

CASO PRÁCTICO

RSR *Calculator*, una herramienta para el proceso de Calibración/Validación

Durán-Alarcón, C.*, Santamaría-Artigas, A., Valenzuela, N., Mattar, C.

Laboratorio para el Análisis de la Biósfera (LAB), Departamento de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales Renovables, Universidad de Chile, Santa Rosa 11315, Santiago, Chile.

Resumen: La calibración/validación de productos generados a partir de sensores remotos es una fase clave para su uso en diferentes tipos de aplicaciones medio ambientales y para asegurar el éxito de una misión de observación de la tierra. Con el objetivo de poder comparar las mediciones realizadas por los sensores remotos a bordo de satélites o aeronaves con los datos *in-situ*, es necesario realizar un proceso de comparación espectral utilizando la función de respuesta espectral relativa que poseen estos sensores. En este trabajo se presenta RSR *Calculator*, una nueva herramienta que permite estimar a través de una convolución numérica el valor correspondiente a cada rango espectral de un determinado sensor. RSR *Calculator* entrega diversas aplicaciones que van desde la convolución de firmas espectrales de laboratorio o terreno, hasta la estimación de parámetros para la calibración de sensores, como la irradiancia solar extraterrestre (ESUN) o la transmisividad de la atmósfera (τ) por banda espectral. RSR *Calculator* es una herramienta versátil que permite el procesamiento de datos espectrales y puede ser aplicado satisfactoriamente en el proceso de calibración/validación de sensores remotos localizados en el dominio óptico.

Palabras clave: RSR *Calculator*, firmas espectrales, convolución, longitud de onda, Respuesta Espectral Relativa.

RSR Calculator, a tool for the Calibration / Validation activities

Abstract: The calibration/validation of remote sensing products is a key step that needs to be done before its use in different kinds of environmental applications and to ensure the success of remote sensing missions. In order to compare the measurements from remote sensors on spacecrafts and airborne platforms with *in-situ* data, it is necessary to perform a spectral comparison process that takes into account the relative spectral response of the sensors. This technical note presents the RSR Calculator, a new tool to estimate, through numerical convolution, the values corresponding to each spectral range of a given sensor. RSR Calculator is useful for several applications ranging from the convolution of spectral signatures of laboratory or field measurements to the parameter estimation for the calibration of sensors, such as extraterrestrial solar irradiance (ESUN) or atmospheric transmissivity (τ) per spectral band. RSR Calculator is a useful tool that allows the processing of spectral data and that it can be successfully applied in the calibration/validation remote sensing process of the optical domain.

Key words: RSR Calculator, spectral signatures, convolution, wavelength, Relative Spectral Response.

* Autor para la correspondencia: claudioduran@ug.uchile.cl

1. Introducción

La calibración y validación de un sensor remoto es clave para determinar el éxito de una misión espacial, tanto para las aplicaciones que éste pueda ofrecer como para el uso combinado con otras misiones espaciales (Chander *et al.*, 2009). En la calibración/validación se incluyen las correcciones radiométricas y las comparaciones entre las mediciones de la superficie del terreno (firmas espectrales) con los datos obtenidos por el sensor.

Dentro del proceso de calibración y validación se puede utilizar una serie de variables espectrales, tales como la irradiancia solar extraterrestre, espectros atmosféricos (transitividad de la atmósfera) y firmas espectrales de reflectividad medidas en terreno que permiten estimar la reflectancia en el tope de la atmósfera, realizar la corrección atmosférica de los datos satelitales y evaluar la exactitud los datos satelitales con respecto a los valores *in-situ*, respectivamente.

La información espectral detectada por los canales de un sensor es asignada a una determinada banda o rango del espectro electromagnético, usualmente caracterizada por un centro de banda y por sus longitudes de ondas extremas (Liang, 2004). Cada sensor capta la radiancia de una manera específica a lo largo del espectro electromagnético, de acuerdo a una función de respuesta espectral o Respuesta eSpectral Relativa (RSR por sus siglas en inglés) (Teillet *et al.*, 1997). Por lo tanto existen discrepancias entre los valores de bandas de diferentes sensores, a pesar de ser bandas del mismo rango espectral. En efecto, al comparar mediciones

de terreno de firmas espectrales o cualquier otro tipo de espectro con datos satelitales, es necesario incorporar la RSR a través de una convolución numérica que permita estimar el valor por banda respecto a cada sensor.

