

Análisis de la evolución de los parámetros del modelo MRPV del producto MISR L2 Land Surface durante el 2006 en la España Peninsular

P. Arrogante-Funes^{*1}, *C.J. Novillo*¹, *R. Romero-Calcerrada*¹, *R. Vázquez-Jiménez*^{1,2}, *R.N. Ramos-Bernal*^{1,2}

¹ *Universidad Rey Juan Carlos. C/Tulipán s/n, 28933 Móstoles (Madrid).*

² *Universidad Autónoma de Guerrero. UAI. Cuerpo Académico de Riesgos Naturales y Geotecnología. Av. Lázaro Cárdenas s/n. C.U. Chilpancingo. Guerrero. México.*

patricia.arrogante@urjc.es, carlos.novillo@urjc.es, r.romero.calcerrada@urjc.es, rnramos@uagro.mx, rvazquez@uagro.mx

RESUMEN: Las distintas ocupaciones de suelo reflejan la luz según la longitud de onda y los ángulos de observación e iluminación, es decir, son anisotrópicas. Por ello, la geometría de captación es algo a tener en cuenta en el análisis de imágenes de satélite, pero al mismo tiempo se puede aprovechar lo que dicha anisotropía nos infiere. En este sentido, existen diversos trabajos en los que se obtuvieron buenos resultados a la hora de caracterizar propiedades estructurales de las masas vegetales o en el campo de las clasificaciones de usos de suelo mediante información multiangular. En el presente trabajo nuestro objetivo se centra en analizar la evolución de los parámetros del modelo MRPV, que se proporcionan en el producto elaborado MISR L2 Land Surface del sensor Multiangle Imaging Spectro-Radiometer (MISR). Para ello se han estudiado los valores medios y la desviación estándar que dichos parámetros alcanzan en las clases cultivo de secano y coníferas del CORINE Land Cover, en quince imágenes distribuidas a lo largo del año 2006 para la España peninsular. Además, se han comparado las medias de los parámetros con las de los ángulos cenitales de iluminación. Los resultados muestran que los valores medios alcanzados por los parámetros ρ_0 , Θ y k en la banda del rojo y del IRC, en general, son más altos en la clase forestal que en la clase agrícola. Sin embargo, en el parámetro ρ_0 ocurre lo contrario. Los valores medios del parámetro ρ_0 , en las bandas del rojo e IRC, siguen una tendencia similar a la de los ángulos cenitales de iluminación a lo largo del tiempo aunque con alguna excepción. Nuestros resultados invitan a pensar que la información multiangular sumada a la multispectral puede aportar mejoras en la determinación de las distintas ocupaciones de uso de suelo mediante teledetección.

Palabras-clave: Anisotropía, CORINE Land Cover, modelo MRPV, Multiangle Imaging SpectroRadiometer, Multiangularidad, Teledetección

1. INTRODUCCIÓN

Cada cubierta tiene una respuesta espectral que puede caracterizarla, puesto que para cada longitud de onda se dan diferentes niveles de absorción, reflexión y transmisión (Chuvieco 2010). Esta respuesta diferenciada se conoce como firma espectral. Además diferentes experiencias de laboratorio (Sandmeier y Deering 1999), de campo (Kimes et al., 1985) con sensores aerotransportados (Camacho de Coca et al., 2002), o mediante satélite, han resaltado el carácter anisotrópico de las cubiertas vegetales para reflejar la radiación incidente. Por tanto esta dependencia debe permitir al igual que con la firma espectral conseguir una firma multiangular que caracterice los tipos de cubiertas y además su estructura tridimensional. Esto implicaría una mejora en la clasificación de los distintos usos de suelo que hay en una determinada zona.

La cuestión es compleja ya que las distintas variaciones en la composición estructural pueden producir confusiones entre las clases de ocupación. El suelo refleja más la radiación que la cubierta vegetal y pueden existir grandes diferencias entre tipos de suelo, por la mayor o menor presencia de agua entre sus partículas (Yang et al., 2011), la existencia de vegetación más o menos densa influye en el comportamiento espectral total (Widlowski et al., 2004). Vegetación más elevada ocasiona zonas de sombra en las que la radiación captada por el sensor será menor, y la disposición de las hojas en una forma más o menos organizada está relacionada con la respuesta multiangular (Hill et al., 1998).

