicial de 11cm sobre una cuenca hidrográfica con un área aproximadamente 4m^2 visibles. Los datos obtenidos muestran una variación muy baja (entre 10 y 12cm), que puede ser causado por los niveles de radiación UV, que nos han indicado un aumento de la capacidad de absorción del suelo y la reducción del nivel de precipitación en la zona por estos meses en el páramo el Verjón. Las variaciones del nivel del agua se han presentado durante la noche (ver figura 13).

Figura 13. Datos obtenidos para el nivel de agua.

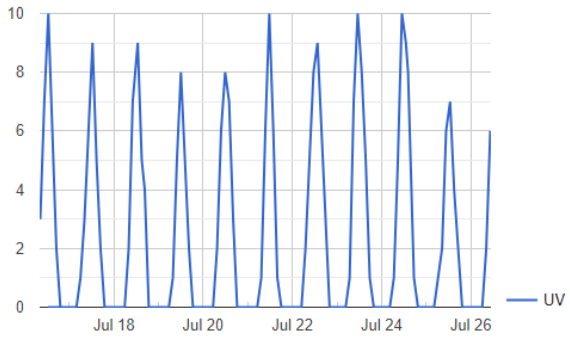


Fuente. Elaboración propia

3.2.3. Radiación UV

Los datos registrados para la radiación ultravioleta muestran que durante el día el índice más alto registrado se ha obtenido entre las 11:00 am y las 2:00 pm (con un índice UV entre 7 y 10). El índice máximo UV registrado fue de 10 con una frecuencia de 4 veces en diferentes días entre las 12:00 y la 1:00 pm mientras que el registro más bajo fue registrado entre las 6:00 y 8:00 am o de 5:00 a 6:00 pm con un índice UV de 1. Durante la noche, por la ausencia de sol, el índice registrado fue de 0. En la figura 14 se muestra la radiación por días registrado en la estación.

Figura 14. Datos obtenidos para la radiación UV.



Fuente. Elaboración propia

3.3. Índice de Calidad del clima en el páramo el Verjón

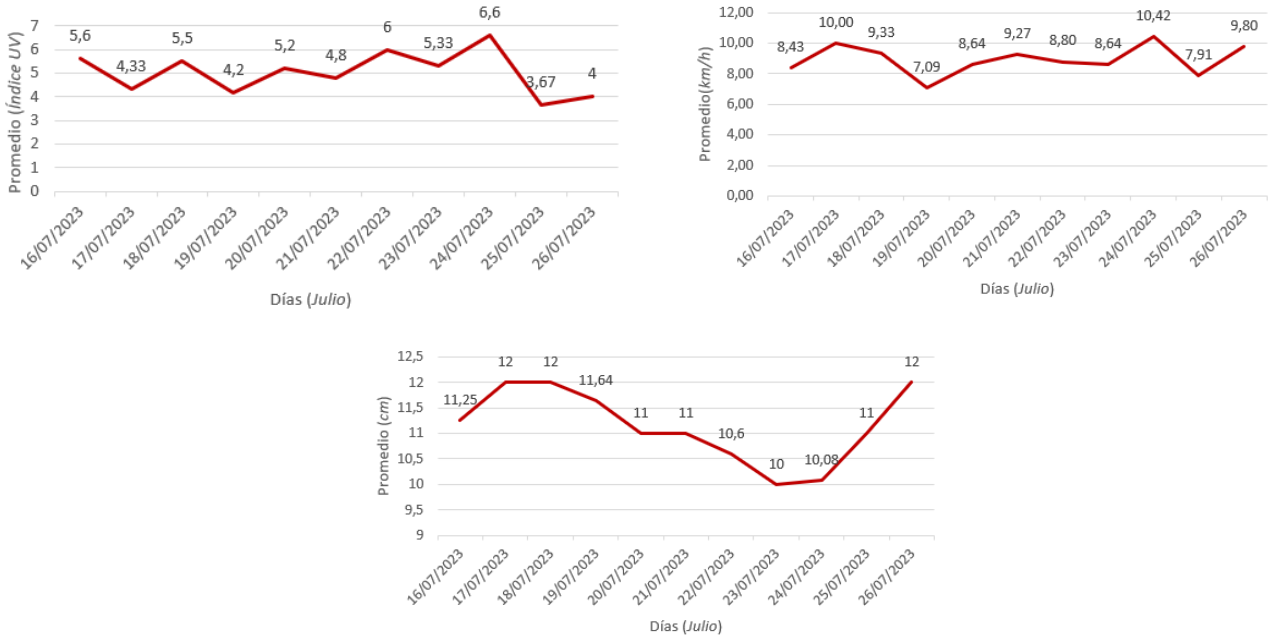
Lo primero a tener en cuenta es que, los frailejones y otras plantas de páramo tienen la capacidad de soportar altos niveles de radiación ultravioleta. Sin embargo, una exposición prolongada de rayos UV-B afecta la arquitectura de las plantas y si se presentan fluctuación de la radiación puede impedir la progresión del ciclo celular, se puede reducción la producción de biomasa y retrasar el crecimiento de las hojas.

