

## TALLER - TELEDETECCIÓN TÉRMICA DE IMÁGENES LANDSAT HISTÓRICAS CON GVSIG

La teledetección espacial ha experimentado un renovado impulso en las últimas décadas, con nuevos sensores y plataformas que han permitido la obtención de magnitudes o variables geofísicas de enorme valor geográfico. Dentro del amplio abanico de dichas variables, la temperatura terrestre es el principal objeto de estudio de la teledetección térmica. Teledetección térmica es un término que hace referencia a las medidas obtenidas por un sensor ubicado a bordo de una plataforma (un avión o satélite) que capta la **radiación electromagnética emitida por la superficie terrestre en la región del infrarrojo térmico**, típicamente entre los 8 y 14  $\mu\text{m}$  (Sobrino, et al. 2000).

En resumen, la temperatura superficial es una fuente fundamental de información, tanto cualitativa como cuantitativa, acerca de los procesos que ocurren en la superficie terrestre, permitiendo por tanto su caracterización, análisis y modelización (Quattrochi y Luvall, 2000).

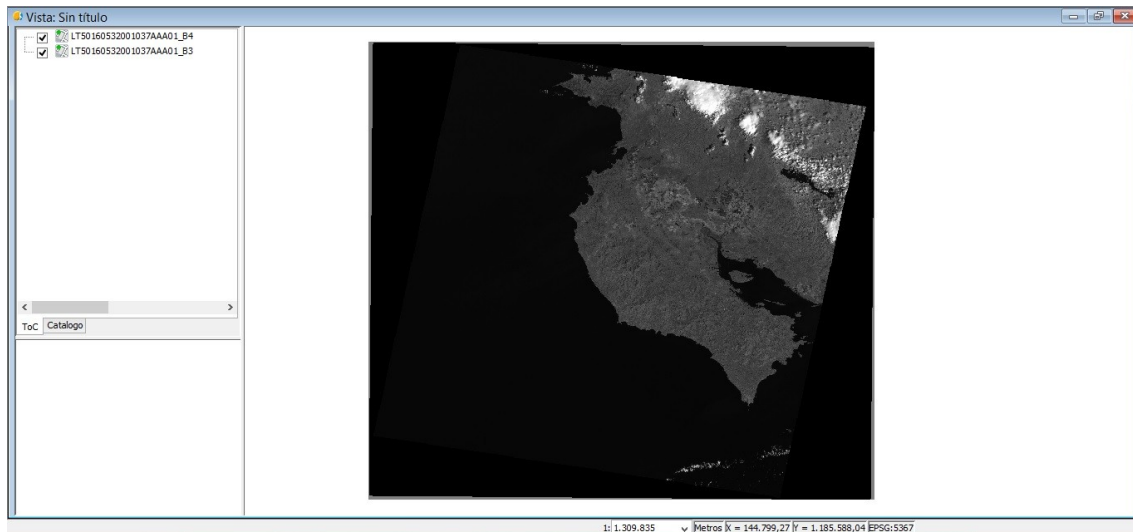
El objetivo del presente ejercicio es **obtener la temperatura del suelo** a partir de los valores de brillo de la banda térmica en imágenes Landsat. Para ello se trabajará con una imagen histórica (2001) de la costa pacífica de Costa Rica, siguiendo una metodología basada en:

- Obtener mapas de emisividad, ampliamente contrastada y probada por varios autores, como E. Caselles, F. Abad, E. Valor y J. M. Galve, de la Universidad de Valencia.
- Seguidamente se aplicarán algoritmos de transferencia radiativa diseñados y probados por César Coll, Joan Miquel Galve, Juan Manuel Sánchez y Vicente Caselles.
- Finalmente se aplicará la ecuación inversa de Planck para estimación de temperatura a partir de los valores de brillo de la banda térmica.

### 1ª PARTE - ÍNDICES DE VEGETACIÓN Y OBTENCIÓN DE LA EMISIVIDAD

El problema fundamental con la estimación de la temperatura superficial de la Tierra a partir de datos de satélite es la necesidad de corregir en los mismos, los efectos debidos a la absorción atmosférica y a la emisividad de la superficie medida. Para la producción del mapa de emisividad, por tanto, se parte del modelo presentado por Valor y Caselles (1996).

Lo primero sería añadir las bandas 4 y 5, que son (respectivamente) las bandas roja e infrarrojo cercana del satélite Landsat 5.

