

## ANÁLISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL SUELO, CUENCA DEL RÍO TINACO, COJEDES, VENEZUELA

*(Space-temporary analysis of the surface temperature of the soil, Tinaco river basin, Cojedes, Venezuela)*

**Luis Rumbo<sup>1\*</sup>, Franklin Paredes<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales “Ezequiel Zamora”. Vicerrectorado de Infraestructura y Procesos Industriales, San Carlos, estado Cojedes, Venezuela. E-mail: luisrumbo@gmail.com, franklinparedes75@gmail.com

**\*Autor de correspondencia** Luis Rumbo: luisrumbo@gmail.com

**Recibido:** 01-02-22

**Aceptado:** 08-03-22

### RESUMEN

Se investigó la variabilidad espacio-temporal de la temperatura superficial del suelo (LST, por sus siglas en inglés) en la cuenca del río Tinaco en la ventana temporal 2001-2016. Se emplearon datos LST (día) derivados de las bandas térmicas (TIR) del sensor MODIS, producto MOD11A2. Se colectaron valores máximos, medios y mínimos mensuales promediados sobre toda la cuenca. Se realizó un análisis de variabilidad basado en estadística descriptiva, para obtener valores promedios mensuales y anuales, coeficiente de variación (CV) y puntajes típicos mensuales (Z). Los principales resultados son: para toda la cuenca la LST media es de 32,66°C; mientras que la LST máxima media es de 39,95°C y la LST mínima media es de 25,05°C. La amplitud de variación térmica es de 14,9°C. Los años con los mayores registros de LST media son: 2001, 2010, 2014 y 2015 (años con severas sequías en todo el territorio nacional). El CV para la LST media, presenta variaciones importantes: ocurre un aumento desde marzo (3%) (período seco) donde se presentan valores elevados de LST (máxima media, media y mínima media); hasta mayo (11,28%) (período lluvioso) donde los valores de LST (máxima media, media y mínima media) siguen siendo elevados. Luego desde mayo hasta agosto (2,10%) (período lluvioso) y finalmente desde agosto hasta diciembre (4,13%) (período seco). La principal conclusión: se observa una variabilidad de la LST en toda la cuenca que se modula bastante bien con los períodos climáticos de la misma (período seco y período lluvioso).

**Palabras clave:** Variabilidad, sensor MODIS, cuenca del río Tinaco, LST

### SUMMARY

The space-time variability of the soil surface temperature (LST) in the Tinaco river basin in the 2001–2016-time window was investigated. LST (day) data derived from the thermal bands (TIR) of the MODIS sensor, product MOD11A2, were used. Maximum, average and monthly minimum values were collected for the entire basin. A variability analysis was carried out with the help of descriptive statistics, to obtain monthly and annual average values, coefficient of variation and

monthly anomalies ( $Z$ ). The main results are: for the entire basin the mean LST is  $32.66^{\circ}\text{C}$ ; while the mean maximum LST is  $39.95^{\circ}\text{C}$  and the mean minimum LST is  $25.05^{\circ}\text{C}$ . The amplitude of thermal variation is  $14.9^{\circ}\text{C}$ . The years with the highest average LST records are: 2001, 2010, 2014 and 2015 (years with severe droughts throughout the national territory). The coefficient of variation (CV) for the mean LST shows important variations: there is an increase since March (3%) (dry period) where high values of LST (mean maximum, mean and mean minimum) are observed; until May (11.28%) (rainy season) where the LST values (mean maximum, mean and mean minimum) remain high. Then from May to August (2.10%), (rainy period) and finally from August to December (4.13%) (dry period). The main conclusion: a variability of the LST is observed throughout the basin concurrent with the climatic periods of the same (dry period and rainy period)

**Keywords:** Variability, MODIS sensor, Tinaco river basin, LST

## **Introducción**

La temperatura de la superficie terrestre (LST, por sus siglas en inglés) es un parámetro importante en el comportamiento del clima de los diferentes ecosistemas, llegando a impactar el desarrollo de la vegetación, la escorrentía, y otros procesos asociados a la dinámica de vida de los humanos. La LST es un indicador de la variabilidad climática en los diferentes ecosistemas terrestres. Se mide regularmente desde sensores satelitales en una amplia escala espacial y con una alta resolución temporal, por ejemplo, los datos del sensor MODIS (espectroradiómetro de imagen de resolución moderada, por sus siglas en inglés) (Frey y Kuenzer, 2015).