Por otro lado, se tiene que las plantas de páramo también resisten los altos vientos y lluvias prolongadas con gran precipitación de agua. Sin embargo, niveles prolongados de estas dos variables pueden afectar la fotosíntesis aumentando el desprendimiento de hojas, dañando el ADN y con ello la tasa de transpiración [4]. De forma detallada se tiene que para el páramo:

- El índice UV se considera alto después del nivel 8 [5], pero empieza a afectar dependiendo del tiempo de exposición o de la alta variabilidad. Por tanto, se propone que el rango promedio de índice UV en el páramo debe estar comprendida entre los niveles 3 y 8. [6]
- En la escala de Beaufort, se considera un viento fuerte superior de 51 km/h [7]. Sin embargo, se considera que el promedio de velocidad de viento en los páramos debe estar comprendida entre 4.32 y 11.6 km/h [6].
- Para el nivel de agua se tiene en cuenta dos factores: un es la absorción del suelo que se presenta cuando baja su nivel; y el otro es la precipitación (humedad recolectada de lluvia, llovizna, neblina, entre otras) que se presenta cuando aumenta el nivel que es favorable para los páramos. Con base en los anteriores factores se establece que un nivel de absorción no puede ser inferior al 65% [8].

Para poder comparar estas tres variables que conforman el índice de calidad del clima en el páramo, en la figura 15 se muestran los promedios diarios de las tres variables.

Figura 15. (a) Promedio diario radiación UV; (b) Promedio diario velocidad del viento; (c) Promedio diario nivel del agua



Fuente. Elaboración propia

Para entrar en análisis y conocer la calidad del clima de los parámetros medidos de índice de radiación UV, velocidad del viento y nivel de agua, se obtiene que cada una de las variables se encuentra en los rangos óptimos; como podemos observar en la figura 17 los promedios de índice UV se mantuvieron entre 4 y 6.6 donde no se superó el índice UV promedio de 8, por otro lado, la velocidad del viento se mantuvo dentro del rango de 4.32 km/h y 11.6 km/h, teniendo como promedio entre 7.09 km/h y 10.42 km/h como se ve en la figura 18 y el nivel no disminuyó más del 10%.

Ahora, teniendo en cuenta los datos obtenidos de cada una de las variables medidas de radiación UV, velocidad de viento y nivel de agua es necesario calcular la desviación estándar diaria de cada una para saber la calidad, para esto se utiliza la ecuación (1), donde x es el

dato de cada una de las variables, μ es la media muestral diaria y σ es la desviación estándar diaria:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \qquad (1)$$

Con lo anterior, se obtuvo todas las desviaciones estándar diarias y se obtuvo:

Para la radiación UV la máxima desviación fue de -1.82% se dio el 18 de julio, otros valores máximos permanecieron entre 1.37% y 1.48%, la desviación mínima fue de 0 el día 22 de julio, los otros valores mínimos estuvieron en un rango de –0.09% y 0.37%.

