

Influencia de la Resolución Espacial de la Temperatura de Superficie Teledetectada en el Contexto NDVI – T_o

Girolimetto, Daniela ; Venturini, Virginia y Rodríguez, Leticia

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral
C.C. 217, 3000 Santa Fe, ARGENTINA vventurini@fich.unl.edu.ar

RESUMEN

En este trabajo se analiza la influencia de diferentes resoluciones espaciales de imágenes de temperatura de brillo (T_o) en el espacio contextual NDVI- T_o , comúnmente utilizado para estimar la evapotranspiración. Se examinaron los diagramas NDVI- T_o en una zona de la provincia de Santa Fe-Argentina, para cinco días. Las resoluciones espaciales estudiadas son las características de los sensores infrarrojos y de microondas pasivos (MP). Los resultados indicarían que la resolución espacial de los sensores MP impactaría la relación contextual NDVI- T_o .

Palabras Clave: Temperatura de superficie, NDVI, resolución espacial

ABSTRACT

In this work the influence of different spatial resolutions of brightness temperatures in the contextual space NDVI- T_o , commonly used to estimate the evapotranspiration, is analyzed. The NDVI- T_o diagrams obtained for a region in Santa Fe-Argentina for five days were studied. The studied spatial resolutions are characteristics of infrared and passive microwave sensors (MP). The results would indicate that the pixel resolution of MP sensors may affect the NDVI- T_o relationship.

Keywords: Surface Temperature, NDVI, spatial resolution

Introducción

El monitoreo de actividades agrícolas, el manejo del recurso hídrico y forestal requieren la estimación de la evaporación y evapotranspiración (ET) a diferentes resoluciones espaciales y temporales. La teleobservación o sensoramiento remoto satelital provee una cobertura espacial de datos que son fundamentales para el monitoreo de variables ambientales y ecosistemas en general.

Recientemente, Jiang e Islam (2001) han propuesto una metodología para la estimación directa de la fracción evaporable (FE). El método propuesto por los autores estima FE espacialmente distribuida basándose en una interpretación contextual de una relación entre dos variables teleobservadas: la temperatura superficial radiométrica (T_s) y el índice de vegetación diferencial normalizado (Normalized Difference Vegetation Index-NDVI). La ventaja dominante de

una formulación contextual es que es válida para una gran gama de condiciones superficiales y posiblemente válida sobre un amplio rango de resoluciones espaciales. Básicamente, este método utiliza el diagrama NDVI- T_s , de forma tal que FE se puede calcular con un número mínimo de parámetros libres. Otra ventaja sobresaliente de este método es que no requiere exactitud en las estimaciones de la temperatura de la superficie. Por otro lado, Jiang e Islam, (2001; 2004) y Venturini et al. (2004), han demostrado que la temperatura obtenida con una sola banda térmica (T_o), es suficiente para extraer valores razonablemente precisos de FE.

El método se ha validado y su sensibilidad a los aspectos técnicos de diferentes sensores satelitales fue investigada. Sin embargo, T_s es la principal limitante dado que las ondas térmicas infrarrojas emitidas por la superficie terres-

tre no penetran las nubes, por lo que no alcanzan a ser registradas por los sensores ópticos bajo condiciones climáticas adversas. Una posible solución para este problema son los sensores de microondas pasivos (MP) que registran información diariamente y operan con longitudes de ondas más largas, que no son afectados por las condiciones climáticas ni por la fuente de iluminación. En la actualidad se cuenta con metodologías para estimar T_s con este tipo de sensores (Basit, et al. 1998; Fly et al. 2003).

Uno de los desafíos que presentan los MP es su baja resolución espacial, comparada con cualquier sensor de ondas térmicas infrarrojo. En general se puede pensar en una relación de 60 km/1km.

Se han realizado estudios sobre la variabilidad de la geometría del espacio NDVI- T_s en escalas espaciales inferiores a 1 km². Por ejemplo, Kustas et al. (2003) investigaron las variaciones del diagrama NDVI- T_s (Figura 1) con imágenes del satélite Landsat TM. En dicho trabajo se usaron píxeles de 96 x 96m. Recientemente, French et al. (2005) publicaron un estudio realizado con imágenes ASTER, cuya resolución espacial es de 15-90 m. Sin embargo, estudios con resoluciones espaciales compatibles con las de los radiómetros no se han encontrado en la búsqueda bibliográfica realizada hasta ahora.