Para facilitar la resolución de este problema se ha desarrollado recientemente el software *RSR Calculator*, que permite realizar la convolución numérica entre cualquier tipo de espectro y la respuesta espectral relativa de cualquier sensor de manera sencilla.

El objetivo de esta nota técnica es presentar una breve descripción de *RSR Calculator* y casos prácticos de su uso en proceso de calibración/validación. Se muestran tres tipos de aplicaciones tales como: convolución de irradiancia solar extraterrestre, de firmas espectrales y estimación del coeficiente de transmisión de la atmósfera.

2. Descripción de RSR Calculator

RSR Calculator es un *software* gratuito que permite realizar una convolución entre firmas espectrales proveniente de diferentes materiales de la superficie terrestre y las funciones de respuesta espectral de un determinado sensor remoto. Esta aplicación ayuda al proceso de calibración/validación a comparar un espectro medido *in-situ* con los valores que adquiere un sensor. La aplicación del *RSR Calculator* está desarrollada en Visual.Net (Microsoft®), y puede ser solicitado a través del sitio <http://biosfera.uchile.cl/desc.html>. La figura 1 muestra la interfaz gráfica *RSR Calculator* con

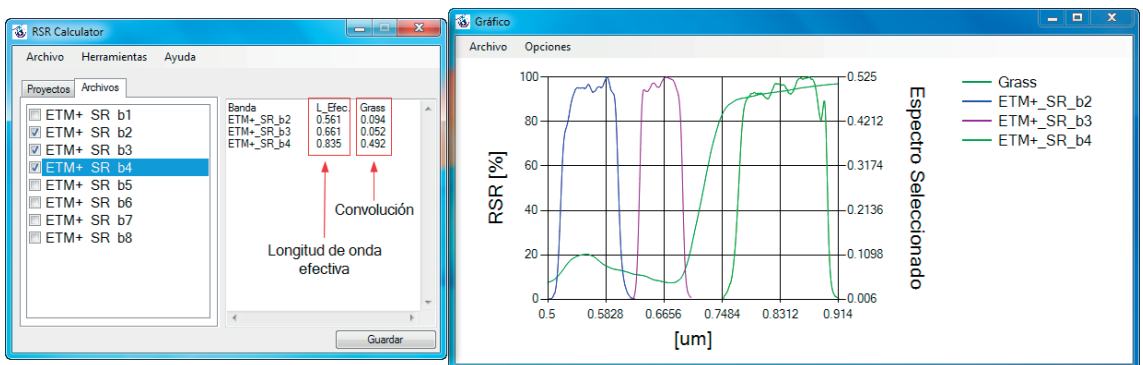


Figura 1. Interfaz gráfica de *RSR Calculator*. A la izquierda se muestra el menú principal con el resultado de la convolución de la firma espectral *Grass* de ASL para las bandas 2 (ETM+ SR b2), 3 (ETM+ SR b3) y 4 (ETM+ SR b4) de Landsat-7. A la derecha se despliega el gráfico de la firma espectral y las respuestas espectrales relativas.

el ejemplo de una firma espectral y convolución espectral.

Para la convolución espectral, el RSR Calculator utiliza una función de convolución que determina el valor que adquiere para un sensor en una determinada banda (C_k), la cual está representada por la siguiente ecuación:

$$C_k = \int_{-\infty}^{+\infty} (rsr_{\lambda})(\rho_{\lambda})d\lambda \Bigg/ \int_{-\infty}^{+\infty} (rsr_{\lambda})d\lambda$$

Donde rsr_{λ} es la respuesta espectral relativa de la banda, ρ_{λ} representa la signatura espectral analizada y λ corresponde a la longitud de onda. RSR Calculator posee una base de datos del espectro solar entregada por Thuillier *et al.* (2003), la ASTER *Spectral Library* (Baldrige *et al.*, 2009) y las funciones filtro de diferentes sensores entre los cuales se encuentran las misiones Landsat (4, 5, 7 y 8), IKONOS, Fasat-C, ASTER y MASTER (MODIS/ASTER *airborne simulator*).

Adicionalmente, en RSR Calculator se podrá seleccionar cualquier carpeta definida previamente por el usuario que contenga funciones filtro o de respuesta espectral relativa que el usuario disponga (Figura 2).

