

1.59

Estudio de cambios estacionales de características superficiales derivados de imágenes satelitales MODIS en la región del Monzón Norteamericano (NAM)

Watts Christopher¹, Rodríguez Julio-César², Lizárraga Carlos¹,
Garatuza Jaime³, Yépez Enrico³, Vivoni Enrique⁴, Scott Russell⁵

¹Universidad de Sonora, Departamento de Física, Hermosillo, Sonora, México

Autor para Correspondencia: cwatts@correo.fisica.uson

²Universidad de Sonora, Departamento de Agricultura y Ganadería, Hermosillo, Sonora

³USDA-ARS, Southwest Watershed Research Center, Tucson, Az 85025

⁴Arizona State University, School of Earth and Space Exploration, Tempe, Az

⁵Instituto Tecnológico de Sonora, Ciencias del Agua y Medio Ambiente, Cd. Obregón, Sonora

Resumen

Se analizan las características superficiales en seis sitios en el noroeste de México y suroeste de EUA, dentro de la región del Monzón de Norte América (NAM), utilizándose datos disponibles del satélite MODIS y datos obtenidos en terreno sobre Pastizal (P, Kendall, Az.), Matorral Desértico (MD, Lucky Hills, Az.), Matorral SubTropical (MST, Rayón, Son.) y Selva Baja Caducifolia (SB, Tesopaco, Son.) El análisis para cada sitio se llevó a cabo para el período de operación de MODIS (Marzo 2000 a la fecha) utilizando los productos MODIS compuestos sobre 8 o 16 días, para eliminar pixeles contaminados por nubes: Temperatura de Superficie (LST), Índice de Vegetación Mejorado (EVI) y Albedo. De esta manera, se pudo analizar la respuesta de los tres ecosistemas más importantes en la región: Matorral Desértico (MD), Matorral Sub-Tropical (MST) y Selva Baja Caducifolia (SBC). Los efectos del Monzón (incremento en EVI y decremento en LST) aparecen a principios de Junio en Jalisco y se propagan hacia el norte, llegando al sur de Arizona hasta finales de Julio. En general, los ecosistemas del norte (MD y MST) muestran mayor variabilidad estacional en LST y menor en EVI, mientras que la selva caducifolia en el sur muestra mucha mayor variabilidad en EVI y menor en LST. Se concluye que los datos de MODIS son una herramienta valiosa para la evaluación de la respuesta de la superficie bajo la influencia del Monzón.

En el norte de la región del NAM se cuenta con 3 sitios de medición de flujos de vapor de agua y dióxido de carbono sobre 3 diferentes superficies: Pastizal, MST y SBC. Se determinó la Eficiencia en el Uso del Agua por el Ecosistema (*Ecosystem Water Use Efficiency*, EWUE), la cual se define como la relación entre asimilación neta de CO₂ del ecosistema y la evapotranspiración ET y se investigó la relación entre EWUE y EVI para estos ecosistemas, encontrándose un buen ajuste lineal

Palabras Clave: NAM, MODIS

Introducción

El Monzón Norteamericano inicia en Junio en el suroeste de México y se propaga rápidamente en la zona hacia el norte, principalmente en la zona entre la costa y la Sierra Madre Occidental (Douglas et al., 1993; Reyes et al., 1994; Gochis y Brito-Castillo, 2006). Se seleccionaron 5 sitios en esta zona a diferentes latitudes, desde la Selva Baja y Mediana en Jalisco hasta el Matorral Desértico (MD) en Arizona (**Figura 1**). En esta región, existen 4 sitios de mediciones del intercambio de vapor, calor y radiación entre superficie y atmósfera en diferentes ecosistemas importantes: Selva Baja en Chamela, Jal. (CH) (Maass et al., 1995) y Tesopaco, Son. (TP) (Watts et al., 2004), Matorral Subtropical en Rayón, Son. (RY) (Vivoni et al., 2008) y Matorral Desértico en Lucky Hills, Az. (LH) (Scott et al., 2006). Además, se seleccionó otro sitio no instrumentado de Selva Baja Caducifolia en la zona de máxima intensidad del Monzón: Tamazula, Durango (TV). La precipitación media mensual en estos sitios se muestra en la **Figura 2** donde se observa un gradiente marcado en la cantidad de precipitación del sur al norte (Gochis et al., 2004, 2007).