Para la caracterización de las propiedades multiangulares de las cubiertas se recurre al estudio de la Función de Distribución de Reflectancia Bidireccional (BRDF), pero esta no puede ser directamente medida. Por razones prácticas la reflectancia de una cubierta medida es, generalmente, normalizada por la reflectancia de un panel de referencia lo más cercano posible a una superficie lambertiana. El resultado de esta normalización es el Factor de Reflectancia Bidireccional (BRF) (Engelsen et al., 1996).

Para la caracterización de esta anisotropía en las cubiertas terrestres han ido surgiendo paulatinamente sensores como Advanced Along-Track Scanning Radiometer (AATRS) en Envisat, Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances (POLDER) en Advanced Earth Observing Satellite (ADEOS), Compact High Resolution Imaging Spectrometer (CHRIS) a bordo de Proba-1 de la misión Project for OnBoard Autonomy, Clouds and the Earth's Radiant Energy System (CERES), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance radiometer (ASTER), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) y Multi-angle Imaging SpectroRadiometer (MISR) estos tres últimos en el satélite Terra de la NASA los cuales permiten la obtención de imágenes multiangulares del mismo sitio al mismo tiempo mediante distintas pasadas (Diner et al., 2005). Por tanto, esta dependencia implica que presentan un comportamiento anisótropo (Nicodemus et al., 1977).

En Diciembre de 1999 se lanza con éxito la plataforma Terra del programa EOS (Earth Observing System) de la NASA, la cual lleva a bordo varios sensores que aportan distintos datos. Uno de los instrumentos que va a bordo es MISR, cuya principal característica es que suministra imágenes multiangulares prácticamente simultáneas con una resolución espacial media. Con lo que se pueden calcular y tener en cuenta las respuestas espectrales de los distintos elementos y además su anisotropía. Las principales aportaciones de MISR están llevándose a cabo en la caracterización y cuantificación de nubes (Zhao y Di Girolamo 2004) en el estudio de aerosoles y partículas de la atmósfera (Diner et al. 2005) y en la caracterización, diferenciación y obtención de variables de las cubiertas terrestres (Selkowitz 2010). Pudiéndose obtener desde fracción de cubierta de arbolado hasta datos de biomasa (Chopping et al., 2008).

MISR aporta productos elaborados con distinto nivel de procesamiento disponibles para los usuarios. El nivel 2 de procesamiento incluye datos con una resolución de 1,1 km que explotan las posibilidades multiangulares de este sensor. El MIL2ASLS o MISRL2 Land Surface incluye parámetros del modelo MRPV para caracterizar la reflectancia bidireccional (BRF) con corrección atmosférica ya realizada. Estos parámetros pueden ser de gran interés para la caracterización de las cubiertas y para la distinción de los usos de suelo de cualquier zona.

Este sensor está diseñado para obtener información multiangular global de la Tierra de manera casi simultánea, con una resolución media que posibilita mejorar las estimaciones de distintas variables atmosféricas y de la superficie terrestre. A bordo del satélite heliosíncrono Terra, MISR permite obtener datos del mismo punto a la misma hora, cada como mucho 9 días dependiendo de la latitud de la Tierra, repitiéndose el ciclo completo cada 16 días, lo que comprende 233 orbitas.

La particularidad de MISR es que tiene 9 cámaras de empuje que toman datos desde distintas posiciones nominalmente 0, +26,1, -26,1, +45,6, -45,6, +60,0, -60,0, +70,5 y -70,5 grados con respecto a la vertical. Así el sensor capta líneas de información hacia delante y hacia detrás de su posición central, con una longitud de 2800 km entre los extremos y un tiempo que no supera los 6-7 minutos entre la captura de la primera y la última cámara. Las cámaras que captan imágenes hacia delante en el sentido del vuelo se nombran con una "f" y las que lo hacen hacia atrás con una "a" (forward y afterward). La cámara cenital se nombra con una "n". Además para nombrarlas se les antepone una "A", "B" o "D" desde la visión más cercana al cenital, y sucesivamente hasta la más lejana del cenital. El que los ángulos de las 9 cámaras sean los descritos anteriormente no es aleatorio, sino que se debe a una serie de objetivos. La cámara cenital An es en la que menos afectan los efectos atmosféricos y topográficos y es la que sirve para comparar con los sensores tradicionales. Las cámaras Aa y Af a 26,1 grados respecto del cenit optimizan la obtención de imágenes estereoscópicas. Las cámaras a 45,6 grados respecto del nadir, Ba y Bf, sirven para conseguir captar las propiedades de los aerosoles. Las cámaras Ca y Cf, a 60 grados del nadir realizan captaciones con el doble de atmósfera que la cenital. Estudios indican que de esta forma se minimizan los efectos direccionales de los tipos de nubes, con lo que son idóneas para cuantificar y caracterizar el albedo. Las cámaras a 70,5 grados del nadir son las que mayor ángulo presentan y pretenden conseguir el mínimo efecto cenital. Además las cámaras van a ambos lados del centro del sensor con los mismos ángulos dos a dos para obtener mediciones similares en los dos hemisferios terrestres (Diner et al. 2010)