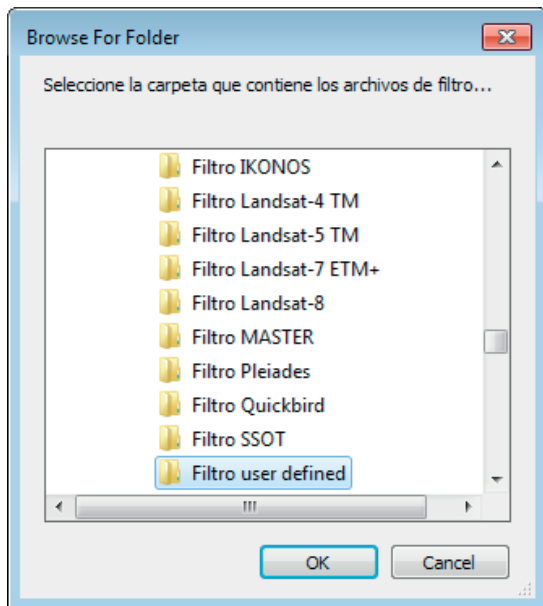


Figura 2. Selección de funciones de respuesta espectral relativa en RSR Calculator.

3. Usos de RSR Calculator en el proceso de calibración/validación

A continuación se detalla una serie de casos prácticos de las aplicaciones de RSR Calculator en la calibración/validación de sensores remotos. Los casos están divididos en el cálculo de $ESUN_{\lambda}$, convolución de firmas espectrales y convolución de espectros atmosféricos. Para cada aplicación, el RSR Calculator ha sido utilizado para diferentes sensores remotos.

3.1. Cálculo de Irradiancia Solar Extraterrestre

La irradiancia solar extraterrestre es la radiación solar incidente en el exterior de la atmósfera de la Tierra y se utiliza para la el cálculo de la reflectancia en el tope de la atmósfera para imágenes de las regiones ópticas, infrarrojo cercano e infrarrojo medio (Chander *et al.*, 2009). Existen variadas estimaciones y mediciones del espectro de Irradiancia Solar Extraterrestre (Neckel y Labs, 1984; Rossow *et al.*, 1985; Wehrl *et al.*, 1985; Thuillier *et al.*, 1998; Thuillier *et al.*, 2003). Este último espectro (Thuillier *et al.*, 2003) es recomendado por el Grupo de Trabajo en Calibración y Validación (WGCV por sus siglas en inglés) del *Committee on Earth Observation Satellites* (CEOS) para ser usado en aplicaciones de observación de la Tierra por su nivel de exactitud (Chander *et al.*, 2009).

El espectro de Thuillier *et al.* (2003) (Figura 3) ha sido ampliamente validado por el CEOS como espectro referencia solar para cálculos de calibración y validación satelital. Este espectro

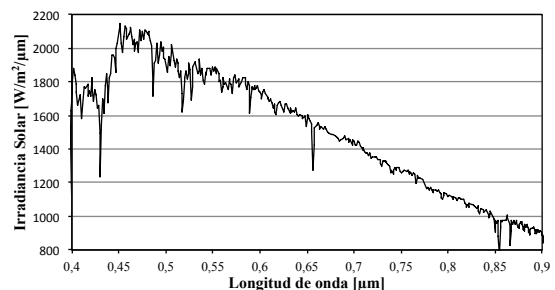


Figura 3. Espectro Solar de Thuillier *et al.* (2003).

fue desarrollado a partir de dos espectrómetros, SOLar SPECTrum (SOLSPEC) y Solar SPECTrum (SOSP). Este espectro solar se encuentra incluido por defecto en RSR *Calculator* para calcular los valores de irradiancia solar exo-atmosférica, parámetro $ESUN_{\lambda}$ clave para el cálculo de reflectancia.

Para obtener los valores de $ESUN_{\lambda}$ con RSR *Calculator* es necesario seleccionar las funciones de respuesta espectral relativa del sensor de interés (o agregar las que disponga el usuario) y luego ejecutar la opción “Irradiancia Solar” ubicada en el menú de herramientas. En la Tabla 1 se muestran una serie de valores de $ESUN_{\lambda}$ calculados por el RSR *Calculator* para las bandas del dominio óptico del espectro electromagnético de las misiones Landsat 4, 5, 7 y 8 (TM, ETM+ y OLI). Estos resultados fueron comparados con los valores entregados en el *handbook* de Chander et al. (2009), para los sensores previos a Landsat-8. Los errores obtenidos con RSR *Calculator* van entre 0,5 y 1,1 $W/(m^2 sr \mu m)$, con RMSE general de 0,8 $W/(m^2 sr \mu m)$ y un coeficiente de variación de 0,05% de RMSE.

