

El potencial de los parámetros biofísicos de LSA SAF

García-Haro, F. Javier^{1 a}; Meliá Miralles, Joaquín^a; Camacho-de Coca, Fernando^b

^aDpto. Física de la Tierra y Termodinámica, Facultat de Física, Universitat de Valencia
Dr. Moliner, 50, 46100, Burjassot, Valencia, ESPAÑA

^bEOLAB. ICMUV. PO BOX 22085. Valencia, ESPAÑA

RESUMEN

La finalidad principal de LSA SAF es el desarrollo e implementación de algoritmos para obtener parámetros de la superficie adaptados a las capacidades que ofrecen los nuevos satélites de EUMETSAT. Este trabajo describe las características fundamentales de los productos de la vegetación: FVC, LAI y FAPAR. Actualmente, en LSA SAF se producen estimaciones diarias de estos parámetros sobre Europa, África y Sudamérica a partir de datos SEVIRI/MSG. Dichos productos, que capturan adecuadamente la dinámica de la cubierta a escala regional y global, se distribuyen en tiempo real a la comunidad de usuarios.

Palabras claves: LSA SAF, parámetros de la cubierta vegetal, SEVIRI/MSG

ABSTRACT

The scope of the LSA SAF is the development and implementation of algorithms, which take full advantage of remotely sensed data from EUMETSAT satellites. The life cycle of EUMETSAT satellites put the LSA SAF in a privileged position as a product/service provider for monitoring of climate and environment. The high rate of acquisition provided by the SEVIRI instrument guarantees the availability of spatially consistent cloud-free data for adequately monitoring both the seasonality of vegetation and the long term trends in the state of vegetation. Currently, FVC, LAI and FAPAR daily products are already generated on a pixel-by pixel basis in the SEVIRI/Meteosat resolution over Europe, Africa and South America.

Keywords: LSA SAF, vegetation parameters, SEVIRI/MSG

Introducción

Los programas de Observación de la Tierra proporcionan la herramienta fundamental para monitorizar, a escala regional y global, las variables de estado del sistema ambiental terrestre, y realizar el seguimiento temporal de las mismas. El desarrollo de instrumentos de observación de la Tierra de última generación (POLDER/ADEOS, SEVIRI/MSG, VEGETATION/SPOT, MERIS/ENVISAT, MODIS/TERRA) ha mejorado significativamente las capacidades espectrales y direccionales, con las que observar la reflectividad de las superficies. En parti-

cular, dichos sensores permiten acceder al dominio direccional de la reflectividad, permitiendo caracterizar la BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*), con el valor añadido de una mejor resolución espectral.

EUMETSAT ha desarrollado la red de centros de excelencia denominados SAF (Satellite Application Facilities), cuyo objetivo es diseñar algoritmos, procesar datos y obtener productos destinados, principalmente, a la comunidad de climatólogos y meteorólogos, mediante el uso sinérgico de los sistemas EUMETSAT de nueva

1 Contacto autor: Tel: +34 963 543111 Fax: +34 963 543385

Correo electrónico: j.garcia.haro@uv.es

Copyright: Universidad Nacional del Centro de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

generación: el MSG (Meteosat Second Generation, Meteosat 8-10) y el EPS (European Polar System), primer satélite meteorológico europeo de órbita Polar (serie MetOp). El largo ciclo de vida de dichos satélites coloca a estos centros en una situación privilegiada, ofreciendo productos/servicios con un valor añadido para la observación del clima y del medio ambiente. Se trata de la primera iniciativa europea destinada a producir y distribuir en tiempo real variables de estado del sistema ambiental terrestre.

Este trabajo se ha desarrollado en el contexto de LSA SAF (Land Surface Analysis SAF), encargado de generar variables de la superficie a partir de los satélites EUMETSAT. Los productos LSA SAF pueden dividirse en parámetros radiativos (flujos de radiación, albedo, temperatura y emisividad) y parámetros geo-biofísicos (cobertura nevosa, humedad de la superficie y productos de vegetación).

En este contexto, la Universidad de Valencia es la responsable de desarrollar los algoritmos operacionales para estimar los parámetros de vegetación, incluyendo el desarrollo de los algoritmos, la implementación operacional de los prototipos, el análisis de los productos y la validación científica de los mismos. Las variables que hemos utilizado para caracterizar la cubierta vegetal han sido la fracción de cubierta vegetal (FVC) y el índice de superficie foliar (LAI). La nueva versión de los productos (v2.1) proporciona, además, la fracción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por la vegetación (FAPAR).