De cada momento se toman nueve líneas por banda, estas líneas se tienen que corregir y juntar en todos los datos correspondientes al mismo punto de observación. Luego se refieren al elipsoide WGS84 y al

sistema de proyección Space Oblique Mercator. El que se utilice este sistema de referencia hace por un lado, que se minimicen las distorsiones, en general se consiguen unos errores inferiores a 60 metros salvo para la cámara Da, en la cual estos errores pueden ser del orden de 400-600 metros (Jovanovic et al., 2002) y por otro que al no ser el habitual sistema de referencia sea difícil el manejo de las imágenes.

Los sensores captan la escena con una resolución espacial original de 275 metros. Como se tendrían que transmitir muchos datos continuamente a bordo, se realiza una media en algunas de las bandas y por esta razón algunas cámaras tienen resoluciones de 1,1 kilómetros y otras de 275 metros.

Existen cuatro bandas de cada imagen por cada cámara. Están bandas se centran en los 446, 558, 672, 867 nanómetros de longitud de onda, que corresponden con el azul, verde, rojo e infrarrojo cercano.

El ciclo es de 233 orbitas por cada 16 días. Hay datos de un mismo punto como mucho cada 9 días por el solape entre cada órbita.

En el presente trabajo nuestro objetivo se centra en analizar la evolución de los parámetros del modelo MRPV, que se nos proporcionan en el producto elaborado MISR L2 Land Surface. Para ello se han estudiado los valores medios y la desviación estándar que dichos parámetros alcanzan en las clases cultivo de secano y coníferas CORINE Land Cover, en quince imágenes distribuidas a lo largo del año 2006 para la España peninsular. Además, se han comparado las medias de los parámetros con las de los ángulos cenitales de iluminación.