Si bien opera a resoluciones espaciales bajas, el sensor Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth (AMSR-E) a bordo del satélite EOS-Aqua, tiene previsto técnicamente la posibilidad de reproducir los datos registrados a una resolución de 10x10 Km en todas las frecuencias de microondas que este sensor explora (Ashcroft y Wentz, 2000). La combinación de la información registrada con sensores ópticos y MP requiere un exhaustivo análisis previo, dada las características de variabilidad espacial de T_s .

En este trabajo se analizó la influencia del tamaño del píxel en la determinación de la temperatura de brillo de un canal infrarrojo térmico (T_o). Posteriormente, se analizó la influencia de la resolución espacial de la temperatura en el diagrama NDVI- T_o y en el cálculo de EF a través del parámetro F propuesto por Jiang e Islam (2001).

Metodologías aplicadas

Método de Jiang e Islam

El método de Jiang e Islam (2001), propone una modificación de la ecuación de Priestley y Taylor (1972), reemplazando el parámetro a de

Priestley-Taylor por un nuevo parámetro F. La ecuación modificada puede ser aplicada a regiones heterogéneas y con diferentes condiciones de humedad en la superficie.

Esta metodología se basa en una interpretación del Triángulo NDVI- T_s , así llamado por la distribución triangular de los píxeles que se observa en el gráfico generado con T_s y un índice de vegetación, como por ejemplo el NDVI, tal como se puede observar en la Figura 1

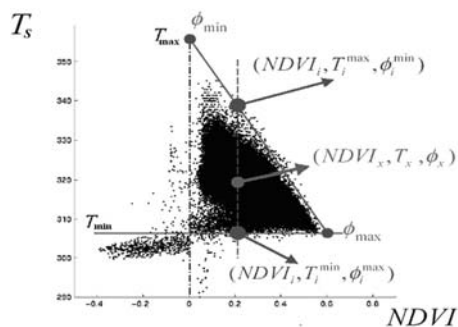


Figura 1: Espacio Contextual NDVI- T_s

La interpretación física de la relación NDVI- T_s ha sido objeto de diversas publicaciones. Estas discusiones se centran en la definición del lado superior (o borde cálido) del triángulo, en donde los píxeles con altas T_s tienden a alinearse en forma de una recta bien definida en el rango del NDVI. Jiang e Islam (2001) interpretaron que el borde superior constituye el mínimo valor de ET para cada clase de NDVI, mientras que el borde frío (o lado inferior del triángulo) representa la máxima ET. De esta forma, la magnitud de ET para cada píxel varía dentro de los límites del triángulo.

El valor del parámetro Φ es estimado como una simple interpolación lineal entre ambos lados del triángulo. Esta interpretación del espacio NDVI- T_s es la base de la obtención del parámetro Φ y ET para cada píxel de una imagen satelital. El modelo propuesto por Jiang e Islam es entonces:

$$ET = \Phi \left[\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right] (R_n - G)$$

donde \tilde{a} es la constante psicrométrica, \tilde{A} es la pendiente de la curva de presión de saturación del vapor de agua (SVP), R_n es la radiación neta que llega a la superficie, G el flujo de calor del suelo y Φ el parámetro de Jiang e Islam.

Existe una relación singular entre el rango de variación de F y ciertas características de la superficie. Estas características físicas estarían asociadas a la humedad, conductancia y temperatura de la superficie (Jiang e Islam, 2001). De este modo, el parámetro F puede variar desde cero, para un suelo desnudo y seco, hasta 1,26 para una superficie saturada.