Materiales y métodos

Este estudio utiliza los siguientes productos MODIS (Huete et al., 2002) para investigar la respuesta de la superficie al NAM: MOD13Q1 (Índices de vegetación a 250m cada 16 días), MCD43A3 (Albedo a 1 km cada 16 días) y MYD11A2 (LST a 1 km cada 8 días). Estos productos son imágenes compuestas sobre varios días para minimizar la ausencia de datos debido a nubosidad sobre los sitios. Se calcularon promedios en cada período de 8 o 16 días sobre todos los años disponibles de MODIS, desde Abril 2000. Estos datos nos permiten comparar la respuesta promedio de la vegetación (albedo, EVI y LST) en cada sitio. En dos de estos sitios (Lucky Hills, Az y Tesopaco, Son.), se utilizaron las mediciones de los flujos de CO₂ y ET para calcular la Eficiencia en el Uso del Agua del Ecosistema o EWUE por sus siglas en inglés. La definición de EWUE es la relación entre la asimilación de dióxido de carbono sobre la evapotranspiración, donde ambos flujos se expresan en términos de energía.

Resultados y Discusión

Los resultados del análisis de los datos promedios de EVI obtenidos cada 16 días se muestran en la **Figura 3**. En todos los sitios se observa un incremento marcado en EVI durante el verano, los cuales son mayores en el sur y van disminuyendo hacia el norte. Además, se ve que el aumento de EVI ocurre más temprano en el sur que en el norte. Se pueden identificar períodos característicos del pre-monzón (DOY 145-150) y monzón plenamente desarrollado (DOY 225-240). Los valores de EVI, albedo y LST para estos periodos se encuentran en la **Cuadro 2**. Se ve que el incremento promedio de EVI va desde 0.09 en LH en el norte, hasta 0.47 en TV y 0.46 en CH en el sur.

Cuando se comparan los cambios en albedo en los diferentes sitios, encontramos que los cambios son muy pequeños pero son *negativos* en los dos sitios de matorral en el norte pero *positivos* para los tres sitios de selva baja caducifolia en el sur. La **Figura 3** muestra una gráfica de los albedos promedio de los dos tipos de vegetación (matorrales y selvas bajas) y se observa que, en condiciones pre-monzón, el albedo de los matorrales es mayor y el de la selva baja caducifolia es menor, pero las dos líneas convergen durante el monzón cuando el área foliar es máxima. La explicación más sencilla es que el suelo en los matorrales es de color más claro que en las selvas caducifolias por diferencias en el contenido de materia orgánica y esto afecta el albedo en el pre-monzón, cuando hay poca vegetación verde, pero no cuando la cobertura vegetal es completa.

Los cambios de LST, del pre-monzón (DOY 145-150) al monzón plenamente desarrollado (DOY 225-240), son mayores en el sitio TP ($\Delta T \sim -18$ K) y disminuyen hacia el norte y hacia el sur, como se observa en la **Figura 5**. Los dos sitios de matorral en norte (LH y RY) tienen un comportamiento similar y los dos sitios de selva en el sur (TV y CH). En cambio, la selva baja en RT se comporta como matorral antes del monzón y como selva después.

Finalmente, se calculó el EWUE para los dos sitios Lucky Hills (con dos sitios de monitoreo: MD en Lucky Hills y P en Kendall) y TP y se graficaron estos valores contra los valores correspondientes del ET en cada sitio. Se muestran los resultados en las **Figuras 6 y 7**. Se puede apreciar que las pendientes son muy similares (22.1 para TP y 27.3 para MD en Lucky Hills) en los dos ecosistemas, aunque los rangos de EWUE son muy diferentes. En ambos casos, inicialmente hay liberación de CO₂ de la hojarasca de la temporada anterior y después asimilación asociado con el crecimiento de la vegetación. Este cambio ocurrió para valores de 0.16-0.19 en pastizal y para valores de 0.35-0.41 en selva baja caducifolia (**Cuadro 2**).