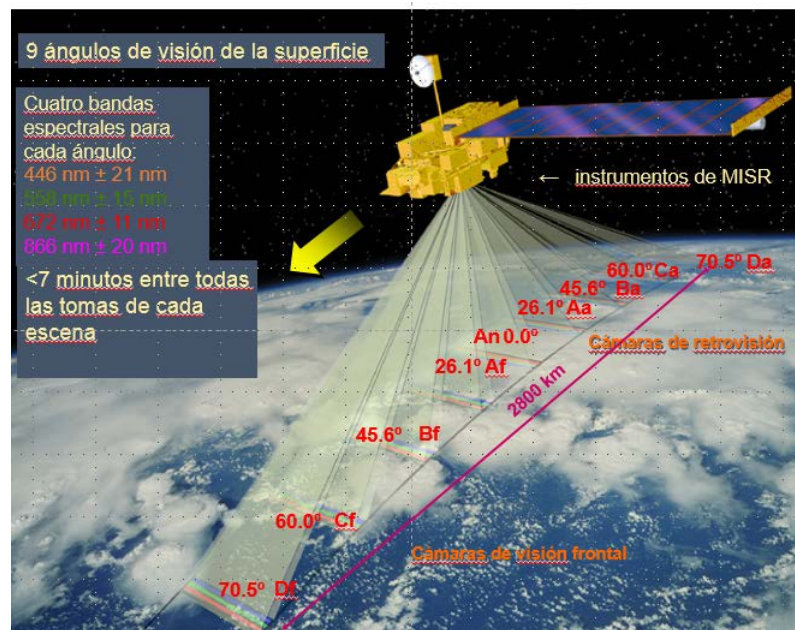


Figura 1. Toma de datos del sensor MISR (tomada de MISR workshop Misr overview: David J. Diner, Cal Tech. Workshop Mayo 2005 <http://eosweb.larc.nasa.gov/PRODOCS/misr/workshop/>).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se toman 15 imágenes (ver tabla 1), de fechas comprendidas durante el año 2006, del producto elaborado MISR L2 Land Surface en la España peninsular. Este producto proporciona los parámetros ρ_0 , Θ y k para cuatro bandas, azul, verde, rojo e infrarrojo cercano, del modelo MRPV. Se trata de un modelo semiempírico del factor de reflectancia bidireccional (BRF), propuesto por Rahman et al., (1993). El factor de reflectancia bidireccional es un factor que, teniendo en cuenta una geometría de captación (ángulos cenitales y azimutales de iluminación y observación), considera la energía que le llega a la cubierta y la que es reflejada por ésta. Además la compara con lo que reflejaría un cuerpo lambertiano, es decir, un cuerpo que no absorbe energía y además la refleja igual en todas direcciones (Schaeppman-Strub G. 2004).

El parámetro ρ_0 es un factor de multiplicación que no altera la forma de la función BRF sino que únicamente amplía su efecto. El parámetro k está relacionado con la densidad y estructura de la vegetación y además con el ratio de sombra y luz solar del suelo (Widlowski et al., 2004). Valores de k mayores que 1 dan

una forma de campana en la banda del rojo (Widlowski et al., 2001). Doseles vegetales homogéneos estructuralmente, suelen producir k menores que la unidad y formas de la curva de BRF de bol. La mayor parte de las ocupaciones del suelo que se encuentran en el medio natural producen formas de bol mientras que las de campana son más raras, éstas suelen deberse a disposiciones de dosel vegetal irregulares sobre un suelo más brillante. El parámetro Θ de asimetría en el plano de observación produce un incremento de los valores de BRF cuando el sensor está en el mismo lado que la iluminación o al otro, lo que se traduce en una asimetría en el plano de observación.

De estas imágenes se han extraído los datos de los parámetros del modelo MRPV (ρ_0 , Θ y k) en las bandas del rojo y del infrarrojo cercano (IRC) con 1.1km de resolución, cruzándolas con la cartografía CORINE Land Cover 2006 (EEA, 2007) de la misma zona que las imágenes. Esta cartografía fue filtrada para solo trabajar con píxeles homogéneos. De este modo se ha podido estudiar el valor medio de estos parámetros en las distintas fechas para dos clases la 211(cultivo secano) y 312 (coníferas).

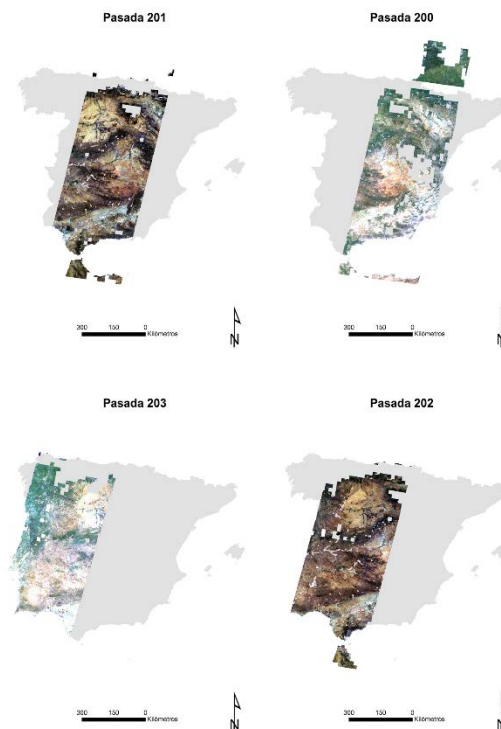


Figura 2. Ejemplo de pasadas MISR en la península Ibérica. Para este trabajo se utilizaron imágenes pertenecientes a las pasadas 200, 201, 202, 203.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores medios del parámetro k en todas las bandas y fechas oscilan entre 0,4 y 0,9 siendo el parámetro con valores más altos, seguido del parámetro Θ cuyos valores oscilan entre 0,01 y 0,3 aproximadamente. Por último los valores del parámetro ρ_0 oscilan entre los valores 0,01 y 0,07 (Figura 3).