El valor de F para cada píxel de una imagen se obtiene mediante una interpolación lineal que se realiza en dos etapas. Primero se debe definir la pendiente del lado superior del triángulo para los píxeles cuyos NDVI estén comprendidos en el rango $[0,1]$. El valor mínimo global de F ($F_{\min} = 0$), está asociado a una superficie seca sin vegetación, cuyo NDVI=0. El valor máximo global de F ($F_{\max} = a = 1.26$), se define para la temperatura media de los píxeles saturados o donde se observe agua en la superficie. Luego se interpola linealmente el valor de F para los píxeles que están dentro de los límites del triángulo (ver Figura 1).

Cabe destacar que el método es aplicado con la temperatura de brillo de una sola banda térmica (T_0) en reemplazo de la T_s . Por lo tanto de ahora en más nos referiremos al espacio NDVI- T_0 .

Tratamiento de las imágenes de T_0

Los MP poseen una resolución planimétrica baja comparada con cualquier sensor de ondas térmicas infrarrojas. La temperatura estimada de un píxel, es el resultado de la cantidad de radiación emitidas en el mismo y captadas por el sensor. Por ejemplo, si la resolución espacial de una imagen es 10×10 Km, la radiación medida dependerá de la temperatura «promedio» de un área físico-geográfica de 10×10 Km. Es de pensar que existan dentro del área del píxel variaciones naturales, aún dentro de superficies cuya cobertura vegetal y tipo de suelo varían muy gradualmente. La influencia de la resolución espacial de las imágenes de T_0 toma mayor relevancia cuando se intenta rellenar datos faltantes con diferentes fuentes de obtención de los mismos. Surge así la siguiente pregunta: ¿es posible generar los diagramas NDVI- T_0 usando dos fuentes de obtención de T_0 que presentan diferencias importantes en sus resoluciones espaciales y radiométricas?

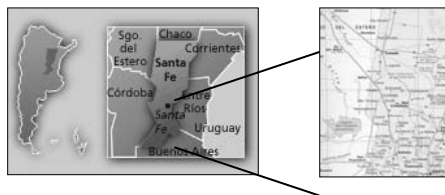
Con este fin, se procesaron imágenes de T_0 obtenidas con un sensor óptico. Se procedió a la agregación de los píxeles a fin de modificar la resolución espacial original de las mismas. Los píxeles originalmente de 1×1 km, se modifica-

ron mediante un simple promedio aritmético de los valores de radiancia de la banda térmica en cuestión (R_0), que posteriormente se tradujeron en valores de temperatura mediante la ecuación de Planck. Se verificó la relación lineal entre R_0 y T_0 antes de modificar el tamaño de los píxeles. Luego se obtuvieron los espacios contextuales NDVI- T_0 con las imágenes de T_0 agregadas y se compararon las geometrías de los diagramas obtenidos.

Cabe destacar que no se incluye en este análisis la variabilidad espacial del NDVI. El objetivo de este trabajo es estudiar el efecto de la resolución espacial de las imágenes de T_0 , dado que esta variable sintetiza el estado energético de la superficie en estudio.

Area de estudio

El área de estudio corresponde a la cuenca inferior del Río Salado, Santa Fe, Argentina, ubicada entre los 29° y 31° de latitud sur y los 62° y 60.5° de longitud oeste.



El río Salado se extiende a lo largo de 2000 kilómetros; nace en la provincia de Salta y desagua en el sistema del río Paraná. La cuenca hidrográfica comprende unos 58.000 km², de los cuales unos 30.000 km² conforman la cuenca propiamente dicha mientras que el resto, unos 28.000 km² corresponden a la subcuenca denominada Bajos Submeridionales que desagua en el río Salado a través del río Calchaquí.

El régimen de precipitaciones presenta alternancia de períodos hídricos secos, normales y húmedos. El incremento del caudal medio del río Salado, que pasó de 71 m³/s en el período 1954-1970 a 176 m³/s en el período 1971-2002, (Ferreira y otros, 2003) es reflejo del período húmedo que atraviesa la provincia de Santa Fe, por el que escurre el tramo inferior del río, desde inicios de los años 70. A su vez, estas nuevas condiciones hidrológicas han inducido cambios en el uso del suelo, donde creció la superficie cultivada en detrimento de la ganadera. Paralelamente, la dinámica hídrica natural fue modificada significativamente por la construcción de obras que, en muchos casos, interfieren con el libre escurrimiento de las aguas.