Cabe mencionar, que, debido a su complejidad, las investigaciones relacionadas con la LST de las últimas décadas a menudo se centraron en el análisis de escenas individuales. Recientemente, los investigadores comenzaron a cambiar su enfoque hacia series temporales, como la temperatura de la superficie del mar de larga data (Merchant 2013), porque el potencial para las aplicaciones es alto (Jin y Dickinson 2010; Tian *et al.* 2012; Sobrino y Julien 2013; citados por Frey y Kuenzer, 2015).

La dimensión ambiental juega un papel preponderante en la noción de desarrollo de cada nación. Reconoce al ambiente como base de la vida y, por lo tanto, como fundamento del desarrollo. Igualmente reconoce al ser humano como parte integral del ambiente y valora, con especial atención, los efectos positivos y negativos (antrópicos), de su accionar en la naturaleza, pero también, la forma en que la naturaleza afecta a los seres humanos. La incorporación del ambiente en las estrategias de desarrollo surge, de la necesidad, de proteger los recursos naturales y recuperar aquellos que han sido degradados por el ser humano. Agua, suelo, bosques, biodiversidad y sociedades; constituyen un solo sistema y son interdependientes: un cambio en uno de los componentes genera un cambio en los otros (Sepúlveda, 2008).

En este contexto se reconocen múltiples problemas ambientales, como, por ejemplo: sequías, inundaciones, contaminación de fuentes de aguas (superficiales y subterráneas), desertificación, pérdida indiscriminada de bosques nativos, etc. En cada uno, es importante contar con herramientas necesarias para obtener información relacionada con

los diferentes manejadores o controladores climáticos, entre los que destacan la LST. En Venezuela no existen trabajos científicos sobre LST en cuencas hidrográficas, donde se evalué su comportamiento espacial y su dinámica temporal a través de datos obtenidos por percepción remota.

La cuenca del río Tinaco es la principal fuente hídrica para los municipios Tinaco y Falcón, de este río se abastecen múltiples sectores económicos del estado Cojedes; en especial, el subsector agrícola de secano, quien tiene una amplia presencia en esta región. A diferencia de otras unidades hidrológicas, esta cuenca destaca por ser la única contenida totalmente en el territorio Cojedeño. Por lo antes expuesto, se seleccionó como unidad de estudio. Bajo estas premisas, surgió la inquietud de evaluar la dinámica temporal y espacial de la LST en la cuenca del río Tinaco, del estado Cojedes,

## **Metodología**

### **Datos**

Se emplearon los datos de LST para el día derivados de las bandas térmicas (TIR) del sensor MODIS, producto MOD11A2, el cual es un producto compuesto y se genera cada 8 días, es decir en el mes se generan tres a cuatro valores de temperatura. Cabe resaltar que el producto cuenta con valores de LST para el día y la noche (más detalles en Wan, (2011). La resolución

### **Métodos**

Descripción del comportamiento espacial y la dinámica temporal de la LST en la cuenca del río Tinaco:

Se cumplieron las siguientes actividades:

Las imágenes derivadas del producto MOD11A2 (día), fueron pre-procesadas bajo

Venezuela; empleando datos obtenidos por percepción remota.

## **Marco Metodológico**

### **Unidad de estudio**

El estudio se realizó en la cuenca del río Tinaco, la cual de acuerdo al Plan de Ordenación y Manejo de la cuenca del río Tinaco elaborado por la Empresa Regional Desarrollos Hidráulicos Cojedes C.A., se encuentra ubicada en la jurisdicción de los municipios Falcón, Tinaco, San Carlos y Pao de San Juan Bautista, en el estado Cojedes y ocupa una extensión de 362.112,0 ha hasta el sitio de Presa denominado El Potrero donde el río cruza la cadena de Galeras del Pao, tiene una superficie estimada en 1.425 Km<sup>2</sup>.