Estas variables se consideran adecuadas para observar la dinámica de la cubierta a escala regional y global y son prioritarias para estudiar los ciclos de carbono y agua, la variabilidad climática, la predicción meteorológica y numerosas aplicaciones de la biosfera. En este tipo de aplicaciones, los productos MSG ofrecen importantes ventajas respecto a otros productos actualmente disponibles:

(i) Proporcionan datos consistentes espacialmente a una escala global, resolviendo los problemas de inhomogeneidad asociados al uso de bases de datos de carácter regional o local.

(ii) La alta frecuencia temporal del sensor SEVIRI/MSG permite muestrear la BRDF a lo largo del ciclo diurno y obtener estimaciones filtradas de nubes con una resolución temporal elevada (diaria, decenal), la cual es necesaria para monitorizar cambios bruscos en la cubierta vegetal durante el ciclo de desarrollo.

(iii) El volumen de datos y el coste de los productos SEVIRI/MSG es mucho menor que el de

los productos de resolución alta y media, lo que los hace especialmente adecuados en estudios a una escala regional y global.

Algoritmos operacionales

La metodología para estimar la FVC se basa en una estrategia que combina las ventajas de un modelo geométrico (análisis de mezclas espectrales) con un modelo probabilístico que tiene en cuenta la variabilidad natural de las componentes puros o *endmembers* (García-Haro et al., 2005a,b; 2007a). El algoritmo modela la reflectividad de la superficie a partir de la contribución de la señal de interés (vegetación) y del suelo de fondo. Ambas componentes vienen caracterizadas de una forma estadística a partir de una suma de funciones gaussianas. De esa manera, se recoge la variabilidad de cada variedad vegetal y tipo de suelo presente en la escena. Las etapas principales del algoritmo son (ver figura 1):

1. Normalización de la anisotropía de la BRDF, a partir de la inversión de modelos "kernel-driven".
2. Utilización de información temporal, para extraer las fechas con mayor presencia de suelo y vegetación en cada píxel.
3. Extracción de atributos lineales (variables estandarizadas e índices optimizados), que hacen las estimaciones menos sensibles a factores externos (iluminación, color del suelo) y las sombras.

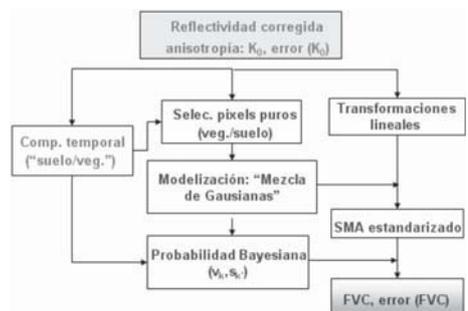


Fig. 1. Diagrama de flujo del algoritmo FVC sobre datos SEVIRI/MSG.

4. Caracterización de los *endmembers* a partir de distribución estadísticas utilizando información "a priori" disponible.

5. Modelización de los *endmembers* como mezcla de gaussianas, las cuales representan variedades (subclases) de vegetación y suelo presentes en la escena.

6. Aplicación de la teoría de Bayes para calcular la probabilidad "a posteriori" de cada píxel en cada una de las sub-clases.

7. Estimación de la FVC como una suma pesada de la contribución de cada sub-clase presente en el píxel (modelo probabilístico).

8. Cálculo del error, combinando: (1) propagación de errores de los *inputs* y (2) errores del proceso de selección de los *endmembers*.

9. Estimación del LAI a partir de la FVC utilizando relaciones semi-empíricas (Roujean and Lacaze, 2002) con coeficientes característicos de cada biotipo y corrigiendo los errores asociados al "clumping" de los elementos vegetales (Chen et al. 2005).

El prototipo desarrollado para estimar FAPAR se basa en el trabajo de Roujean and Bréon (1995), que establece una relación estadística entre un índice de vegetación (RDVI) y la FAPAR para una geometría óptima (plano principal). La aplicabilidad de dicha metodología sobre datos SEVIRI/MSG se ha demostrado en diferentes estudios (Camacho-de Coca et al. 2007).