En líneas generales los valores medios alcanzados por el parámetro ρ_0 son mayores en las fechas de invierno y menores en las fechas de verano. Siguiendo una tendencia progresiva desde las fechas de verano a invierno creciente y de invierno a verano decreciente. Esto ocurre en la banda del rojo y en la banda del infrarrojo cercano aunque es mucho más marcado en la banda del rojo (Figura 3). Esta tendencia es similar a la que siguen los ángulos cenitales de iluminación a lo largo del año. Es decir, ángulos parecidos y altos tienen valores de ρ_0 altos y lo mismo ocurre a la inversa. (Tabla 1). Los valores medios alcanzados para la banda del rojo son mayores que para la banda del IRC.

El parámetro Θ sigue una tendencia menos marcada que el parámetro ρ_0 , aunque, se aprecia que los valores medios en las fechas de verano son en general, mayores que en las fechas de invierno. Al contrario que ocurre con el parámetro ρ_0 (Figura 3). El valor medio del parámetro Θ es más alto en todas las fechas para la banda del IRC que para la banda del rojo.

En el parámetro k también está menos marcada la tendencia general a lo largo del año, aunque, se puede inferir cómo ángulos de iluminación cenitales más bajos implican valores más altos de dicho parámetro, con alguna excepción (Figura 3).

Tabla 1. Imágenes MISR L2 Land Surface utilizadas en el presente estudio. Número asignado para referirse a cada una de ellas junto con fecha, pasada, órbita y ángulo cenital medio de iluminación.

Número	Fecha	Pasada	Órbita	Ángulo cenital iluminación
1	18/01/2006	202	32374	61.28
2	12/02/2006	201	32738	64.11
3	14/03/2006	203	33175	46.11
4	26/04/2006	200	33801	30.24
5	10/05/2006	202	34005	26.90
6	19/05/2006	201	34136	23.67
7	04/06/2006	201	34369	22.44
8	22/07/2006	201	35068	25.32
9	31/07/2006	200	35199	26.64
10	07/08/2006	201	35301	28.48
11	01/09/2006	200	35665	34.96
12	17/09/2006	200	35898	39.72
13	11/11/2006	201	36699	58.60
14	13/12/2006	201	37165	64.64
15	22/12/2006	200	37296	64.49