espacial es de 8 Km y la temporal de 8 días. Los productos descritos han sido seleccionados debido a su alta resolución temporal, así como su alto nivel de confiabilidad dado que han sido pre-procesados para corregir sus características radiométricas, geométrica, y minimizar el ruido asociado a la presencia de aerosoles, nubes y coberturas de nieve (i.e., nivel L3).

ambiente R (disponible en <https://cran.r-project.org>) y manipuladas en formato raster

en SAGA GIS (acrónimo inglés de System for Automated Geoscientific Analyses; disponible en [www.saga-gis.org](http://www.saga-gis.org)), el cual es un software libre para procesar y analizar información espacial en formatos raster y vectorial. De cada raster correspondiente a la cuenca (tres a cuatro por mes) se extrajo una serie de tiempo de LST (día). Dado que la estimación de LST es afectada por la presencia de nubes durante el barrido de la escena, solo se consideraron aquellas escenas con una cantidad de píxeles no menor a 3000, el cual corresponde al 70% de la cantidad máxima de píxeles en una escena cualquiera. Las escenas que no cumplieron este criterio, se omitieron.

Los valores de LST obtenidos en esta fase es el valor promediado para toda la cuenca. Entre los principales análisis realizados se tienen:

a) Valores promedios mensuales en la ventana temporal 2001-2016 (valores máximos, mínimos y medios), para el día. Promedios anuales y puntajes típicos mensuales. Se analizaron los dos períodos climáticos que se presentan en la cuenca (lluvioso y seco, más los meses de transición; en aquellos años con la mayor LST). Se elaboraron gráficas para mostrar las series temporales LST para el día.

b) Para analizar los patrones temporales y espaciales de variabilidad del LST en la cuenca del río Tinaco se utilizaron diversas métricas estadísticas, tales como: el mínimo, la media, máximo y CV para cada mes (enero a diciembre) desde 2001 a 2016. Seguidamente se determinaron los promedios de cada uno de las métricas mencionadas (mínimo, media, máximo y coeficiente de variación). El objeto de extraer y graficar la evolución temporal de los extremos de la LST (es decir, mínimos y valores máximos

de LST) y CV es capturar la respuesta de variabilidad en la cuenca del río Tinaco (Kogan, 2000: citado por Barbosa *et al.* 2006).

c) Los valores de CV se emplearon como una medida de la variabilidad de LST con respecto a la media mensual, mientras que los puntales típicos (Z - puntuaciones) se utilizaron para visualizar la desviación de la LST en relación con los valores medios mensuales (Liu y Negrón Juárez, 2001; Weiss *et al.*, 2001: citados por Barbosa *et al.*, op cit.)

## **Resultados y discusión**

1. Comportamiento espacial y dinámica temporal de la temperatura superficial del suelo (LST, día):

La ventana temporal evaluada va desde 2001 a 2016, para toda la cuenca se tienen los siguientes valores: LST media 32,66°C, LST máxima media 39,95°C y LST mínima media 25,05°C; la amplitud de variación térmica es de 14,9°C. Los meses con los máximos valores de LST máxima son: febrero (42,25°C; período seco), marzo (45,53°C; período seco) y Abril (45,91°C; transición). Los meses con los mayores valores de LST media son: marzo (39,68°C; período seco), abril (39,51°C; transición) y mayo (35,11°C; inicio del período lluvioso). Los meses con los máximos valores de LST mínima media son: febrero (27,25°C; período seco), marzo (28,84°C; período seco) y abril (27,3°C; transición).

Los mínimos valores de LST máxima se presentan en los meses: julio (37,98°C; período lluvioso), noviembre (38,01°C; transición) y diciembre (37,56°C; período seco). Los menores

valores de LST media ocurren en los meses: julio (28,72°C; período lluvioso), agosto (28,18°C; período lluvioso) y septiembre (29,98°C; período lluvioso). Los mínimos valores de LST mínima se muestran para los meses: junio (23,26°C; período lluvioso), julio (22,36°C; período lluvioso), agosto (23,12°C; período lluvioso). Estos resultados están acordes con la dinámica climática de la cuenca y coinciden con los reportados por Frey y Kuenzer (2015).