El resultado de los algoritmos desarrollados son estimaciones de FVC, LAI y FAPAR corregidas de la anisotropía de la BRDF, es decir, de la influencia en la reflectividad de la geometría de observación e iluminación, efecto muy crítico a la resolución SEVIRI/MSG.

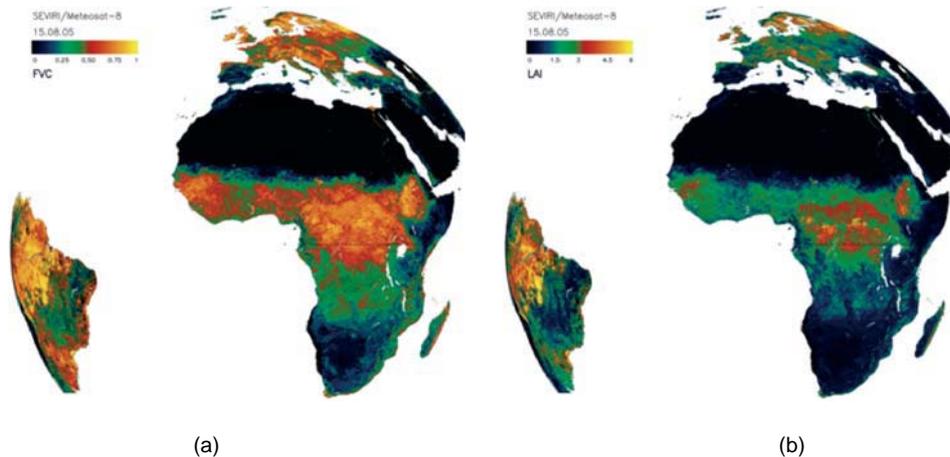
Descripción de los productos

La figura 1 muestra un ejemplo de los productos diarios FVC y LAI, los cuales se generan de forma rutinaria en LSA SAF desde Septiembre de 2005 a partir de datos SEVIRI/MSG. Cada

producto viene acompañado de información adicional a nivel de cada píxel individual. Dicha información incluye la incertidumbre de la estimación y un control de calidad ("quality flag", QF) asociado a las condiciones específicas en que fue realizada la estimación (calidad de los inputs, información sobre la presencia de trazas de agua o nieve en el píxel, etc.).

El algoritmo utiliza como inputs valores de la reflectividad corregida de anisotropía en 3 canales SEVIRI localizados en las regiones del rojo (VIS-0.6), infrarrojo cercano (VIS-0.8) e infrarrojo medio (IR-1.6). Con el fin de mejorar la consistencia temporal de los productos diarios y eliminar errores atribuibles a la presencia de nubes, el algoritmo utiliza como inputs estimaciones que resultan de acumular observaciones en un periodo de síntesis de varios días, asociando a cada observación un peso semi-gaussiano con un tiempo característico de 5 días (Geiger et al. 2006). Los productos no presentan prácticamente discontinuidades, excepto en zonas cubiertas por nieve (píxeles no procesados).

Actualmente, los algoritmos producen estimaciones diarias en tiempo real de FVC, LAI y FAPAR sobre Europa, África y Sudamérica con una resolución espacial SEVIRI/Meteosat (3 km en el nadir). La características espaciales (geolocalización y resolución especial) de los productos corresponden al instrumento SEVIRI/MSG. Sin embargo, con el fin de procesar y distribuir los productos de una forma eficiente se ha dividido el disco SEVIRI en cuatro regiones geográficas rectangulares, las cuales se muestran en la figura 3.