Conclusiones

Los productos de MODIS son útiles para caracterizar y cuantificar los cambios sustanciales en condiciones de superficie (albedo, EVI, LST) asociadas con el Monzón Norteamericano y su variación con latitud y cobertura de suelo. Hay evidencia de una relación entre EWUE y EVI que posiblemente podría utilizarse para estimar la distribución espacial de asimilación de dióxido de carbono a partir de mapas de EVI y ET.

Referencias bibliográficas

- Douglas, MW, RA Maddox, K Howard and S Reyes, 1993, The Mexican Monsoon, *J. Climate* 105: 311-323.
- Gochis, DJ, A Jimenez, CJ Watts, J Garatuza-Payán and WJ Shuttleworth, 2004, Analysis of 2002 and 2003 Warm-Season Precipitation from the North American Monsoon Experiment Rain Gauge Network, *Monthly Weather Review* 132: 2938-2953.
- Gochis, D.J. and L. Brito-Castillo, 2006: Hydroclimatology of the North American Monsoon Region in Northwest Mexico. *J. Hydrology* 316: 53-70.
- Gochis, DJ, CJ Watts, J Garatuza-Payán and JC Rodriguez, 2007, Spatial and temporal patterns of precipitation intensity as observed by the NAME Event Rain Gauge Network from 2002 to 2004, *Journal of Climate* 20: 1734-1750.
- Huete, A, K Didan, T Miura, EP Rodriguez, X Gao and LG Ferreira, 2002, Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Remote Sensing of Environment* 83: 195-213.
- Maass, JM, JM Vose, WT Swank and A Martinez-Yrizar, 1995, Seasonal changes of leaf area index (LAI) in a tropical deciduous forest in west Mexico, *Forest Ecology and Management* 74: 171-180.

Reyes, S., Douglas, M.W. and R.W. Maddox, 1994, El Monzón del suroeste de Norteamérica (TRAVASON/SWAMP), *Atmósfera* 7(2): 117-137.

Scott, RL, TE Huxman, WL Cable and WE Emmerich, 2006, Partitioning of evapotranspiration and its relation to carbon dioxide exchange in a Chihuahuan desert shrubland, *Hydrological Processes* 20: 3227-3243.

Vivoni, ER, CJ Watts, JC Rodríguez, J Garatuza-Payan, LA Mendez-Barroso, EA Yopez, J Saiz-Hernandez, DJ and Gochis, 2008, Relation between Surface Flux Measurements and Hydrologic Conditions in a Subtropical Scrubland during the North American Monsoon, *CLIVAR Exchanges Newsletter* 13(2): 21-23.

Watts, CJ, RL Scott, J Garatuza-Payán, JC Rodriguez, JH Prueger, WP Kustas and MD Douglas, Changes in vegetation condition and surface fluxes during NAME 2004, *Journal of Climate* 20: 1810-1820.