El coeficiente de variación (CV) para la LST media, presenta variaciones importantes: ocurre un aumento desde marzo (3%) (período seco) donde se presentan valores elevados de LST (máxima media, media y mínima media); hasta mayo (11,28%) (período lluvioso) donde los valores de LST (máxima media, media y mínima media) siguen siendo elevados. Luego desde mayo hasta agosto (2,10%), (período lluvioso) y finalmente desde agosto hasta diciembre (4,13%) (período seco). Observando el comportamiento del CV de enero a diciembre, puede afirmarse que la dispersión de los datos es muy baja, por tanto, la media aritmética es una medida de tendencia central adecuada, pues la concentración de los datos alrededor de la media aritmética es muy alta (Chourio, 2011).

El análisis del comportamiento anual de la LST media, ha permitido identificar los años con los mayores valores de LST, estos son: 2001 (33,85°C), 2010 (34,14°C), 2014 (33,84°C) y 2015 (33,91°C). Puede afirmarse que estos resultados se corresponden en primer lugar con los hallazgos realizados por La Cruz (2015) en su Tesis Doctoral, donde asevera que los años 1989, 2001 y 2002 presentan sequía extrema, siendo el estado Cojedes uno de los más afectados, en

especial los sectores Tinaco y el Pao. De igual manera, el año 2010 aparece reportado (Agencia de Noticias Reuters) como un año de sequía extrema por los especialistas José Gregorio Sotolano (Presidente del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMEH]) y Erik Quiroga (Ambientalista), afirmaciones basadas en datos del Observatorio Naval Cagigal.

En el mismo orden de ideas, el Ministro del Poder Popular para el Ambiente, Miguel Rodríguez, en el Foro “Energía Eléctrica y Clima”; afirmó para aquellos años que “Venezuela atraviesa una de las sequías más fuerte de los últimos sesenta años, y ante esta situación el Gobierno Nacional articula esfuerzos para racionalizar los depósitos de agua en embalses a escala nacional” (portal de noticias ReliefWeb, 27 de junio de 2014). El año 2014, también es reportado como un año de fuerte sequía por el especialista José Gregorio Sotolano (Presidente del INAMEH), declarando que “Venezuela sufre niveles de sequía extrema a severa en 9 de sus 23 estados y el período lluvioso recién iniciado mantiene muchos déficits”.

El INAMEH reportó también condiciones secas en vastas zonas de los estados Zulia (noroeste), Carabobo (centro), Aragua (centro), Miranda (centro), Falcón (noroeste), Apure (suroeste), Guárico (centro), Sucre (noreste) y Monagas (noreste) (Portal de Noticias, Entorno Inteligente – fecha 26 de junio de 2014). En el mismo contexto, para el año 2015, Ernesto Paiva, Ministro del Poder Popular para el Ecosocialismo y Agua (Minea); indicó que “los embalses en el país han bajado su cota debido a la situación de sequía que se vive desde el año 2013 hasta la fecha”, “en líneas generales llovió

poco y esto se traduce en una disminución continua de los niveles de los embalses, eso nos obliga a tomar medidas como gobierno y como ciudadanos”.

El comportamiento de la LST media, en los períodos climáticos de la cuenca (período seco, período lluvioso y meses de transición) ha sido evaluado en los años que presentan los mayores valores de LST media (años 2001, 2010, 2014 y 2015). Los valores extremos de LST se presentan en el mes de abril (transición), año 2001 (41,64°C), año 2010 (41,67°C), año 2014 (41,08°C) y año 2015 (39,72°C). Los menores registros de LST se observaron en el año 2001 mes de diciembre (29,79°C) (período seco). Para los años 2010, 2014 y 2015, los menores registros se ubican en el mes de noviembre (transición), siendo: 29,22°C, 30,41°C y 31,52°C respectivamente.

La LST máxima media presenta los mayores puntajes típicos (Z) positivos en los meses de febrero (1,07) [período seco], marzo (3,59) [período seco] y abril (1,78) [transición]. Los máximos puntajes típicos negativos se dan en

## **Conclusiones**

El comportamiento espacio-temporal de la LST en toda la cuenca del río Tinaco se corresponde con los períodos climáticos que ocurren en ella (un período seco que va desde diciembre hasta marzo, y un período lluvioso que abarca desde mayo a noviembre; con los meses de abril y noviembre como transición). Los máximos valores de LST (máxima media, media y mínima media) ocurren en el período seco y en el mes de transición abril. Los mínimos

los meses de julio (-1,01) [período lluvioso], noviembre (-0,92) [transición] y diciembre (-1,03) [período seco]; estadísticamente son los valores más alejados de la media aritmética (LST máxima media = 39,95°C).

