

TELEDETECCIÓN DEL CAMBIO EN LA TEMPERATURA EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ UTILIZANDO EL SATÉLITE LANDSAT

REMOTE SENSING OF TEMPERATURE CHANGES IN PANAMA CANAL WATERSHED FROM LANDSAT

Grimaldo Ureña

Centro de Investigaciones Hidráulicas
E Hidrotécnicas Universidad
Tecnológica de Panamá
(507) 6459-3864

Grimaldo.urena@utp.ac.pa

José Fábrega

Centro de Investigaciones Hidráulicas
e Hidrotécnicas Universidad
Tecnológica de Panamá
(507) 560-8412

Jose.fabrega@utp.ac.pa

RESUMEN

La temperatura de superficie es un factor central, como variable de control en los estudios de cambio climático, balance de calor y modelos climáticos. El conocimiento de la temperatura de superficie es importante para desarrollar un rango de cuestiones y temas en ciencias de la tierra para climatología urbana, cambios ambientales globales e interacciones entre el humano-ambiente. Para este estudio se estima la temperatura superficial en el bosque tropical de la cuenca del Canal de Panamá, por medio de imágenes satelitales, con el fin de poder determinar los cambios en la temperatura media de manera remota. Se han utilizado para esta tarea imágenes del programa espacial Landsat-7 ETM+, encontrando un aumento de la temperatura de brillo, obtenida a través de la banda térmica del satélite para la región de Gamboa. Se comparan estos resultados con el registro histórico de data en tierra para validar la tendencia encontrada. Se propone el uso de la Teledetección como herramienta para monitorear los cambios de temperatura dentro de la Cuenca del Canal de Panamá, basado en los resultados de este estudio.

ABSTRACT

Land surface temperature (LST) is a central factor in global climate change studies, in heat balance studies and climate models as a control variable. The knowledge of land surface temperature is important to develop a range of issues and themes in earth sciences central to urban climatology, global environmental change, and human-environment interactions. In this study, land surface temperature in the tropical rain forest of the Panama Canal Watershed has been assessed using Landsat-7 ETM+ images, to estimate their changes over time. Positive differences (rise) have been found between images used for this study. This result has been confirmed by meteorological records of the area, over the past two decades.

In this study, we propose the use of a Remote Sensing of LST as a tool to assess the temperature changes in the Panama Canal Watershed based in the results of this study.

Categories and Subject Descriptors

I.4. [Image Processing and Computer Vision];
I.4.1.[Digitization and Image Capture]: Radiometry,
Reflectance; J.2 [Physical Sciences and Engineering]: Earth and
Atmospheric Sciences.

General Terms

Measurement, Experimentation.

Keywords

Teledetección, Temperatura de Superficie, Landsat.

1. INTRODUCTION

La temperatura superficial, que es controlada por el balance de energía, el estado de la atmósfera y las propiedades térmicas de la superficie es un factor importante para el control de la mayoría de los procesos químicos y biológicos que se llevan en la tierra [1]. La temperatura de la superficie puede proveer importante información acerca del rol que en los ambientes juegan las propiedades físicas y climáticas [2]. En el Convenio Marco de las Naciones sobre el Cambio Climático y el protocolo de Kyoto se señala el aumento de la temperatura media de la tierra, como posible efecto del aumento de los gases de efecto invernadero [3]. Se estima que el restante periodo de este siglo nosotros experimentaremos un incremento en promedio entre 1.4°C y 5.8°C combinado con el incremento en la concentración del CO₂, lo cual significa significantes cambios en el patrón de las lluvias[4]. Para monitorear los cambios macroescalares de temperatura en la superficie terrestre, se han montado en plataformas espaciales scanners en la banda térmica [5].

Otro uso fundamental de estos valores de temperatura de superficie es utilizarlos en los principales modelos para estimar la radiación de onda larga saliente [6] y dentro de los algoritmos de estimación de evapotranspiración basados en balance de energía (SEBAL)[7].

