Diseño e Implementación de un Albedómetro Espectral. Variación del Albedo del Manto Nivoso con Diferentes Contaminantes

ADRIÁN SUBÍAS MARTÍN, PASCUAL NAVARRO, JORGE CIUDAD-REAL,

VÍCTOR HERRÁIZ-LÓPEZ, IÑIGO SALINAS y RAFAEL ALONSO

Grupo de Tecnologías Fotónicas (GTF)
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: asubias@unizar.es

Resumen

Desarrollo de un albedómetro espectral (200-2500 nm) para medir simultáneamente radiación solar incidente y reflejada en la superficie del manto nivoso. Posteriormente se analiza la variación espectral provocada por distintos contaminantes, como partículas negras y agua con colorante verde, azul y rojo, en el Pirineo Aragonés.

Introducción

Este trabajo se enfoca en el diseño y la implementación de un albedómetro espectral (200–2500 nm) que tiene la capacidad de medir cuasi-simultáneamente la irradiancia solar y reflejada en superficies nevadas, lo que permite analizar el balance energético y mejorar significativamente la precisión de las mediciones del albedo, especialmente en condiciones atmosféricas cambiantes [1], [2]. Este sistema se utilizará para analizar las cubiertas de nieve en el Pirineo Aragonés [3], [4].

El albedómetro propuesto es particularmente útil en regiones como el Pirineo Aragonés, donde las condiciones climáticas son muy variables, con gradientes térmicos diarios significativos, precipitaciones líquidas frecuentes y la llegada de partículas de polvo del desierto del Sáhara [5]. Este fenómeno es especialmente crítico ya que las partículas absorbentes de luz (LAPs) quedan atrapadas en el manto nivoso y crean zonas cálidas que provocan la transformación de la nieve desde el interior [5]. La presencia de estas partículas influye en el albedo de la nieve, y su medición precisa se logra utilizando instrumentos ópticos.

Además, el instrumento desarrollado también permite la estimación de parámetros importantes como el área superficial específica (SSA) de la superficie de la nieve [4], lo cual proporciona una medición más detallada de la densidad superficial de la nieve y del tamaño de grano.

Diseño harware

Nuestro diseño innovador utiliza dos espectrómetros (Qmini, 200-1100 nm, y FTIR, 1100-2500 nm), controlados por una PC de campo. Para medir ambas radiaciones, empleamos dos fibras ópticas unidas en un acoplador/divisor, cada una equipada con un difusor de Spectralon® para realizar un correcto comportamiento del receptor con el coseno del ángulo de incidencia. La radiación entrante a cada fibra es gestionada por un obturador mecánico, controlado por el Arduino Leonardo del ordenador, y MATLAB controla todo el instrumento de medida. El sistema está protegido por una carcasa resistente a condiciones extremas y cuenta con conexión inalámbrica para su control remoto. La figura 1 es un esquema del hardware del sistema y su colocación en las primeras pruebas de campo en la figura 2.

Resultados

Se presentan los primeros resultados obtenidos de una superficie cubierta de nieve a principios de mayo, durante el proceso de deshielo. En este experimento, se contamina el manto nivoso con partículas negras y con agua teñida con colorante (verde, rojo y azul). El área de medida se puede ver en la figura 3. El objetivo es comparar el albedo varía en las zonas contaminadas. La figura 4 muestra la medida de irradiancia solar, la figura 5 muestra las irradiancias reflejadas en rango visible y la figura 6 muestra los albedos en el rango visible de las diferentes áreas. La adición de partículas negras provoca una mayor absorción de radiación, reduciendo el albedo, mientras que los colorantes afectan de manera diferente a la reflectividad, especialmente en las longitudes de onda visibles.