Los máximos puntajes típicos positivos de la LST media se dan en los meses de febrero (0,76) [período seco], marzo (5,90) [período seco] y abril (2,88) [transición]; mientras que los puntajes típicos extremos negativos ocurren en los meses de julio (-4,38), agosto (-5,70) y septiembre (-2,98). Son los valores más alejados de la media aritmética (LST media = 32,66°C). Por último, la LST mínima media presenta los mayores puntajes típicos positivos en los meses de febrero (1,29) [período seco], marzo (1,96) [período seco] y abril (0,99) [transición]. Los puntajes típicos extremos negativos ocurren en los meses de junio (-1,02) [período lluvioso], julio (-1,28) [período lluvioso] y agosto (-0,74) [período lluvioso]. Estadísticamente son los valores más alejados de la media aritmética (LST mínima media = 25,05°C); ver figura 4.

valores de LST (máxima media, media y mínima media) ocurren en el período lluvioso.

Los años con los mayores valores de LST media son: 2001, 2010, 2014 y 2015. La revisión de investigaciones especializadas y la consulta de medios electrónicos de noticias, que recogen la opinión de técnicos en la materia, confirman que los años reportados han sido años con fuertes sequías.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, H., A. Huete, A., R. Baethgen, W., E. (2006). A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments* 67. 288–307
- Chourio, J. H. (2011). *Estadística aplicada a la Investigación Educativa*. Valencia, Venezuela. Editorial IPAPEDI
- Frey, C., y Kuenzer, C. Analysing a 13 Years MODIS Land Surface Temperature Time Series in the Mekong Basin. In Kuenzer, C., Dech, S., Wagner, W. (2015). *Remote Sensing Time Series, Revealing Land Surface Dynamics*. Editorial Springer, Volumen 22, Switzerland
- La Cruz, F. J. (2015). *Análisis de las sequías meteorológicas en Venezuela utilizando el método L-momentos*. Tesis Doctoral. Universidad de Carabobo. 247 pp
- Paiva, E. (28 de enero de 2015). Tres años de sequía han disminuido niveles de embalses en Venezuela. *Prensa Ecosocialismo y Aguas (Minea)*. Recuperado de <http://www.minec.gob.ve/tres-anos-de-sequia-han-disminuido-niveles-de-embalses-en-venezuela/>
- Paredes, T. F. (2009). *Nociones elementales de la climatología e hidrología del estado Cojedes*. Publicaciones del área de estudios de Postgrado-Serie Investigación N° 1. UNELLEZ, San Carlos-Cojedes, Venezuela.
- Rodríguez, M. (27 de junio de 2014). Venezuela atraviesa una de las sequías más fuertes de los últimos 60 años. *Portal ReliefWeb*. Recuperado de <https://reliefweb.int/report/venezuela-bolivarian-republic/venezuela-atraviesa-una-de-las-sequ-m-s-fuertes-de-los-ltimos>
- Sotolano, J. G. (26 de junio de 2014). Venezuela sufre niveles de sequía extrema en 9 estados. *Sudamerica rural, noticias Venezuela*. Recuperado de <https://www.sudamericarural.org/noticias-venezuela/que-pasa/3085-venezuela-sufre-niveles-de-sequia-extrema-en-9-estados>
- Sotolano, J. G. (11 de marzo de 2010). La mayor sequía en décadas ahoga a Venezuela. *Diario El Mundo*. Recuperado de <https://www.elmundo.es/america/2010/03/11/noticias/1268299851.html>

Z. Wan, & Z.-L. Li, 2011, Chapter 25, MODIS land surface temperature and emissivity. In B. Ramachandran, C. O. Justice, & M. J. Abrams (Eds.), Land remote sensing and global environmental change, NASA's Earth observing system and the science of ASTER and MODIS, NASA's Earth observing system and the science of ASTER and MODIS. New York Dordrecht Heidelberg London: Springer, <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-6749-7>.