La temperatura de la superficie es conocida como la temperatura de la “piel” superficial, la cual para suelos descubiertos, coincidirá con la temperatura del suelo. Esta superficie o suelo de la tierra, dista de ser una “piel” o una superficie homogénea de dos dimensiones [8]. Usualmente podemos hablar de una combinación

heterogénea de objetos que componen la superficie terrestre, especialmente para casos de cobertura vegetal.

En este trabajo se pretende utilizar una serie de imágenes del programa espacial Landsat-7 ETM+ como herramienta para estimar el cambio de la temperatura superficial de la cuenca boscosa del canal de Panamá. Además se utilizara el registro histórico de la temperatura media en la cuenca, registrada durante los últimos 20 años por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), como dato de referencia de la información obtenida por satélites y para validar el resultado del estudio por imágenes.

1.1. Bases Teóricas

1.1.1. Utilización de Satélites para monitorear la superficie terrestre.

Desde que el programa Apolo tomo las primeras fotografías de la superficie terrestres, el interés de los científicos por observar fenómenos en la tierra desde el espacio, origino la rama de la investigación conocida como “remote sensing” o teledetección espacial. Esto se materializo con el lanzamiento en 1972, del primer programa Landsat, lo que permitió repentinamente ver de una manera tangible los impactos de la humanidad sobre todos los sistemas terrestres, con una misma herramienta de análisis [9].

Entre las principales ventajas que presentan estos avances se presentaba las grandes escalas que permiten abarcar los satélites para el estudio de los sistemas terrestres y marinos. Pero en especial debemos remontarnos al tercer lanzamiento del programa Landsat donde se introduce el “*Thematic Mapper*” o mapeo temático (TM) y luego el “*Enhance Thematic Mapper Plus*” o mapeo temático mejorado (ETM+) que adquieren medidas espectrales en las mayores porciones del espectro electromagnético (visible, infrarrojo cercano, infrarrojo de onda corta) [9].

Estas bandas llevaron desde los desarrollos de lo que se conoce como índices espectrales de la vegetación [10], [11], [12], que han jugado un rol central en la determinación de parámetros ambientales y modelado ambiental.

Finalmente lo que impulso la utilización de las imágenes satelitales al rol central que representan en la comunidad científica actual es el aumento de la capacidad informática de las últimas décadas, que permite el manejo de las grandes cantidades de información que proporcionan las imágenes satelitales y correr modelos cada vez más complejos.

1.1.2. La Temperatura de Superficie: el espectro infrarrojo.

El infrarrojo térmico responde a la banda del espectro entre $8\mu\text{m}$ y $14\mu\text{m}$, espectro en el cual se manifiesta con mayor claridad la emitancia espectral de la superficie terrestre, lo cual nos permite detectar el calor proveniente de las distintas coberturas terrestres.

La teoría de la ley de desplazamiento de Wien, que relaciona la temperatura con la longitud de onda de emisión, indica que el total de toda la energía emitida por la superficie aumenta rápidamente en función de la temperatura. Para una temperatura aproximada de 300K esta ley nos indica un pico de emisión cercano a los $9.6\mu\text{m}$ [13]. Para el caso de teledetección espacial se utiliza la bandas que sobrepasen los $10\mu\text{m}$, como canal de monitoreo de los sistemas terrestres, resultando una temperatura de la superficie terrestre obtenida por teledetección ambiental conocida como temperatura de brillo [14].

Es importante señalar que en la banda térmica existe, lo que es conocido como una “ventana” atmosférica, que quiere decir que existe baja absorción, que permite el paso de la energía sin pérdidas relativamente considerables.