3.2. Convolución de firmas espectrales

La convolución de firmas espectrales es un proceso esencial en la validación de datos satelitales, debido a que permite comparar los valores derivados de las firmas obtenidos en terreno con los datos registrados por el sensor remoto. RSR *Calculator* puede procesar cualquier firma espectral para una serie de funciones de respuesta espectral que se encuentran incluidas por defecto en el software o las que el usuario incluya. A continuación se muestra una caracterización espectral de la especie herbácea *Calandrinia grandifolia* que habita sectores rocosos preferentemente cerca del mar entre las ciudades de Coquimbo a Concepción, en Chile. En un trabajo previo (Santamaría-Artigas et al., 2013) se midió la firma espectral de la especie vegetal utilizando un espectroradiómetro ASD FieldSpec (ASD inc) (Figura 4). Posteriormente se agregó la firma espectral a RSR *Calculator* y se calculó la reflectancia correspondiente a los sensores Landsat-7 y 8, Ikonos, Pleiades y Quickbird. En la tabla 2 se pueden ver los resultados para casa sensor.

El Programa también dispone de una librería de firmas espectrales pertenecientes a ASTER *Spectral*

Tabla 1. Valores de $ESUN_{\lambda}$ filtrados con RSR *Calculator* para las bandas del visible e infrarrojo cercano de distintas misiones Landsat.

Sensor	Longitud de onda Efectiva (μm)	Chander et al. (2009)	RSR <i>Calculator</i>	Sesgo
		$ESUN_{\lambda}$	$ESUN_{\lambda}$	
		$W/(m^2 sr \mu m)$	$W/(m^2 sr \mu m)$	$W/(m^2 sr \mu m)$
Landsat-4	0,49	1983	1982	-1,0
	0,57	1795	1795	0,0
	0,66	1539	1539	0,0
	0,84	1028	1028	0,0
Landsat-5	0,49	1983	1982	-1,0
	0,57	1976	1976	0,0
	0,66	1536	1537	1,0
	0,84	1031	1031	0,0
Landsat-7	0,48	1997	1995	-2,0
	0,56	1812	1812	0,0
	0,66	1533	1533	0,0
	0,84	1039	1038	-1,0
Landsat-8	0,44	-	1895	-
	0,48	-	2005	-
	0,56	-	1821	-
	0,66	-	1549	-
	0,87	-	952	-
			Sesgo	-0,3
			Desv. estándar	0,7
			RMSE	0,8

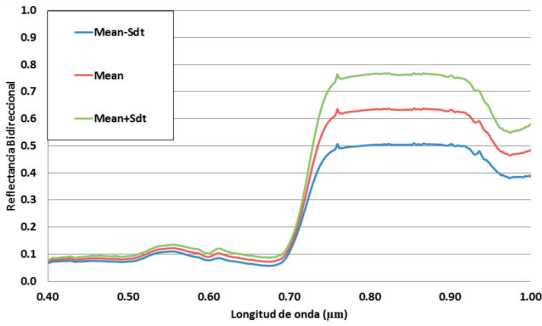


Figura 4. Firma espectral de *Calandrinia grandiflora*.

Library (ASL), la cual cuenta con más de 2400 firmas de espectros de materiales naturales y artificiales. Incluye las bases de datos de otras tres librerías: la librería espectral de *Johns Hopkins University* (JHU), la librería espectral de *Jet Propulsion Laboratory* (JPL), y la librería espectral de *United*



Figura 5. Selección de firmas espectrales de ASL por categoría en RSR Calculator.

States Geological Survey (USGS - Reston). La Librería ASL incluye espectros de reflectividad de rocas, minerales, suelos lunares, suelos terrestres, materiales hechos por el hombre, meteoritos, vegetación, nieve y hielo, cubriendo el dominio de longitud de onda visible e infrarrojo térmico (0,4 a 15,4 µm) (Figura 5).

Tabla 2. Convolución de la firma espectral de *Calandrinia grandiflora* para las bandas del visible e infrarrojo cercano de distintas misiones espaciales.