Datos

El primer satélite EOS, EOS-Terra, fue puesto en órbita en Diciembre de 1999, con el sensor MODIS entre los 5 sensores a bordo. EOS-Terra está a una altitud de 705 Km y recorre la Tierra cada 24 o 48 horas. MODIS tiene 36 bandas espectrales en el rango de los 0,4 - 14,385 μm con una resolución espacial que varía entre los 250 m a los 1000 m. En la actualidad se distribuyen 44 productos derivados de las 36 bandas, los que se dividen en las siguientes categorías: Calibración, Atmosféricos, Superficiales, Criosfera y Oceánicos.

En particular, se utilizó el producto MOD02 que contiene la radiancia o cuentas digitales calibrada y geo-posicionada de las 36 bandas. Las imágenes correspondientes a la banda 1 (rojo) y la banda 2 (infrarrojo cercano) fueron utilizadas para obtener el índice de vegetación NDVI. La banda 31, que registra información en el rango espectral de longitud de onda 10,78-11,28 μm , se usó para determinar T_0 .

En este trabajo se procesaron cinco imágenes MOD02, 2 de ellas correspondientes al mes de septiembre del 2004 y 3 correspondientes a enero del 2005. La fecha y hora de adquisición de las imágenes así como el porcentaje de nubes observado se presentan en Tabla 1.

Tabla 1: Año de adquisición de las imágenes, día del año, hora de adquisición y calidad de las imágenes.

Año	Día del año	Hora de adquisición (UTC)	Calidad de la imagen (% nubes)
2004	259	14:15	0
2004	261	14:05	1
2005	04	13:35	0
2005	05	14:15	46
2005	07	14:05	5

Resultados

El proceso de simulación de imágenes se realizó a través del programa ENVI (ITT Industries, 2005).

Como se explicó anteriormente, las imágenes de la temperatura de brillo de la banda 31 de MODIS (T_{31}) se calcularon a partir de las imágenes MOD02 (de resolución 1km), mediante la utilización de la ecuación de Planck (Rees, 2001). Si bien esta ecuación establece una relación no lineal entre R_0 y T_0 , en la zona bajo estudio y para el rango de temperatura registrado, dicha relación se comporta de forma casi-lineal para píxeles de 1x1 km, como se muestra a modo de ejemplo en la Figura 2.

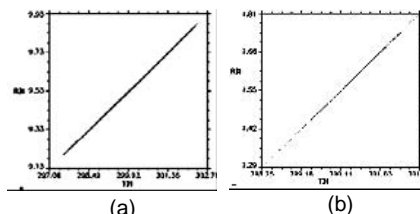


Figura 2: Relación R_{31} - T_{31} para: (a) Resolución 1x1 Km y (b) Resolución 10x10 Km

Dado este comportamiento, es posible suponer una relación lineal entre la radiancia de la banda 31 (R_{31}) y T_{31} para resoluciones mayores a 1km. Por lo tanto, la agregación de píxeles se realizó por simple promedio aritmético de R_{31} que luego se convirtieron en temperaturas.

A partir de la reflectancia de la banda 1 se enmascararon las nubes en las imágenes de temperatura.

Con las bandas 1 y 2 de MOD02 se calculó el NDVI para una resolución espacial de 1x1km. Las imágenes de T_{31} se obtuvieron para resoluciones de 1km, 2km, 4km, 8km y 10km. A modo de ejemplo, la Figura 3 muestra la imagen de NDVI y la Figura 4 las imágenes de T_{31} para diferentes resoluciones espaciales.