1.1.3. El aumento de la temperatura en los bosques tropicales.

Los posible efectos del aumento de la temperatura sobre el bosque tropical, se evidencian en estudios realizados por Scholze[9], que indican que el cambio climático impacta en los bosques en la medida que aumenta las concentraciones atmosféricas de CO_2 y cambian las temperaturas y los patrones del régimen pluvial. Cambios que afectan la capacidad de los bosques para almacenar carbono; provocan una serie de trastornos en los ecosistemas forestales; llevan a cambios en la distribución de las especies arbóreas, y pueden generar fenómenos meteorológicos extremos que afectan seriamente a los bosques. Se proyecta que existe una estrecha vinculación de la gravedad de estos impactos con el grado de aumento de la temperatura [15].

De estos estudios sale la inquietud por determinar cuánto se afecta la capacidad de almacenar carbono que está estrechamente vinculada a la temperatura [15]. Preguntas tales como, ¿Cuál es el verdadero curso de “fertilización por carbono” causada por la mayor biodisponibilidad de CO_2 , sobre los ecosistemas terrestres?, o ¿Cuál es la influencia del aumento del clima sobre una acronecrosis significativa del Amazonas en los próximos años? [16], presentan como condición necesaria para ser respondidas, la estimación apropiada de los cambios en la temperatura de los ecosistemas terrestres.

Estos estudios y otros indicios demuestran la importancia de medir, registrar y estimar los cambios de la temperatura en el bosque tropical húmedo de manera cada vez más precisa, especialmente, a nivel de macro escalas, como lo permiten los métodos de teledetección satelital.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Descripción del sitio

La Cuenca del Canal de Panamá está ubicada en el Centro de la Republica de Panamá, el primer lugar donde se toman las mediciones por estación meteorológica está ubicado en las coordenadas $9^\circ 6' 44''$ Norte y $79^\circ 41' 38''$ O con una elevación de 34m (estación Gamboa) y el segundo está ubicado en $09^\circ 16' 06''$ N y $79^\circ 55' 14''$ O. Las imágenes han sido tomadas para la estación seca de los años 2001 (marzo), 2008 (febrero) y 2009 (marzo) con el satélite Landsat-7 ETM+. El tipo de vegetación es Bosque tropical Húmedo densamente poblado, con Índice de Área Folicular elevado (mayor de 4.5).

2.2. Metodología y Procesamiento de la Data

Un conjunto de imágenes Landsat-7 ETM+ sobre la cuenca del canal de Panamá han sido usadas para este estudio. Como mediciones en terreno para efectos de validar los resultados, se han utilizado los datos de la Autoridad del Canal de Panamá, de las estaciones Meteorológicas de Gamboa.

El procesamiento de la data geográfica y satelital, se realiza con el programa ERDAS Imagine 2010, a su vez las ecuaciones se programaron con la herramienta de programación el Model Maker de dicho programa.

La radianza espectral es la radiación saliente en la banda que es observada satelitalmente en la parte alta de la atmosfera y la misma se basa en el numero digital (DN) para cada pixel. Este DN del sensor se convierte en valores con significado físico en escala radiométrica, basado en la ecuación de ajuste de ganancias del sensor (ecuación 1) y la metadata de las imágenes:

$$L_{\lambda} = \left\{ \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right\} DN + L_{MIN} \quad (1)$$

Dónde: L_{λ} se mide en $Wm^{-2} sr^{-1}\mu m^{-1}$; L_{MIN} , L_{MAX} valores de metadata.

La temperatura ha sido estimada utilizando la ecuación de Planck, modificada [17].

$$Ts = \frac{k_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} k_1}{Rc} + 1\right)} \quad (2)$$

Donde: k_2 y k_1 son constantes dependiente del tipo de sensor Landsat utilizado; ϵ_{NB} es la emisividad de la superficie y Rc es la radianza termal de la superficie corregida, que para valores cercanos a 290K-300K es equivalente a utilizar L_{λ} para la banda 6 (L_6) [18].