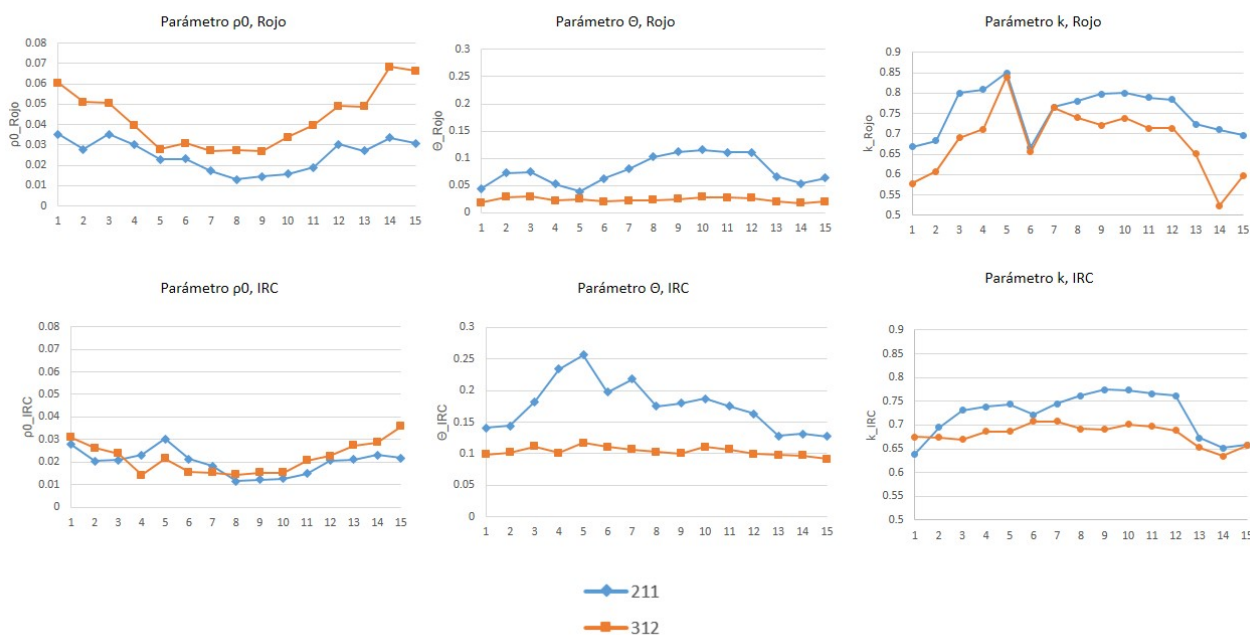


Figura 3. Gráficos de evolución datos medios de cada parámetro banda para las clases CORINE Land Cover 211(cultivo seco) y 312(coníferas) a lo largo de las 15 imágenes de 2006.

En general en los parámetros Θ y k los valores medios alcanzados por la clase 211 son mayores para todas las fechas y en las dos bandas, con excepción de k_{rojo} en el cual los valores medios, en la fecha 5,6 y

7, son similares en las dos clases. Este parecido se puede deber a la similitud en el fondo que condiciona la señal que le llega al sensor. En el estudio de Sedano et al., (2008) se indica que sus resultados muestran valores positivos y altos cuando el suelo esta descubierto a diferencia de los valores que obtiene en bosque cerrado. Esto encaja con nuestros resultados en cuanto a que los datos medios son más altos y siempre positivos en la clase 211 y no en la clase 312.

Los parámetros Θ y k alcanzan mayor desviación típica en la banda del rojo que en la del IRC. La clase con mayor dispersión es la 312, para todos los parámetros. El hecho de que esta clase presente mayor dispersión que la agrícola podría estar en relación con que estos parámetros dependan de la estructura vegetal, como (Widlowski et al., 2001) apunta. Ya que desde el punto de vista estructural la clase forestal es muy heterogénea en la península. Parece que ρ_0 al ser un factor multiplicativo únicamente y aparentemente más dependiente de los ángulos cenitales, tal como se observa en la Figura 3, tendría menos relación con las propiedades estructurales de las cubiertas vegetales que los otros dos parámetros.

Tabla 2. Desviación estándar de los valores de los parámetros del modelo MRPV en las 15 fechas para la clase 211 (cultivo de secano) y 312(coníferas) en la banda del rojo e infrarrojo cercano.

Clase	Fecha	ρ_0		Θ		k	
		Rojo	IRC	Rojo	IRC	Rojo	IRC
211	18/01/2006	0.019	0.012	0.011	0.031	0.072	0.046
	12/02/2006	0.012	0.008	0.016	0.027	0.054	0.035
	14/03/2006	0.016	0.010	0.022	0.039	0.049	0.031
	26/04/2006	0.015	0.008	0.021	0.039	0.083	0.034
	10/05/2006	0.009	0.006	0.013	0.039	0.072	0.026
	19/05/2006	0.012	0.008	0.019	0.037	0.081	0.049
	04/06/2006	0.007	0.007	0.023	0.045	0.087	0.044
	22/07/2006	0.005	0.005	0.020	0.026	0.045	0.034
	31/07/2006	0.004	0.004	0.025	0.025	0.040	0.031
	07/08/2006	0.005	0.005	0.022	0.027	0.043	0.031
	01/09/2006	0.007	0.006	0.023	0.022	0.040	0.031
	17/09/2006	0.016	0.006	0.021	0.023	0.048	0.033
	11/11/2006	0.012	0.008	0.014	0.020	0.054	0.041
	13/12/2006	0.016	0.009	0.013	0.027	0.072	0.045
	22/12/2006	0.014	0.009	0.016	0.020	0.066	0.044
312	18/01/2006	0.030	0.019	0.005	0.016	0.103	0.058
	12/02/2006	0.025	0.014	0.015	0.019	0.130	0.058
	14/03/2006	0.026	0.011	0.013	0.019	0.105	0.049
	26/04/2006	0.020	0.004	0.006	0.017	0.101	0.048
	10/05/2006	0.010	0.008	0.007	0.020	0.090	0.032
	19/05/2006	0.018	0.007	0.006	0.015	0.064	0.046
	04/06/2006	0.013	0.007	0.010	0.019	0.147	0.064
	22/07/2006	0.013	0.006	0.009	0.015	0.126	0.059
	31/07/2006	0.011	0.005	0.009	0.012	0.106	0.048
	07/08/2006	0.023	0.007	0.013	0.014	0.107	0.044
	01/09/2006	0.025	0.009	0.010	0.014	0.102	0.044
	17/09/2006	0.041	0.010	0.011	0.012	0.110	0.043
	11/11/2006	0.025	0.015	0.007	0.013	0.108	0.057
	13/12/2006	0.026	0.017	0.007	0.015	0.125	0.058
	22/12/2006	0.034	0.022	0.006	0.015	0.101	0.070