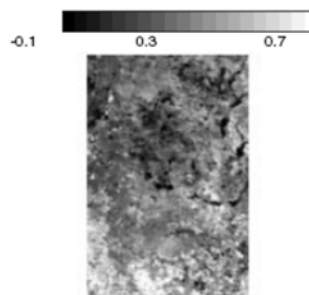


Figura 3: Imagen de NDVI (1x1Km) – Día 259/2004

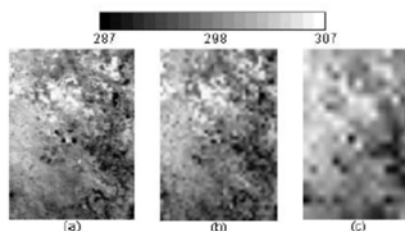


Figura 4: Imágenes de T_{31} – Día 259/2004: (a) Resolución 1x1km (b) Resolución 4x4km (c) Resolución 10x10km

El análisis visual de la Figura 4 indicaría que no existe pérdida sustancial de la información térmica de la región al ir aumentando la resolución espacial. Se calculó la media regional y el desvío estándar (S) de las imágenes agregadas, a fin de corroborar que la distribución espacial original de T_{31} se conserva (Tabla 2).

Los resultados presentados en la Tabla 2 estarían indicando que, en la zona en estudio, la característica espacial de T_{31} original no cambia significativamente en las imágenes agregadas

Tabla 2: Comparación de las medias y desvíos estándares (S) de T_{31} (°K) a diferentes resoluciones.

Día	1x1Km		4x4Km.		10x10Km	
	Media	S	Media	S	Media	S
259	299.02	1.77	299.04	1.78	299.11	1.60
261	295.75	3.96	295.51	4.13	295.72	3.94
04	300.40	0.72	300.39	0.72	300.41	0.73
05	286.40	9.55	286.04	9.91	286.31	9.60
07	304.39	9.52	304.34	9.61	304.26	9.86

A fin de construir los espacios NDVI- T_{31} , todas las imágenes de T_{31} se trabajaron a resolu-

ción 1x1km. Por ejemplo, cada píxel de 10x10km fue dividido en 100 píxeles de 1x1 km de igual temperatura. Las características de los diferentes espacios triangulares están resumidas en la tabla 3.

Se observan diferencias en las pendientes de los límites superiores de los triángulos NDVI- T_{31} . Dichas diferencias ocasionan variaciones en las temperaturas máximas (para NDVI=0) de entre 2 y 6°K, Venturini et al., (2004) encontraron diferencias similares comparando diferentes sensores ópticos con igual resolución espacial. Kustas et al., (2003), analizaron píxeles inferiores a 1 km encontrando similares diferencias. En general, estos resultados indican que imágenes de T_{31} con píxeles más grandes de 6x6 km influirían en el diagrama triangular, más específicamente en el valor de la temperatura máxima para NDVI=0.

Con el fin de profundizar este análisis, se calcularon los valores del coeficiente F propuesto por Jiang e Islam.

Tabla 3: Características de los diferentes espacios triangulares

Res.	Día 259 Año 2004			Día 261 Año 2004		
	NDVI	Pte.	Tmax	NDVI	Pte.	Tmax
	Max		(°K)	Max		(°K)
1 Km	0.70	0.0505	309.12	0.60	0.0310	315.24
2 Km	0.70	0.0454	311.49	0.60	0.0305	316.23
4 Km	0.70	0.0623	307.74	0.60	0.0279	317.98
8 Km	0.70	0.0529	310.17	0.60	0.0240	320.73
10 Km	0.70	0.0571	311.45	0.60	0.0364	314.53

Res.	Día 04 Año 2005			Día 05 Año 2005			Día 07 Año 2005		
	NDVI	Pte.	Tmax	NDVI	NDVI	Tmax	NDVI	Pte.	
	Max		(°K)	Max	Max	(°K).	Max		
1 Km	0.74	0.0690	309.95	0.79	0.0298	328.54	0.81	-	0.0378
2 Km	0.74	0.0718	310.09	0.79	0.0295	329.50	0.81	-	0.0353
4 Km	0.74	0.0586	312.05	0.79	0.0311	329.69	0.81	-	0.0368
8 Km	0.74	0.0707	313.82	0.79	0.0269	333.82	0.81	-	0.0335
10 Km	0.74	0.0869	311.49	0.79	0.0246	334.35	0.81	-	0.0475

Las imágenes de Φ se generaron a partir de las temperaturas máximas (ver Tabla 3) y la temperatura media del agua. Esta última se obtuvo a partir de los píxeles identificados como saturados o agua libre, con NDVI negativo. Cabe aclarar que para el día 04-2005 no se identificaron píxeles saturados o agua libre, por lo que no fue posible obtener la temperatura media del agua. Los valores medios y desvíos estándares de las imágenes de Φ se resumen en la Tabla 4:

Tabla 4: Comparación de las medias y desvíos estándares (S) de los valores de Φ a diferentes resoluciones.