Se utiliza el registro de datos de la estación meteorológica para la locación de Gamboa desde el año 1979 hasta el 2008, del cual se utiliza para nuestro estudio el registro para la estación seca (verano), por motivo de sólo poder contar con imágenes con bajo porcentaje de cobertura nubosa de la cuenca del canal para estos periodos (nubosidades altas en periodo de estación lluviosa).

La diferencia de la temperatura de brillo para el análisis de las imágenes se define como:

$$DT = TB_U - TB_A \quad (3)$$

Donde: TB_U : temperatura de brillo mas reciente, en base de fecha de adquisición; TB_A : Temperatura de Brillo más antigua en base a la fecha de adquisición de la imagen.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temperatura media del bosque en la cuenca del canal de Panamá se ha incrementado en las últimas décadas, tanto en el periodo anual como para la estación seca, presentando mayores temperaturas para el periodo de verano (figura 1). Estos resultados se ajustan con los registros a nivel global de la Organización Mundial Meteorológica (WMO) y el Panel Intergubernamental del Cambio Climático [3]. De los registros se observa que el año 1992, 1998 y el último año de estudio 2007-2008 fueron los años de mayor registro. Concordando con las medidas mundiales de que esos años fueron en su momento los más calientes, de las últimas décadas [19].

En las figuras 2, 3 y 4 se obtiene la temperatura de brillo para la cuenca del Canal de Panamá, de manera individual para la estación seca 2001, 2008 y 2009, con una desviación del valor real medido por estaciones meteorológica de la temperatura de aproximadamente 2 °C, para la región de Gamboa.

En la figura 5 y 6 se presentan los resultados de la diferencia de temperatura entre las imágenes Landsat para la estación seca entre los años 2009-2001 y entre los años 2009-2008. Estos se clasifican en diferencia positiva (DP) para valores positivos, diferencia neutra (Neut) para valores $\pm 0.5^{\circ}C$ a $0^{\circ}C$, diferencia negativa (ND) para valores negativos, N.A. no aplica (cuerpos de agua).

Estos resultados presentan la pertinencia de la metodología para monitorear los cambios de temperatura, en la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá para la estación seca, al concordar con los registros históricos en cuanto a los incrementos de temperatura para la región de Gamboa. Las áreas que aparecen con valores más claros (blanco en la imagen), clasificadas como diferencias positivas (DP) concuerdan con los aumentos en la temperatura para los registros de la estación meteorológica del sitio, al igual que los que mantienen la misma temperatura (Neut), y lugares que mantienen diferencias negativas (DN).

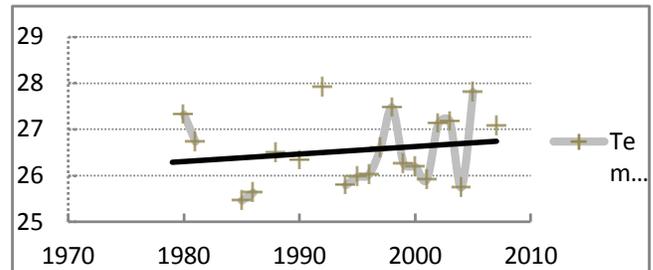


Figura 1. Temperatura Media durante los veranos, medidas por estación meteorológica Gamboa. Muestra regresión lineal (negro).



Figura 2. Temperatura de Superficie del Año 2001, Satélite Landsat-7 ETM+.

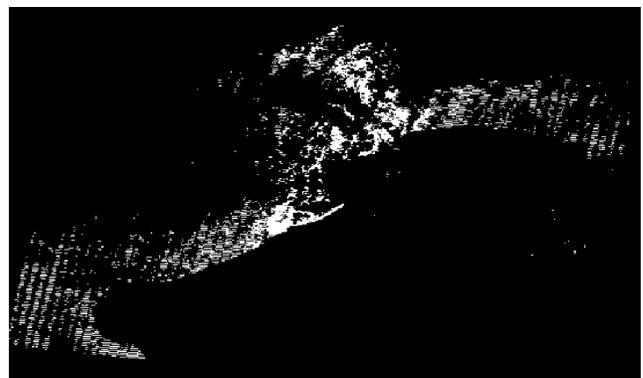


Figura 3. Temperatura de Superficie del Año 2008, Satélite Landsat-7 ETM+.