Figuras y Cuadros



Figura 1. Mapa de Sitios

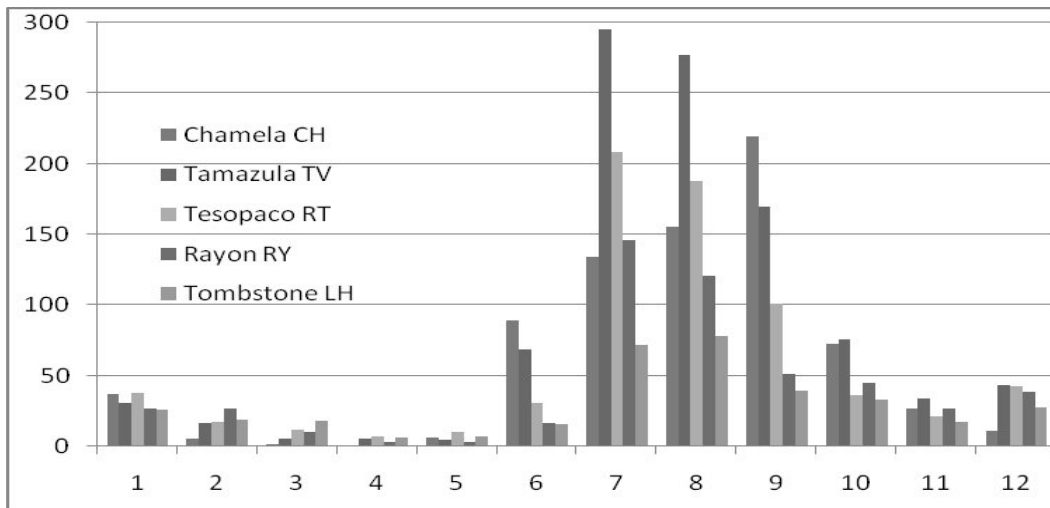


Figura 2. Precipitación mensual en cada sitio

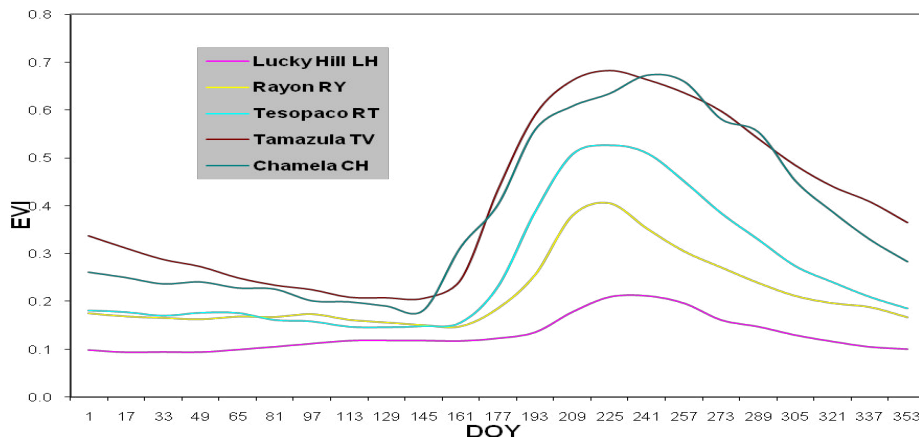


Figura 3. Promedio del EVI cada 16 días en los sitios, para el 2000 al 2010

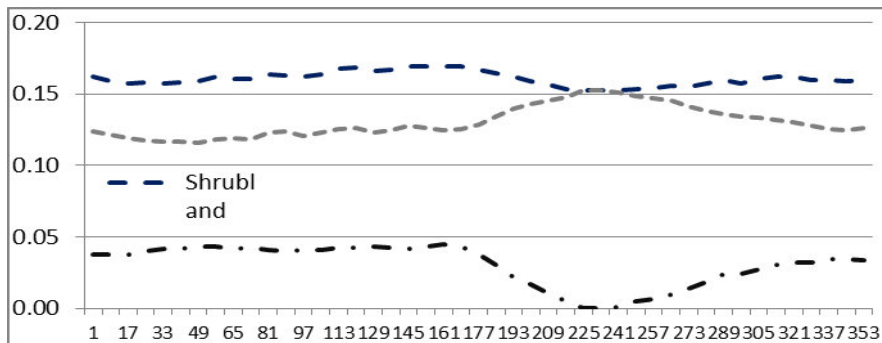


Figura 4. Promedio del albedo en matorrales (LH, RY) y selva baja (RT, TV, CH) durante los años 2000 al 2010