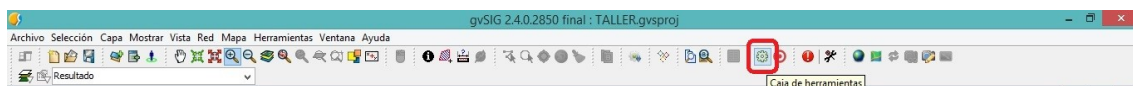


A continuación vamos a realizar un índice de vegetación, a partir de la siguiente ecuación:

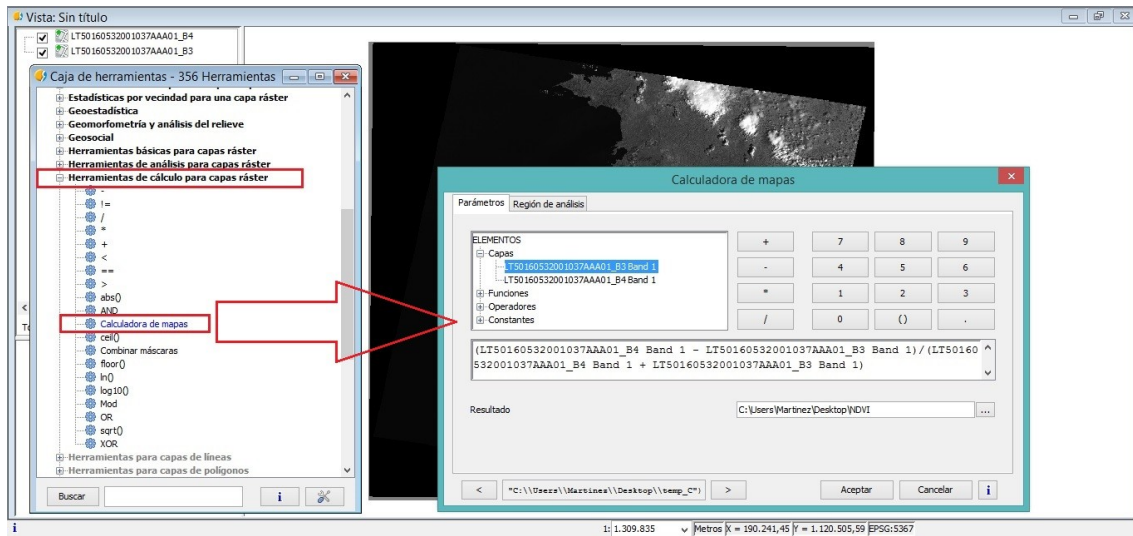
$$\text{NDVI} = (\text{Infrarrojo cercano} - \text{Rojo}) / (\text{Infrarrojo cercano} + \text{Rojo})$$

Hay que tener en cuenta que la banda infrarroja cercana, en este caso, es la banda 4 y la roja es la 3.

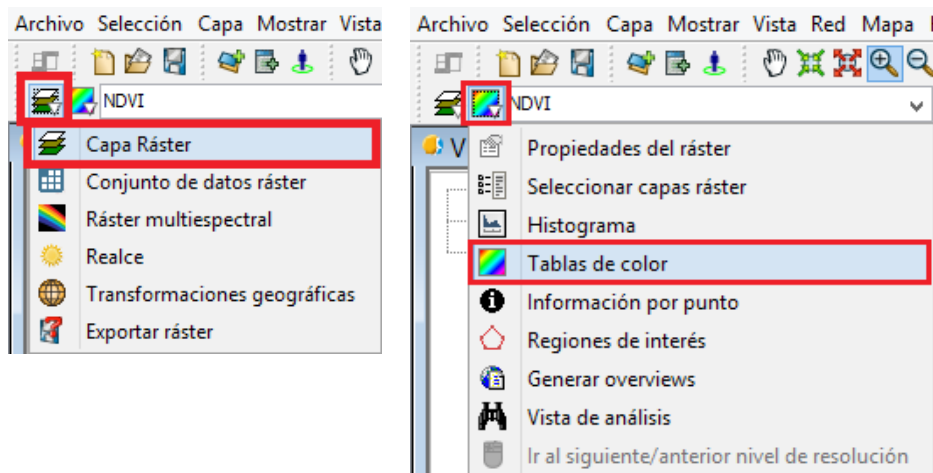
Para aplicar el algoritmo vamos a utilizar una herramienta de enorme potencial en geoprocesamiento raster, la “**Calculadora de Mapas**” de gvSIG, a la que se accede desde el menú “**Herramientas**” / “**Herramientas de cálculo para capas ráster**” / “**Calculadora de mapas**”:



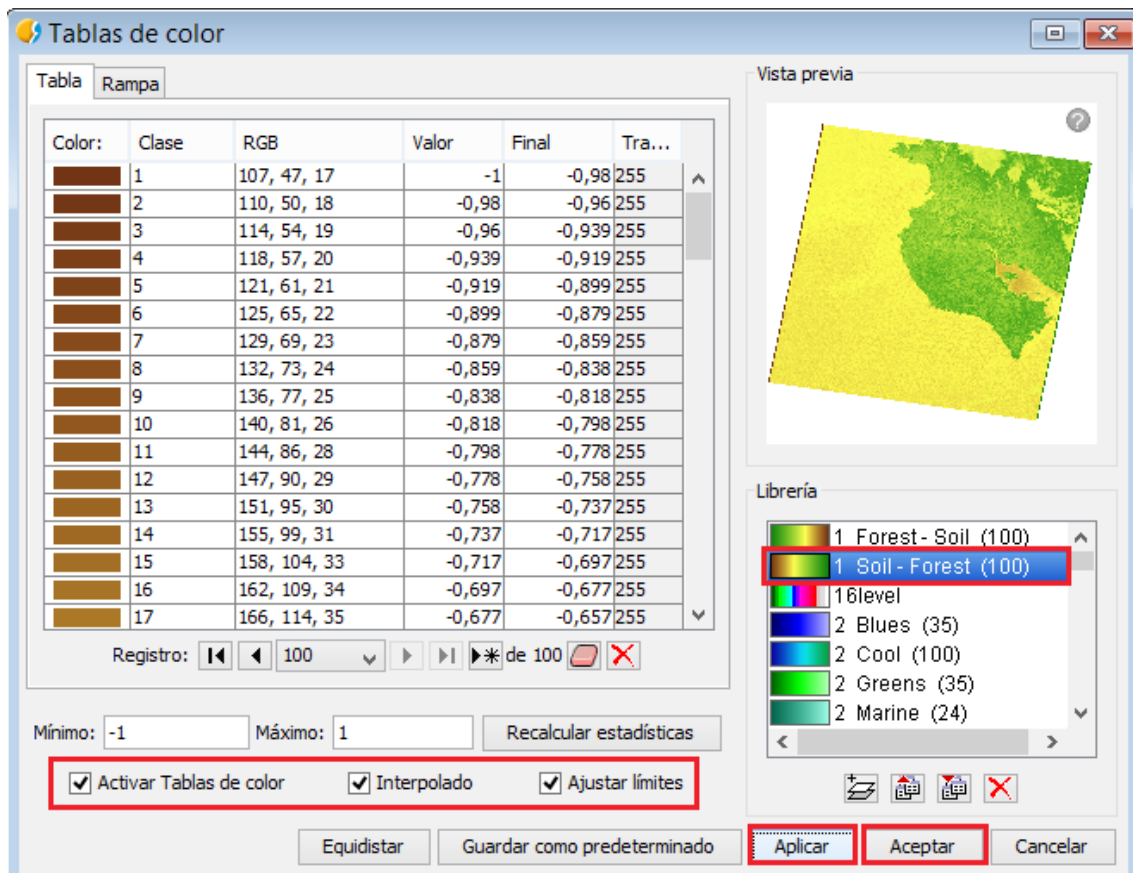
Dentro de la “**Calculadora de mapas**” es conveniente utilizar los comandos u operadores de la misma. Con un doble clic se seleccionan las capas (bandas 3 y 4) y con un simple clic se seleccionan los operadores (paréntesis y división). También hay que dar un nombre de salida al archivo nuevo que se va a generar, el **NDVI** o índice de vegetación.