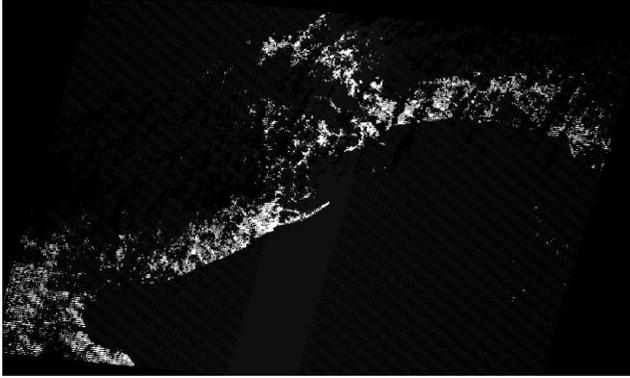


Figura 4. Temperatura de Superficie del Año 2009, Satélite Landsat-7 ETM+.

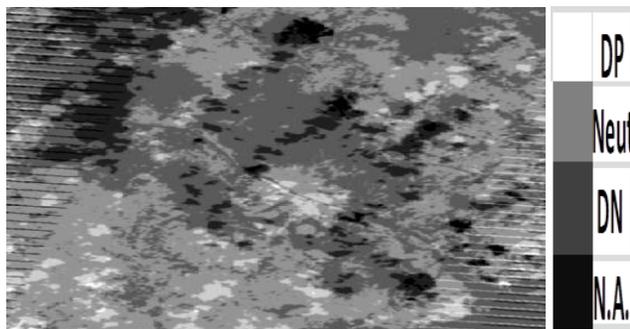


Figura 5. Diferencia de Temperatura entre 2008 y 2009, imágenes Landsat-7 ETM+. Escala: GDP:(gran diferencia positiva), DP: diferencia positiva; ND: no diferencia apreciable; N.A.: no aplica.

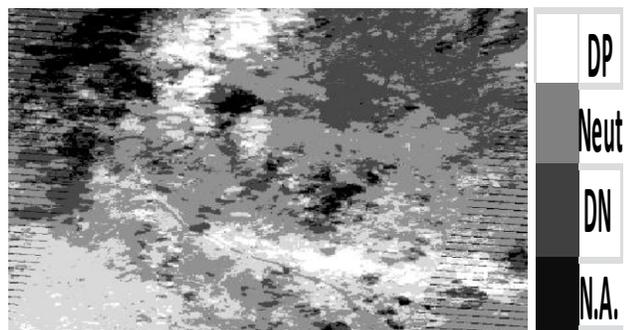


Figura 6. Diferencia de Temperatura entre 2001 y Marzo 2009, imágenes Landsat-7 ETM+. Escala: GDP:(gran diferencia positiva), DP: diferencia positiva; ND: no diferencia apreciable; N.A.: no aplica.

3.1. Recomendaciones

Se propone en futuros trabajos, que busquen realizar un estudio en la cuenca del canal de Panamá con mayor precisión (determinar la magnitud exacta de los cambios en la temperatura), se deban incluir en las ecuaciones correcciones de tipo atmosférico y radiométrico, que permitan modelar con mayor exactitud las condiciones de la cuenca. Pero para los efectos de este estudio, el cual es demostrar la fortaleza de la teledetección para registrar

cambios en la temperatura, y su tendencia a través del tiempo, los resultados validan la metodología, propuesta.

4. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al *Environmental Science Program* (ESP) del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales (STRI), por la tarea de poner a disposición los registros de la data meteorológica y ambiental de los últimos 25 años para la cuenca del canal de Panamá. Además al Programa Landsat, en especial al United State Geological Service (USGS), por la facilidades para la obtención de la información referente a la cuenca del canal de Panamá. Igualmente al Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (CIHH) y a la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) por su apoyo. Finalmente, se agradece el aporte financiero de la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) de Panamá, por la financiación de esta investigación.