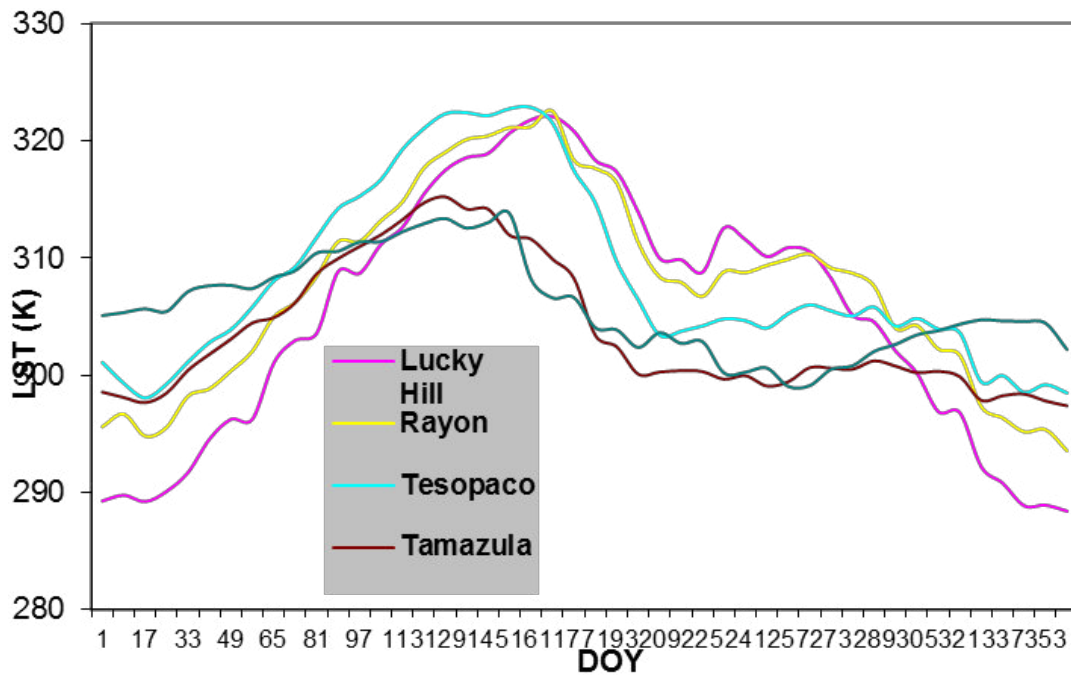


Figura 5. Promedio de LST cada 8 días en los sitios, durante 2000 a 2010.