Satélite	Banda	Ancho de banda (µm)	Longitud de onda Efectiva (µm)	Reflectividad <i>Calandrinia</i>
Landsat-7	Azul	0,450 - 0,520	0,479	0,083
	Verde	0,530 - 0,610	0,561	0,110
	Rojo	0,630 - 0,690	0,661	0,079
	IRC	0,780 - 0,900	0,835	0,633
Landsat-8	Aerosol	0,433 - 0,453	0,443	0,081
	Azul	0,450 - 0,515	0,483	0,083
	Verde	0,525 - 0,600	0,562	0,114
	Rojo	0,630 - 0,680	0,655	0,078
IKONOS	IRC	0,845 - 0,885	0,865	0,636
	Blue	0,445 - 0,516	0,496	0,098
	Verde	0,506 - 0,595	0,559	0,118
	Rojo	0,632 - 0,698	0,666	0,104
Pleiades	IRC	0,757 - 0,853	0,792	0,595
	Blue	0,430 - 0,550	0,501	0,100
	Verde	0,500 - 0,620	0,561	0,121
	Rojo	0,590 - 0,710	0,650	0,096
Quickbird	IRC	0,740 - 0,940	0,835	0,631
	Blue	0,450 - 0,520	0,479	0,084
	Green	0,520 - 0,600	0,545	0,109
	Red	0,630 - 0,690	0,651	0,094
	NIR	0,760 - 0,900	0,807	0,611

3.3. Convolución de espectros atmosféricos.

RSR *Calculator* también permite el cálculo de parámetros para la corrección atmosférica como la transmisividad de la atmósfera, la cual fue calculada en este trabajo a partir de la convolución de espectros de transmisividad atmosférica obtenidos con el modelo de transferencia radiativa MODTRAN (Berk et al., 1999).

Se calculó el coeficiente de transmisividad de la atmósfera (τ) en un sitio de calibración /validación LAB-net (Mattar et al., 2014), cuyas coordenadas son 34,62°S, 70,95°O, para 30 fechas distintas distribuidas de forma aleatoria a lo largo del año 2013, utilizando dos maneras diferentes. La primera consistió en calcular los valores de τ utilizando el *Atmospheric Correction Parameter Calculator (ACPC)* de Barsi et al. (2003) disponible en el sitio web de la NASA-GSFC <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>. Los valores entregados por el ACPC son derivados de una base de datos de perfiles atmosféricos generados con NCEP *reanalysis*, el tipo de atmósfera, fecha y locación del sitio de interés. ACPC genera entre sus *outputs* los parámetros para la corrección atmosférica de las bandas térmicas de Landsat-5, 7 y 8, y los perfiles atmosféricos en formato de *input* para modelo MODTRAN.

Luego de la obtención de los valores del parámetro τ con la herramienta de Barsi et al. (2003), Se utilizaron los mismos perfiles atmosféricos para calcular los espectros de transítividad en MODTRAN y luego fueron procesados en RSR

Calculator para obtener los coeficientes de transmisión de la atmósfera de las mismas fechas para el sitio de calibración/validación.

La figura 6 muestra la comparación entre los valores de transmisión de la atmósfera obtenidos con ACPC y los espectros de MODTRAN filtrados en RSR *Calculator*. Los resultados indican que existe un ajuste entre los valores obtenidos a partir de Barsi et al. (2003) y los obtenidos a través de MODTRAN y RSR *Calculator*, con R^2 de 0,997 y 0,994 para Landsat-7 y Landsat-8, respectivamente. Por otra parte, en ambos casos se observó un RMSE y sesgos menores a 0,02 W/(m² sr μ m).

4. Conclusión

La aplicación de RSR *Calculator* abarca de forma amplia el espectro electromagnético, como es el caso de la región óptica con el cálculo de parámetros como la irradiancia solar extraterrestre por banda, o el caso mostrado para la región térmica con el filtrado de datos espectrales para obtener el coeficiente de transmisión de la atmósfera. El software RSR *Calculator* es de libre uso y fue desarrollado por el Laboratorio para el Análisis de la Biósfera (LAB) de la Universidad de Chile (Ref. 228209), para cualquier proceso de calibración y validación remota. El RSR *Calculator* permite calcular de forma sencilla y rápida la convolución entre una determinada función filtro y cualquier espectro, ya sea de reflectancia, emisividad u otra magnitud física. RSR *Calculator* cuenta con tres tipos de entradas de datos espectrales en los que se puede calcular ESUN a partir de un espectro solar; filtrar una serie de firmas espectrales de reflectividad pertenecientes a la base de datos de ASL y también es posible procesar cualquier firma espectral medida en terreno, en condiciones de laboratorio o modelado que el usuario disponga.