La diferencia entre los valores medios alcanzados entre clases en las distintas bandas son más notables en todos los parámetros en la banda del rojo, sin embargo, la combinación Θ_IRC es la que presenta mayor diferencia relativa en todas las fechas. Lo que implica que sería idóneo utilizarla para diferenciar entre estas dos clases de usos de suelo.

El estudio tiene una serie de fechas con sobre todo imágenes de verano y de invierno, pero sería idóneo tener más fechas de primavera y otoño. Para ver con más detalle que sucede en ese tiempo. Aun así el hecho de que la tendencia no sea la misma que la que siguen los datos medios de los ángulos cenitales en las mismas fechas nos hace pensar que dependen de factores fenológicos y estructurales, lo que los hace idóneos para mejorar la forma de distinguir entre usos de suelo o para utilizarlos en la estimación de aplicaciones de interés forestal.

4. CONCLUSIONES

Con el presente trabajo hemos evaluado la posibilidad de diferenciar entre distintas ocupaciones del suelo a partir de información multiangular. Tras el análisis de una clase forestal y otra agrícola, en nuestra zona de estudio, se infiere que hay diferencias en la respuesta media de dichas clases para un gran número de combinaciones parámetro-banda. Es decir, los parámetros presentan diferentes valores medios en función de la fecha, clases y bandas estudiadas.

Los valores medios alcanzados por el parámetro ρ_0 son mayores en las fechas de invierno y menores en las fechas de verano. Siguiendo una tendencia progresiva desde las fechas de verano a invierno creciente y de invierno a verano decreciente. Sin embargo en el estudio faltarían más fechas de primavera y otoño para distinguir más claramente esta progresión. Este es el parámetro en el que más visible parece este hecho lo que podría implicar una fuerte relación con la posición del sol.

La variabilidad es mayor en las clase 312 y en la banda del rojo y la combinación Θ_IRC parece ser idónea para separar entre estas dos clases de uso de suelo, pues las diferencias entre los valores de las dos clases a lo largo del tiempo son mayores que en las otras 5 combinaciones estudiadas.

Los parámetros Θ y k parecen tener una mayor relación con propiedades estructurales de la vegetación.

Por tanto la anisotropía o la multiangularidad de los datos, es un hecho a tener en cuenta en la teledetección actual que puede ser muy provechoso para diferenciar entre usos de suelo o caracterizar cubiertas vegetales.

AGRADECIMIENTOS

Los datos fueron obtenidos de la NASA Langley Research Center Atmospheric Science Data Center POWER Project.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Camacho de Coca, F., García-Haro, F. J., Gilabert, M. A., y Meliá, J. (2002). "La anisotropía de la BRDF: Una nueva signatura de las cubiertas vegetales." *Revista de Teledetección*, 18, pp. 29-46.
- Chopping, M., Su, L., Rango, A., Martonchik, J. V., Peters, D. P. C., y Laliberte, A. (2008). "Remote sensing of woody shrub cover in desert grasslands using MISR with a geometric-optical canopy reflectance model." *Remote Sensing of Environment*, 112(1), pp. 19-34.
- Chuvieco, E. (2010). "Teledetección ambiental: la observación de la tierra desde el espacio". Ariel.
- Diner, D. J., Ackerman, T. P., Braverman, A. J., Bruegge, C. J., Chopping, M. J., Clothiaux, E. E., Davies, R., Di Girolamo, L., Kahn, R. A., Knyazikhin, Y., Liu, Y., Marchand, R., Martonchik, J. V., Muller, J., Nolin, A. W., Pinty, B., Verstraete, M. M., Wu, D. L., Garay, M. J., Kalashnikova, O. V., Davis, A. B., Davis, E. S., y Chipman, R. A. "Ten years of MISR observations from Terra: Looking back, ahead, and in between." *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International*, pp. 1297-1299.
- Diner, D. J., Martonchik, J. V., Kahn, R. A., Pinty, B., Gobron, N., Nelson, D. L., y Holben, B. N. (2005b). "Using angular and spectral shape similarity constraints to improve MISR aerosol and surface retrievals over land." *Remote Sensing of Environment*, 94(2), pp. 155.
- EEA (2007). CLC2006 Technical guidelines. In, European Environment Agency. Cope.