Conclusiones

El sistema desarrollado ha demostrado ser robusto frente a las condiciones climáticas extremas propias del invierno en el Pirineo, lo que lo hace adecuado para campañas de campo en alta montaña. Su diseño permite realizar mediciones cuasi-simultáneas de la radiación incidente y reflejada, reduciendo al mínimo los errores causados por cambios rápidos en las condiciones atmosféricas. Además, debido a la técnica de medida, el sistema no se ve afectado por el ángulo de visión (field of view). Su amplio rango espectral (200–2500 nm) permite obtener información detallada sobre las propiedades superficiales de la nieve, como la presencia de partículas que absorben luz (LAPs) en el visible, partículas que tiñen la superficie y parámetros como el área superficial específica (SSA) y la densidad en el infrarrojo cercano.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado en parte por los proyectos PID2021-124451OB-I00 y TED2021-131180B-I00, cofinanciados por MICIU/AEI/10.13039/50110001103, por FEDER UE, por la Unión Europea Next Generation EU/PRTR, y en parte por el proyecto T20-23R DGA-FSE. Los autores desean agradecer a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), especialmente al equipo de observación de la Delegación Territorial de AEMET en Aragón, así como a la estación de esquí Aramón-Formigal.

Referencias y Citas

[1] DUMONT, M ; BRISSAUD, O ; PICARD, G ; SCHMITT, B: High-accuracy measurements of snow Bidirectional Reflectance Distribution Function at visible and NIR wavelengths – comparison with modelling results (2009), Nr. 9, S. 19270–19311

[2] KUCHIKI, KATSUYUKI ; AOKI, TERUO ; TANIKAWA, TOMONORI ; KODAMA, YUJI: Retrieval of snow physical parameters using a ground-based spectral radiometer. In: *Applied Optics* Bd. 48 (2009), Nr. 29, S. 5567

[3] WARREN J., WISCOMBE ; STEPHEN G., WARREN: A Model for the Spectral Albedo of Snow. I: Pure Snow.

[4] SKILES, S. MCKENZIE ; DONAHUE, CHRISTOPHER P. ; HUNSAKER, ADAM G. ; JACOBS, JENNIFER M.: UAV hyperspectral imaging for multiscale assessment of Landsat 9 snow grain size and albedo. In: *Frontiers in Remote Sensing* Bd. 3 (2023), S. 1038287

[5] SKILES, S. MCKENZIE ; PAINTER, THOMAS ; OKIN, GREGORY S.: A method to retrieve the spectral complex refractive index and single scattering optical properties of dust deposited in mountain snow. In: *Journal of Glaciology* Bd. 63 (2017), Nr. 237, S. 133–147

Figuras/Leyendas

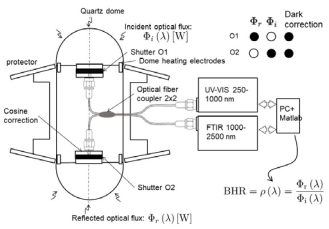

Figura 1: Esquema hardware del sistema.

Figura 2: Sistema completo en la zona de experimentación invernal.

Figura 3: Manto nivoso alterado con los diferentes contaminantes.

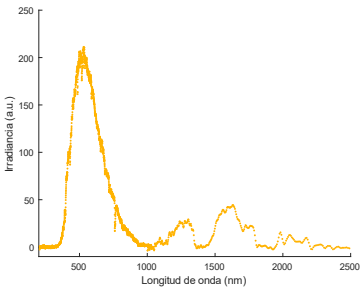

Figura 4: Irradiancia solar.

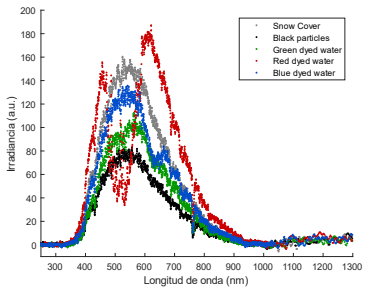

Figura 5: Irradiancias reflejadas por los contaminantes.

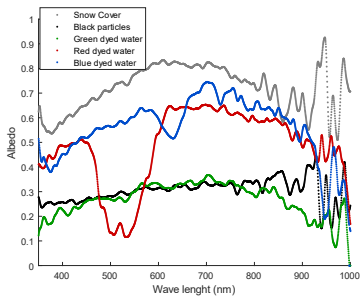

Figura 6: comparación de los albedos en el rango visible (300-1000).