RSR *Calculator* es una aplicación versátil capaz de entregar una solución práctica en el procesamiento de datos espectrales. Esta característica transforma al software en una herramienta útil y sencilla para su aplicación en el proceso de calibración/validación de cualquier tipo de sensor remoto.

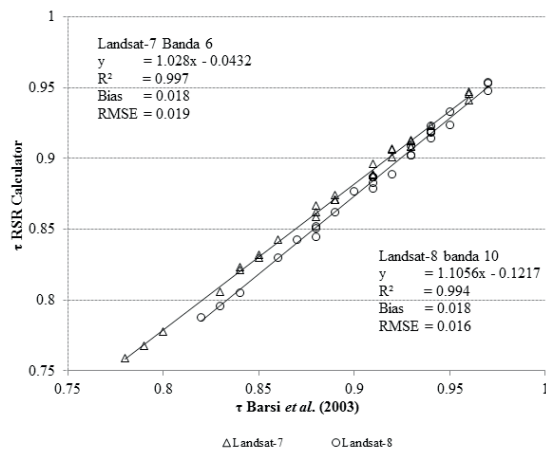


Figura 6. Comparación de los valores de transmisividad utilizando los modelos MODTRAN/RSR *Calculator* y Barsi et al. (2003).

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado en parte por los proyectos Fondecyt-Iniciación 11130359, proyecto U-inicia

VID-UChile 4/0612 y programa Santander-VID UChile para jóvenes investigadores. Los autores también agradecen a Simon Hook por el envío de la *Aster Spectral Library* y a la NASA-GSFC por el libre uso de la aplicación *Atmospheric Correction Parameter Calculator*.

Referencias

- Baldridge, A.M., Hook, S.J., Grove, C.I., Rivera, G. 2009. The ASTER Spectral Library Version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, 113(4): 711-715. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.11.007>
- Barsi, J.A., Barker, J.L., Schott, J.R. 2003. An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. En: *Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 21-25 July. Toulouse, France.
- Berk, A., Anderson, G.P., Acharya, P.K., Chetwynd, J.H., Bernstein, L.S., Shettle, E.P., Matthew, M.W., Adlergolden, S.M. 1999. *MODTRAN4 User's Manual*. Air Force Research Laboratory, Space Vehicles Directorate, Hanscom AFB, MA 01731-3010.
- Chander, G., Markham, B., Helder, D.L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5): 893-903. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Liang, S. 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Surfaces*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Mattar, C., Santamaría-Artigas, A., Durán-Alarcón, C., Olivera-Guerra, L., Fuster, R. 2014. LAB-net the first Chilean soil moisture network for remote sensing applications. En: *Proceedings of the IV Recent Advances in Quantitative Remote Sensing*, 22-26 September. Torrent, Spain.
- Neckel, H., Labs, D. 1984. The solar radiation between 3300 and 12500 Å. *Solar Physics*, 90(2): 205-258. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00173953>
- Rossow, W.B., Kinsella, E., Wolf, A., Gardner, L. 1985. Description of reduced resolution radiance data. WCRP/ISCCP, WMO/TD No. 58, 132 pp.
- Santamaría-Artigas A, Aros, D., Olivera-Guerra, O., Durán-Alarcón, C., Mattar, C. 2013. Primera caracterización espectral de *Calandrinia grandiflora*. *III Congreso de Flora Nativa*, 5-7 de Septiembre. Santiago, Chile.
- Teillet, P.M., Staenz, K., Williams, D.J. 1997. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics of remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment*, 61(1): 139-149. [http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00248-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00248-9)
- Thuillier, G., Hersé, M., Simon, P.C., Labs, D., Mandel, H., Gillotay, D., Foujols, T. 1998. The visible solar spectral irradiance from 350 to 850 nm as measured by the SOLSPEC spectrometer during ATLAS I Mission. *Solar Physics*, 177(1-2): 41-61. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004953215589>
- Thuillier, G., Hersé, M., Labs, S., Foujols, T., Peetermans, W., Gillotay, D., Simon, P.C., Mandel H. 2003. The solar spectral irradiance from 200 to 2400 nm as measured by SOLSPEC Spectrometer from the ATLAS and EURECA missions. *Solar Physics*, 214(1): 1-22. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1024048429145>
- Wehrli, C. 1985. Extraterrestrial Solar Spectrum. *WRC Pub.* 615.