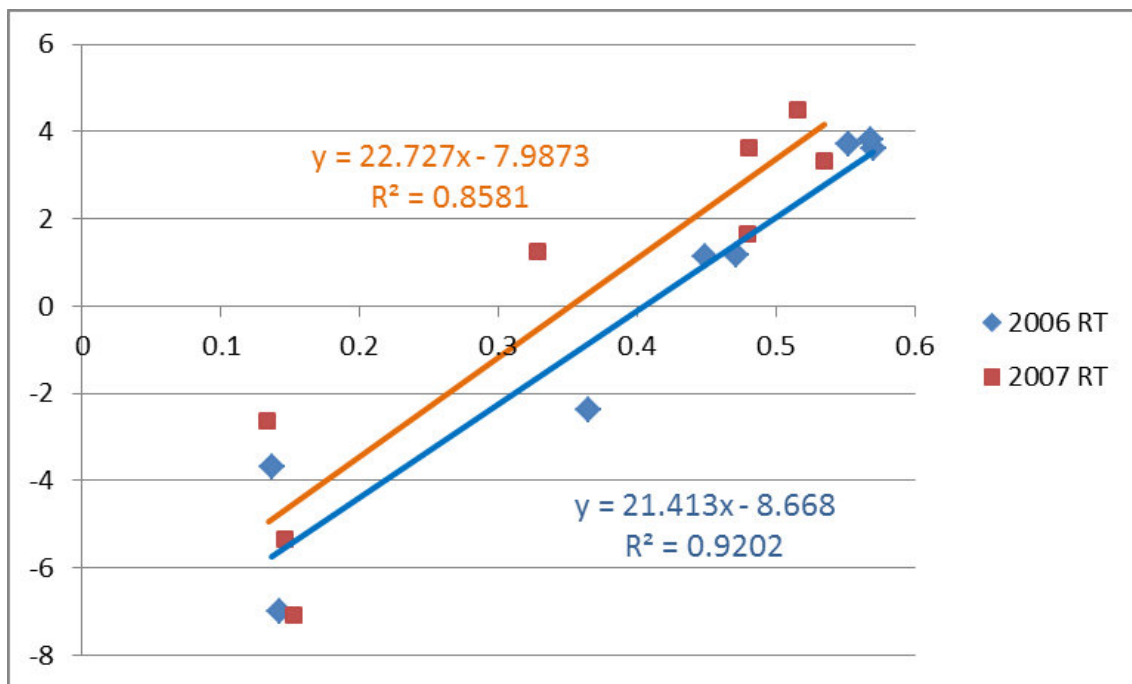


Figura 6. EWUE (en Y) en relación a EVI (eje X) en el sitio TP para los años 2006 y 2007. Cada punto representa un período de 16 días entre el pre-monzón (DOY 145-150) y el monzón plenamente desarrollado (DOY 225-240).

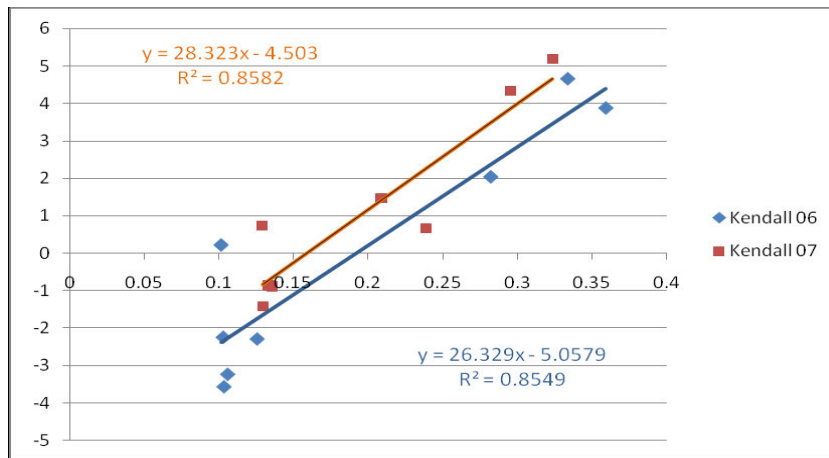


Figura 7. EWUE (en Y) en relación a EVI (eje X) para el sitio LH en los años 2006 y 2007. Cada punto representa un período de 16 días entre el pre-monzón (DOY 145-150) y el monzón plenamente desarrollado (DOY 225-240).

Cuadro 1. Valores de albedo (α), EVI y Temperatura de la Superficie (LST) en condiciones secas antes del Monzón (DOY=145) y en condiciones húmedas a su máxima intensidad (DOY=225)

Sitio	DOY=145			DOY=225			Variación		
	α	EVI	LST	α	EVI	LST	$\Delta\alpha$	ΔEVI	ΔLST
LH	0.17	0.12	46	0.16	0.21	36	-0.01	0.09	-10
RY	0.17	0.15	47	0.15	0.41	34	-0.02	0.26	-13
RT	0.12	0.15	49	0.14	0.53	31	0.02	0.38	-18
TV	0.13	0.21	41	0.15	0.68	27	0.02	0.47	-14
CH	0.14	0.18	40	0.17	0.64	30	0.03	0.46	-10
Promedio	0.15	0.16	45	0.16	0.49	32	0.01	0.33	-13

Cuadro 2. Regresión lineal entre EWUE y EVI

Ecuación: EWUE = Pendiente * (EVI - EVI _c)							<EVI>
Vegetación	Año	Pendiente	EVI _c	R ²	EVI _{max}	EVI _{min}	
Pastizal Desertico Kendall Az.	2006	26.33	0.192	0.85	0.359	0.102	0.189
	2007	28.32	0.159	0.86	0.324	0.129	0.200
	Ambos	27.26	0.175	0.83	0.359	0.102	0.194
Selva Baja Caducifolia Tesopaco, Son.	2006	21.41	0.405	0.92	0.570	0.137	0.407
	2007	22.73	0.351	0.86	0.535	0.134	0.347
	Ambos	21.46	0.378	0.86	0.570	0.134	0.377