Día	1x1Km		4x4Km.		10x10Km	
	Media	S	Media	S	Media	S
259	0.65	0.11	0.84	0.16	0.95	0.12
261	0.79	0.21	0.83	0.19	0.97	0.16
05	1.05	0.23	1.11	0.17	1.07	0.21
07	0.82	0.17	0.90	0.16	1.13	0.13

Como es de esperar, el valor medio de Φ aumenta a medida que se aumenta la resolución espacial de T_{31} , debido al aumento de las temperaturas máximas calculadas con los diferentes tamaños de píxeles. Se observa que las diferencias en el valor medio estimado de Φ para las diferentes resoluciones oscilan entre 0.04 y 0.3 (6 a 45% del valor medio). Las mayores diferencias se evidencian a partir de tamaños de píxeles superiores a los 6 Km. Batra y otros, (2005) determinaron el valor de Φ para diferentes sensores a resolución 1x1 km. Estos autores obtuvieron diferencias de alrededor del 10% en el valor regional medio de Φ . Venturini y otros (2004) encontraron diferencias en el valor de Φ de aproximadamente el 15% para diferentes sensores a resolución 1x1 km.

La Figura 5 permite observar las imágenes de Φ a diferentes resoluciones espaciales:

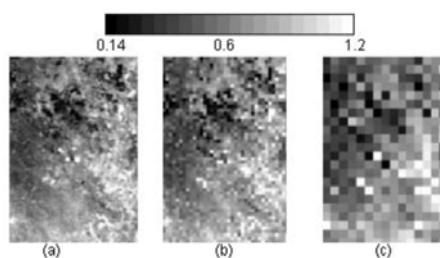


Figura 5: Imágenes de Φ – Día 259/2004: (a) Resolución 1x1 Km, (b) Resolución 4x4Km y (c) Resolución 10x10Km.

El análisis visual ejemplifica los resultados de la Tabla 4. Las diferencias entre las figuras 5 (a) y (b) son imperceptibles, mientras que la figura 5 (c) muestra la influencia de la resolución espacial de T_{31} .

Estos resultados indicarían que el método no es aplicable, en el área en estudio, con imágenes obtenidas con MP, aunque el análisis de las imágenes agregadas de T_{31} no parecen ser significativamente afectadas por la resolución espacial.

Conclusiones

En este trabajo se analizó la influencia de la resolución espacial de la temperatura superficial teledetectada en el contexto NDVI- T_o .

Se compararon visual y estadísticamente las imágenes de T_{31} para diferentes resoluciones, observándose que no existe pérdida sustancial de la información térmica de la región al ir aumentando la resolución espacial de la radian-

cia. La característica espacial de T_{31} original no cambia significativamente en las imágenes agregadas por lo que una imagen de temperatura a 1x1km, 2x2km, 4x4km, 8x8km o 10x10km, pueden representar la temperatura de brillo de la zona bajo estudio.

Las temperaturas máximas correspondientes a la intersección del borde superior del triángulo con el eje de temperaturas presentan diferencias de entre 2 y 6°K, observándose las mayores para tamaños de píxeles de T_{31} superiores a los 6 km, por lo que el diagrama triangular estaría siendo influenciado por píxeles de T_{31} más grandes de 6 km.

Las diferencias observadas en el valor medio estimado de F para resoluciones espaciales inferiores a los 6 Km, son de alrededor del 10% del valor medio estimado de F, consistentes con lo analizado por Batra y otros (2005) y por Venturini y otros (2004); por lo que la distribución espacial de F original se vería afectada a partir de resoluciones superiores a los 6 km.

El método desarrollado por Jiang e Islam arrojaría resultados aceptables de EF con imágenes de T_o de resolución espacial 1 a 6 km². En el caso de píxeles de T_o de 10x10 km, características de los sensores MP, los resultados deberían ser cuidadosamente analizados en términos de ET.