- Engelsen, O., Pinty, B., Verstraete, M.M., & Martonchik, J. 1996. Parametric bidirectional reflectance factor models: evaluation, improvements and applications. Office for Official Publications of the European Communities.
- Hill, N. S., Belesky, D. P., y Stringer, W. C. (1998). "Encroachment of Endophyte-infected on Endophyte-free Tall Fescue." *Ann Bot*, 81(4), pp. 483-488.
- Jovanovic, V. M., Bull, M. A., Smyth, M. M., y Jia, Z. (2002). "MISR in-flight camera geometric model calibration and georectification performance." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 40(7), pp. 1512-1519.
- Kimes, D. S., Norman, J. M., y Walthall, C. L. (1985). "Modeling the Radiant Transfers of Sparse Vegetation Canopies." *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, GE-23(5), pp. 695-704.
- Nicodemus, F. E., Richmond, J. C., Hsia, J. J., Ginsberg, I. W., y Limperis, T. (1977). "Geometrical considerations and nomenclature for reflectance." en B. W. Lawrence, A. S. Steven, y H. Glenn, .eds. *Radiometry*, Jones and Bartlett Publishers, Inc., pp. 94-145.
- Rahman, H., Pinty, B., & Verstraete, M.M. 1993. "Coupled Surface-Atmosphere Reflectance" (CSAR) Model 2. Semiempirical Surface Model Usable With NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer Data. *J. Geophys. Res.*, 98, 20791-20801.
- Sandmeier, S. R., y Deering, D. W. "A new approach to derive canopy structure information for boreal forests using spectral BRDF data." *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1999. IGARSS '99 Proceedings. IEEE 1999 International*, pp. 410-412 vol.1.
- Schaepman-Strub, G., Schaepman, M. E., Painter, T. H., Dangel, S., y Martonchik, J. V. (2006). "Reflectance quantities in optical remote sensing definitions and case studies." *Remote Sensing of Environment*, 103(1), pp. 27-42.
- Sedano, F., T. Lavergne, L. M. Ibanez y P. Gong 2008. "A neural network-based scheme coupled with the RPV model inversion package". *Remote Sensing of Environment* 112, 3271-3283.
- Selkowitz, D. J. (2010). "A comparison of multi-spectral, multi-angular, and multi-temporal remote sensing datasets for fractional shrub canopy mapping in Arctic Alaska." *Remote Sensing of Environment*, 114(7), pp. 1338-1352.
- Widlowski, J. L., Pinty, B., Gobron, N., Verstraete, M. M., Diner, D. J., y Davis, A. B. (2004). "Canopy Structure Parameters Derived from Multi-Angular Remote Sensing Data for Terrestrial Carbon Studies." *Climatic Change*, 67(2), pp. 403-415.
- Widlowski, J. L., Pinty, B., Gobron, N., Verstraete, M. M., y Davis, A. B. (2001). "Characterization of Surface Heterogeneity Detected at the MISR/TERRA Subpixel Scale." *Geophysical Research Letters*, 28(24), pp. 4639-4642.
- Yang, G. J., Zhao, C. J., Liu, Q., Huang, W. J., y Wang, J. H. (2011). "Inversion of a Radiative Transfer Model for Estimating Forest LAI From Multisource and Multiangular Optical Remote Sensing Data." *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(3), pp. 988-1000.
- Zhao, G. Y., y Di Girolamo, L. (2004). "A cloud fraction versus view angle technique for automatic in-scene evaluation of the MISR cloud mask." *Journal of Applied Meteorology*, 43(6), pp. 860-869.