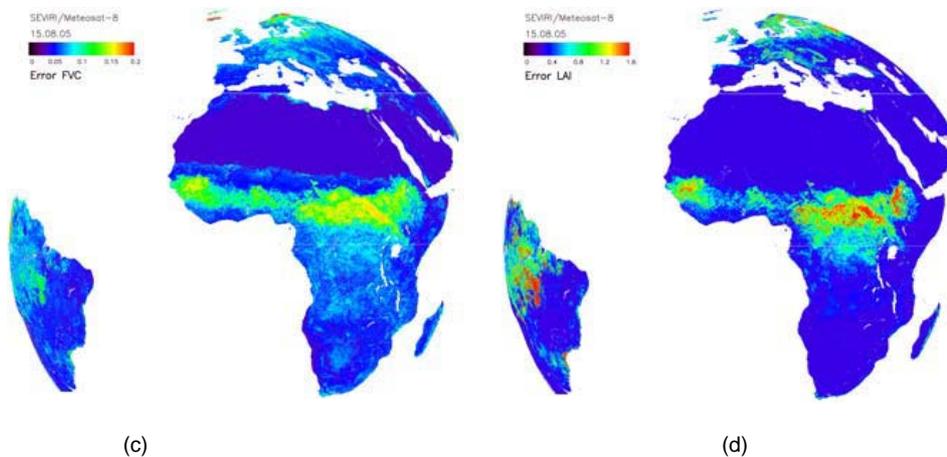


Fig. 2. Ejemplo de productos diarios FVC (2a) y LAI (2b) del sensor SEVIRI a bordo del satélite MSG, correspondientes al 15 de Septiembre de 2005. Los errores asociados a FVC y LAI se muestran en las figuras 2c y 2d, respectivamente.

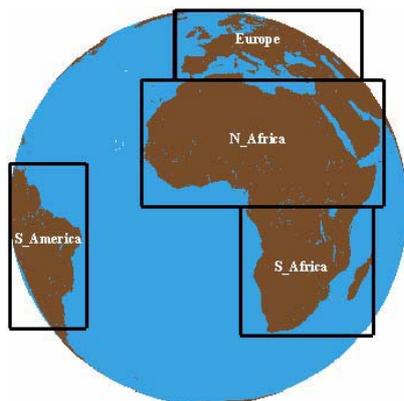


Fig 3. Las regiones geográficas de los productos SEVIRI/MSG.

La tabla 1 muestra algunas de las características principales los productos SEVIRI/MSG. Dichos productos se distribuyen en formato HDF5 desarrollado por el NCSA (*National Center for Supercomputing Applications*) de la Universidad de Illinois [<http://hdf.ncsa.uiuc.edu/>]. Cada fichero incluye tres imágenes: el producto, su incertidumbre asociada y su QF, así como información relevante (metadatos) contenida en los atributos HDF5.

Los productos se generan en tiempo real en el sistema operacional LSA SAF (EUMETSAT) y están accesibles de forma libre y gratuita a la comunidad científica internacional a través del

portal LSA SAF del Instituto de Meteorología de Portugal (<http://landsaf.meteo.pt>). A través de dicho portal se proporciona a los usuarios información relativa a los algoritmos, las características técnicas de los productos e información general acerca del estado de validación de los productos (García-Haro et al. 2007b).

Tabla 1. Características de los productos de la cubierta vegetal SEVIRI (FVC, LAI y FAPAR)

Cobertura:	disco SEVIRI/MSG (pixels ocupados por superficie terrestre)
Distribución:	Europa, N_Africa, S_Africa,S_America
Formato:	HDF5 (comprimido)
Resolución:	MSG (3km×3km en el nadir, situado a 0°Este)
Proyección:	imágenes SEVIRI <i>level 1.5</i>
Rango:	0 – 1 (FVC) ; 0-7 (LAI), 0-1 FAPAR
Rango de error:	0-0.2 (FVC) ; 0-1.5 (LAI) 0-0.2 (FAPAR)
Precisión:	0.1-0.2 (FVC) 0.6-1.0 (LAI) 0.1-0.2 (FAPAR)
Formato:	16-bit (Producto y error) 8 bit (QF)
Factor de escala:	10000 (FVC); 1000 (LAI); 10000 (FAPAR)
Frecuencia:	diaria (posteriormente decenal y mensual)

Validación de los productos

La implementación operacional de los prototipos requiere tanto el desarrollo metodológico como la validación científica de los productos. La validación se entiende como el proceso de evaluar mediante técnicas independientes la calidad de los productos derivados a partir de satélite. Sin embargo para productos de media y baja resolución esta comparación resulta más difícil de llevar a cabo debido a la heterogeneidad de la variable de estudio y a la carencia de datos espaciales precisos sobre zonas extensas correspondientes a diferentes ecosistemas representativos. Se ha hecho pues necesaria una coordinación con los diferentes programas que operan con satélites y medidas *in situ* y redes internacionales de validación (VALERI, METLAND, MODLAND, SAFARI y BELMANIP).