Por otro lado, para la velocidad del viento se obtuvo la máxima desviación de 2.41 % y 2.13% los días 22 y 25 de julio, se obtuvo una desviación mínima de 0 el día 17 de julio, además los valores mínimos estuvieron entre –0.03% y 0.44% en la mayoría de los días.

Para el nivel de agua, se obtuvo la variación estándar diaria de 0 por los días 17, 18, 20, 21, 23, 25 y 26, por ende, en estos días teniendo en cuenta la ecuación los datos son nulos, ahora bien, las desviaciones fueron constantes donde estuvieron entre –0.29% y 1.62%, sin embargo, se obtuvo una máxima desviación de 3.17% el día 24 de julio.

4. Conclusiones

- Los datos tomados de velocidad del viento no superaron los 18 km/h, esto significa que el viento promedio no afecta la vegetación del páramo, por lo tanto, el viento es óptimo.
- Aunque la radiación UV en los páramos es alta, los datos obtenidos en promedio están en rangos adecuados donde no se supera el índice de 7.

- Los datos tomados de la radiación UV no afectan a la vegetación del páramo, porque el tiempo de exposición solar no es prolongado durante el día.
- Las variables climáticas obtenidas son óptimas, ya que el promedio de datos de cada sensor no sobrepasó los límites de las escalas sugeridas.
- La precipitación se ve afectado por la radiación UV, esto se debe a que la radiación UV ayuda a el proceso de evaporización creando humedad con esto.
- El nivel del agua se mantuvo entre los 10 cm y 12 cm, la variación se mantuvo entre el $\pm$ 10%, es decir, en la cuenca hidrográfica no hubo disminución ni aumento significativo del agua, por ende, no se afecta la calidad del clima.

5. Trabajos Futuros

En un futuro se desea implementar con precisión la estación de monitoreo de la calidad del clima, además de módulos más avanzados como los 4g y la tecnología Lora para tener un envío de datos más eficaz y con rangos más altos para implementar la estación de monitoreos en lugares más recónditos y mantenerlos en el país, por otro lado, implementar sensores con una precisión más alta para obtener datos más exactos.

REFERENCIAS

[1] Cáceres, T. (2019) *Los Muiscas y el agua: 5 Lagunas Para visitar*, *Canal Trece*. [En línea] Disponible en: https://canaltrece.com.co/noticias/los-muiscas-y-el-agua-5-lagunas-para-visitar/

[2] Tutiempo Network, S. L. (n.d.). El Tiempo - 15 días. [En línea] Disponible en: https://www.tutiempo.net/

[3] Windfinder.com. (n.d.). [En línea] Disponible en: https://es.windfinder.com/#11/4.6072/-73.9885/spot

[4] Garza Aguilar, S.M. *et al.* (2014) *Avances recientes en el estudio del ciclo celular en Plantas*, *REB. Revista de educación bioquímica*. [En línea] Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-19952014000200002

[5] *Índice Ultravioleta (IUV) - IDEAM*. [En línea] Disponible en: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/indice-ultravioleta-iuv-

[6] Tobón, C. (no date) *Apéndice Caracterización Climática de los páramos en Colombia*. [En línea] Disponible en: http://www.investigacion.bogota.unal.edu.co/fileadmin/recursos/editorial/2022/AnexosLibrosUNAL/LosPa__ramosDeColombia_Ape__ndice.pdf.

[7] Viña, J.M. (2020) *Beaufort: El Marino Que Escaló el Viento*, *Tiempo.com* | *Meteored*. [En línea] Disponible en: https://www.tiempo.com/noticias/ciencia/beaufort-el-marino-que-escalo-el-viento.html

[8] LLambí, L.D. *et al.* (2022) *Flacsoandes*. [En línea] Disponible en: https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/56475.pdf