5. REFERENCIAS

- [1] Becker, F. and Z. L. Li. 1990. Towards a local split window method over land surfaces. *Int. J. Remote Sensing*, 11:369-393
- [2] Dousset, B. & Gourmelon, F., 2003. Satellite multi-sensor data analysis of urban surface temperatures and land cover, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 58, (1-2), 43-54.
- [3] Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, *Organización de las Naciones Unidas: Protocolo de Kyoto; CMNUCC/fccc/informal/83* ge.05-61702 (s) 130605, 1998*
- [4] Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Nogueira, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C. A. (eds) 2001 *IPCC Third assessment report: climate change 2001*. Cambridge University Press
- [5] Sabins, F. F., 1986, *Remote Sensing: Principles and Interpretation* (New York:W. H. Freeman).
- [6] Allen, Richard; Tasumi, Masahiro y Trezza Ricardo. 2007. "Satellite-based Energy Balance for Mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) Model". *Journal of Irrigation and Drainage, American Association of Civil Engineers (ASCE)*, Vol.133(4):380-394.
- [7] Bastiaanssen, W.G.M, Menenti, M., Feddes, R.A., Holtslag, A.A.M. 1998a. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL): Part 1 formulation. *Journal of Hydrology*. 212-213: 198-212.
- [8] Vogt, J. V., 1996, Land surface temperature retrieval from NOAA± AVHRR data. *In Advances in the Use of NOAA± AVHRR Data for L and Applications*, edited by G. D'Souza et al. (Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers), pp.125± 151.
- [9] Cohen, W., Goward, S., 2004, Landsat's Rol in Ecological Applications of Remote Sensing- Biosciences, Vol. 54. N 6, pp. 535-545.
- [10] Birth, G., McVey, G., 1968. Measuring the Color of Growing Turf with reflectance Spectrophotometer. *Agronomy Journal* 60: 640-643
- [11] Jordan, C.F., 1969 Derivation of leaf Area index from quality of light on the forest floor. *Ecology* 50: 663-666.
- [12] Rouse, J.W., Haas, R., Schell, J., Dearing, D., Harlan, J. 1974. *Monitoring the Vernal Advancement and*

Retrogradation of Neural Vegetation. College Station. Texas A&M University, Remote Sensing Center, Report 1978-4.

- [13] Lillesand, T. M., and Kiefer, R. W., 1987, *Remote Sensing and Image Interpretation* (New York: Wiley).
- [14] Reutter, H., Olesen, F. S., and Fischer, H., 1994, Distribution of the brightness temperature of land surfaces determined from AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, 15, 95± 104.
- [15] Scholze et al. (2006). A climate-change risk analysis for world ecosystems, M Scholze, W Knorr, NW Arnell, IC Prentice, 21 de agosto de 2006, *Actas de la Academia Nacional de Ciencias*, vol 103. no 35,
- [16] Mahli, et al. 2008. Climate change and the fate of the Amazon, compilado por Yadvinder Malhi, Richard Betts y Timmons Roberts. *Número especial de Philosophical Transactions of the Royal Society*. Volumen 363, Número 1498 / 27 de mayo de 2008.
- [17] Markham, B.L., Barker, J.L., 1986. Landsat MSS and TM post Calibration Dynamic Ranges, Exoatmospheric Reflectance, and At-satellite Temperature, *EOSAT Landsat Technical notes*, 1: 3-8.
- [18] Schott, J.R. & Volchok, W.J., 1985. Thematic mapper thermal infrared calibration, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 51, 1351-1357.
- [19] National Research Council of the National Academies Press, Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years, *The National Academies Press*, Washington D.C. (USA), 2006. Pp. 155.