La metodología de validación se ha llevado a cabo a través de dos actividades principales:

(i) Validación directa.

Incluye la caracterización *in-situ* de la cubierta vegetal en áreas extensas (Martínez et al. 2007) y la comparación de los productos con datos de referencia proporcionados por redes de validación correspondientes a diferentes biotipos distribuidos en las 4 regiones geográficas SEVIRI. Se han considerado medidas obtenidas en el contexto de las redes de validación VALERI y SAFARI (Privette et al 2005). Los resultados (ver ejemplo en la figura 4) han mostrado que el producto LAI SEVIRI/MSG presenta un buen acuerdo con las medidas *in-situ* realizadas en las grandes savanas de África y reproducen adecuadamente las variaciones estacionales de la cubierta vegetal en esta región.

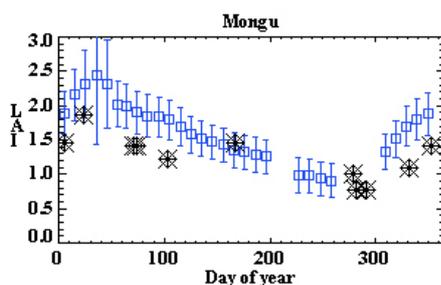


Figura 4. Comparación entre el perfil temporal anual del producto LAI SEVIRI/MSG y las medidas *in situ* (símbolos negros) obtenidas a través de la red de validación SAFARI durante el periodo 2000-2002, correspondientes a la zona de Maun (-15.44° Sur, 23.25° Este).

(ii) Validación indirecta.

Ha permitido demostrar la consistencia espacial y temporal mediante la comparación directa con productos operacionales generados en misiones y proyectos actuales, principalmente MODIS/TERRA, VGT-CYCLOPES/SPOT y MERIS/ENVISAT. Los productos utilizados en la intercomparación presentan una resolución espacial mayor (típicamente de 1km). Un paso previo ha consistido en reproyectar estos productos a la resolución SEVIRI/MSG, teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas a cada uno. El estudio se ha realizado considerando un periodo de 18 meses de productos SEVIRI (v2.1).

Los resultados demuestran que el producto MSG es consistente tanto espacial como temporalmente con los productos disponibles (Landsat Validation Report, 2006; Camacho-de Coca et al, 2006). Las diferencias entre MSG y el resto de productos son del mismo orden o inferiores a las diferencias que presentan los diferentes productos entre sí. Además, dichas diferencias están generalmente dentro de los márgenes de error que se pretende alcanzar (ver tabla 1).

La figura 5 muestra un ejemplo típico de intercomparación entre las estimaciones del LAI generadas por cuatro productos equivalentes. Se aprecia un elevado grado de consistencia temporal del producto MSG con el resto de productos a lo largo de un periodo de 1 año, así como la fiabilidad de las barras de error asociadas al producto MSG. Se han obtenido resultados similares considerando los principales biotipos de las 4 regiones geográficas SEVIRI. Los problemas principales se encuentran en la región de Europa durante los meses de invierno en zonas situadas en latitudes elevadas. Ello se debe principalmente a la reducción considerable del número de observaciones causado por la presencia de nubes y nieve, así como a las limitaciones inherentes a los modelos de reflectividad para ángulos cenitales elevados (>50°). Estos errores se reducirán en el futuro utilizando datos AVHRR/MetOp.

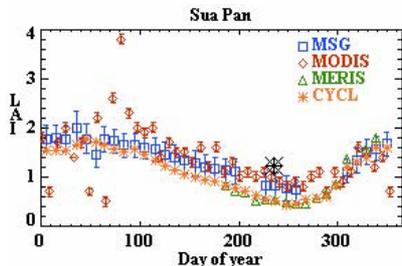


Fig. 5. Comparación entre los perfiles temporales anuales del producto LAI SEVIRI/MSG y de otros productos equivalentes, en la zona de referencia de Sua Pan (-15.522° Sur, 23.25° Este). El símbolo negro corresponde a medidas in situ proporcionadas por la red SAFARI.