Bibliografía

- Ashcroft, P., Wenzel, F. J., 2000. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) – AMSR Level 2A Algorithm. EOS Project. Goddard Space Flight Center National Aeronautics and Space Administration. Greenbelt, Maryland. November 2000, pp 24.
- Basit, A., Grody, N.C., Peterson, T. C., Williams C. N. 1998. Using the special sensor Microwave/Imager to monitor land surface temperature, wetness and snow cover. Journal of Applied Meteorology, 37, 888-911.
- Batra, N., Islam, S., Venturini, V., Bisht, G., Jiang, L. 2005. Estimation and Comparison of Evapotranspiration from Multiple Satellites for Clear Sky Days. Remote Sensing of Environment, 103, 1-15.
- Becker, F., Li, Z. L. 1990. Towards a local split window method over land surfaces, International. Journal of Remote Sensing., 11(3), 369-393.
- Bisht, G., Venturini, V., Islam, S., Jiang, L. 2005. Estimation of the Net Radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) Terra Data for clear sky days. Remote Sensing of Environment, 97, 52-67.

- Crosson, W., Laymon, C. A., Inguva, R., Schamschula, M. P. 2002. Assimilating remote sensing data in a surface flux–soil moisture model. *Hydrological Processes*, 16, 1645-1662.
- Ferreira, G., Fariás, G., Rodríguez, L. 2003. Comportamiento de niveles freáticos en zonas rurales: Cuenca Inferior del Río Salado, Santa Fe. III Congreso Nacional de Hidrogeología. Rosario, Set. 2003.
- Fily, M., Royer, A., Goita, K., Pringet, C. 2003. A simple retrieval method for land surface temperature and fraction of water surface determination from satellite microwave brightness temperatures in sub-arctic areas. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195-213.
- French, A.N., Jacob, F., Anderson, M.C., Kustas, W.P., Timmermans, W., Gieske, A., Su, Z., Su, H., McCabe, M.F., Li, F., Prueger, J., Brunsell, M.F. 2005. Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA) *Remote Sensing of Environment* 99 55 – 65
- Gage, K. S., Green, J. L. 1982. A Technique for determining the temperature profile from VHF Radar observations. *Journal of Applied Meteorology*, 21, 1146-1149.
- Islam, S., Jiang, L., Eltahir, E. 2002. Satellite based evapotranspiration estimates. Final project report, South Florida Water Management District, September 2002, pp. 74.
- ITT Industries-Solution for data visualization and images analysis. ENVI version 4.2. August 2005. Boulder, Colorado-USA.
- Jiang, L., Islam, S. 2001. Estimation of surface evaporation map over southern GreatPlains using remote sensing data. *Water Resources Research*, 37(2), 329-340.
- Jiang, L., Islam, S., Carlson, T. N. 2004. Uncertainties in latent heat flux measurement and estimation: Implications for using a simplified approach with remote sensing data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(5), 769-787.
- Jiang, L., Islam, S., Bisht G., Venturini, V., Carlson, T., Guo, W., Tarpley, D. 2005. Potential of Satellite-Based Models for Land Surface Evapotranspiration Estimation. Presentación aceptada para ser presentado en American Geophysical Union-2005 Joint Assembly. New Orleans, USA. 23-27 de Mayo de 2005.
- Kustas, W. P., Norman, J.M., Anderson, M.C., French, A.N. 2003. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. *Remote Sensing of Environment* 85 (2003) 429-440.
- Priestley, C. H. B., Taylor, R. J. 1972. On the Assessment of Surface Heat Flux and Evaporation Using Large-Scale Parameters. *Monthly Weather Review*. 100, 81-92.
- Rees, W. G. 2001. *Physical Principles of Remote Sensing*. Cambridge University Press, 2nd edition. Cambridge, UK, 343 pages. ISBN 0521669480.
- Venturini, V., Bisht, G., Islam, S., Jiang L., 2004. Comparison of evaporative fractions estimated from AVHRR and MODIS sensors over South Florida. *Remote Sensing of Environment* 93 (2004) 77-86.