Conclusiones y perspectivas futuras

La finalidad principal LSA SAF es el desarrollo e implementación de algoritmos adaptados a las capacidades que ofrecen los nuevos satélites EUMETSAT. Actualmente, los algoritmos producen estimaciones diarias de FVC, LAI y FAPAR a partir de datos SEVIRI/MSG sobre Europa, África y Sudamérica a la resolución espacial SEVIRI/MSG. Los productos incluyen, además, información adicional (barras de error, fiabilidad de la estimación) a nivel de cada píxel individual. Estos productos son de libre acceso para la comunidad de usuarios a través del portal LSA SAF (<http://landsaf.meteo.pt>). Los diferentes estudios de validación realizados indican que los productos SEVIRI/MSG presentan una elevada consistencia espacial y temporal, y son adecuados para el estudio la dinámica de la cubierta a escala regional y global.

Durante la siguiente fase del proyecto LSA SAF (2007-2012) se continuarán las actividades de validación de los productos SEVIRI/MSG y se desarrollará una nueva cadena de producción utilizando datos AVHRR/MetOp.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos LSA SAF (EUMETSAT), DULCINEA (CGL2005-04202) y DESURVEY (EC-003950). Los datos MERIS se han obtenido a través de un proyecto ESA cat-1. Los autores desean agradecer al proyecto CYCLOPES por proporcionar la base de datos VEGETATION/SPOT y a las redes VALERI y SAFARI por proporcionar datos para la validación directa de los productos.

Referencias

Chen, J. M., C. H. Menges, S. G. Leblanc, 2005, Global mapping of foliage clumping index using multi-angular satellite data, *Rem. Sensing Environ.*, 97: 447 – 457
 Camacho-de Coca, F. 2006. Validation of MSG vegetation products. Inter-comparison with

MODIS and PARASOL products. SAF Visiting Scientist Report, 100 pp (available at <http://landsaf.meteo.pt>).

Camacho-de Coca, F. 2007. Evaluation of the Land-SAF FAPAR prototype along one year of MSG BRDF data: Algorithm, Product description, and inter-comparison against equivalent satellite products and ground-truth. SAF Visiting Scientist Report, 60 pp (EOLAB_06R06).

García-Haro, F.J., Sommer, S., Kemper, T. 2005a. Variable multiple endmember spectral mixture analysis (VMESMA), *International Journal of Remote Sensing*, 26:2135-2162.

García-Haro, F.J., Camacho-de Coca B., Meliá, J., Martínez, B. 2005b. Operational derivation of vegetation products in the framework of the LSA SAF project. EUMETSAT Meteorological Satellite Conference. Dubrovnik (Croatia). 19-23 September, (Eumetsat Publ.: Darmstadt), ISBN 92-9110-073-0, ISSN 1011-3932, pp 247-254.

García-Haro, F. J., Camacho-de Coca, F., Meliá, J. 2007a, A probabilistic spectral mixture analysis of multispectral vegetation scenes, *Remote sensing of environment*, In preparation.

García-Haro, F.J., Camacho-de Coca, F., Meliá, J. 2007b. Vegetation Parameters Product User Manual (VEGA PUM), SAF/LAND/UV/PUM_VEGA/2.0, January 2007, 42 pp (available at <http://landsaf.meteo.pt>).

Geiger, B., Roujean, J.L., Franchisteguy, B.L. 2006. Product User Manual (PUM) Land Surface Albedo, December 2006, 41 pp.

Martínez, B., García-Haro, F.J. and Camacho-de-Coca, F. 2007. Derivation of high-resolution leaf area index maps in support of validation activities. Application to the cropland Barrax site. *Agricultural Forest and Meteorology*, In review.

Land-SAF Validation Report. SAF/LAND/IM/VR/1.5, January 2006, 136 pp.

Roujean J.-L. and F.-M. Bréon, 1995, Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements, *Remote Sensing of Environment*, 51:375-384, 1995.

Roujean J.-L. and R. Lacaze, 2002, Global mapping of vegetation parameters from POLDER multiangular measurements for studies of surface-atmosphere interactions: A pragmatic method and its validation. *J. Geophysical Res.*, 107D, 10129-10145.

Privette J. L., M. Mukelabai, N. Hanan, and Z. Hao. 2005. SAFARI 2000 Surface Albedo and Radiation Fluxes at Mongu and Skukuza, 2000-2002. Data set. Available on-line [<http://daac.ornl.gov/>] from Oak Ridge National Laboratory Distributed Active Archive Center, Oak Ridge, Tennessee, U.S.A.