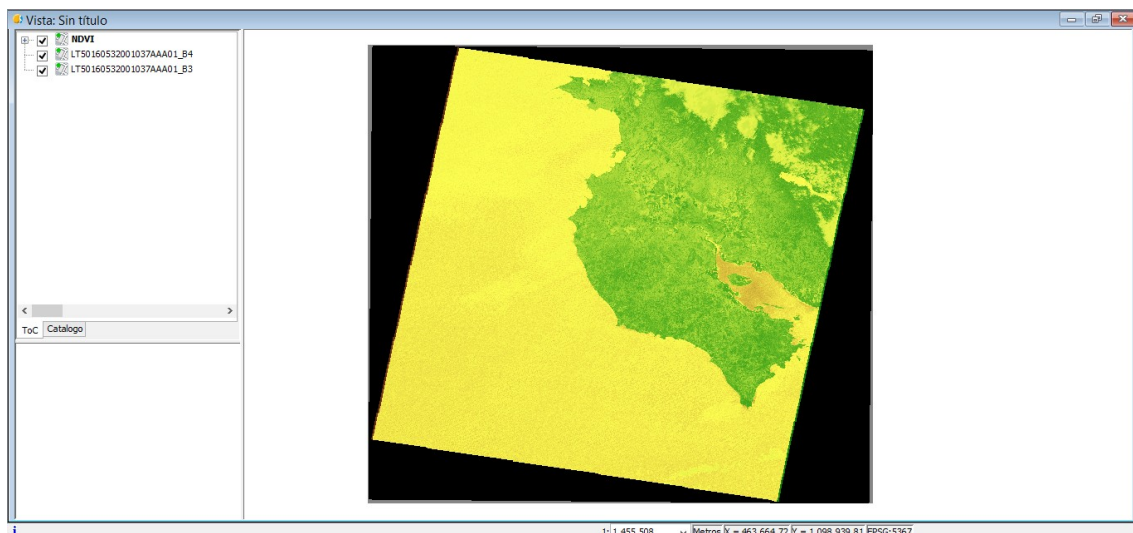
Seguidamente vamos a aplicar simbología a la imagen resultante, que por defecto se representa en escala de grises. Para ello acudimos al menú de capas y seleccionamos **“Capa Ráster”** y a la derecha **“Tablas de color”**.



Seleccione una tabla de color de las disponibles en la **“Librería”**. Active la tabla de color y aplique / acepte para visualizar la imagen.

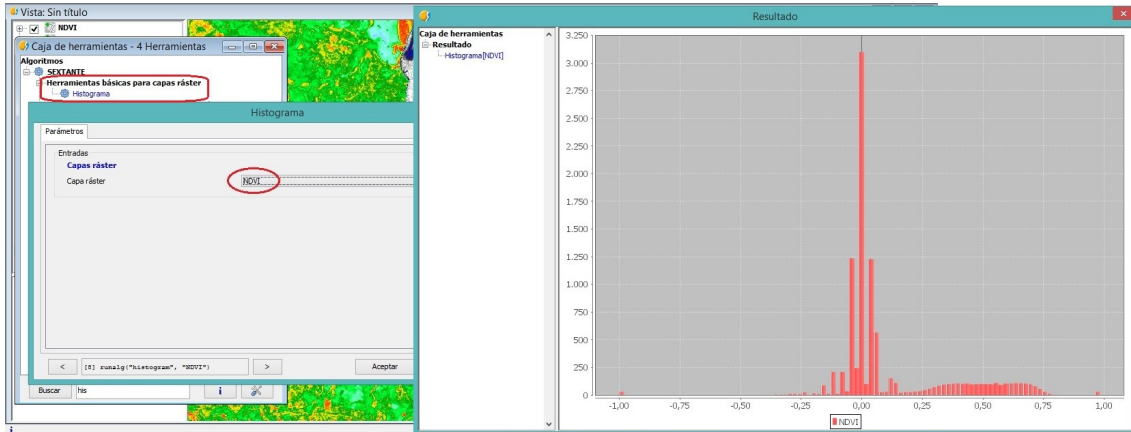


El índice de vegetación diferencial normalizado, o NDVI, sirve para mapear las zonas con vegetación densa, menos densa y suelos descubiertos.



A continuación vamos a aplicar otro índice, basado en el anterior. Se trata del **índice de proporción de vegetación**. Este paso es necesario para aislar la emisividad térmica de la vegetación, cuyos valores tomaremos como referencia. Para ello hay que verificar antes cuáles son los valores máximos y mínimos del anterior NDVI, y la mejor forma de hacerlo es partir

del histograma de la imagen. Por ello, acudimos a la herramienta “**Herramientas básicas para capas ráster**” / “**Histograma**” y seleccionamos el **NDVI** como capa de entrada, y le damos a “**Aceptar**”.

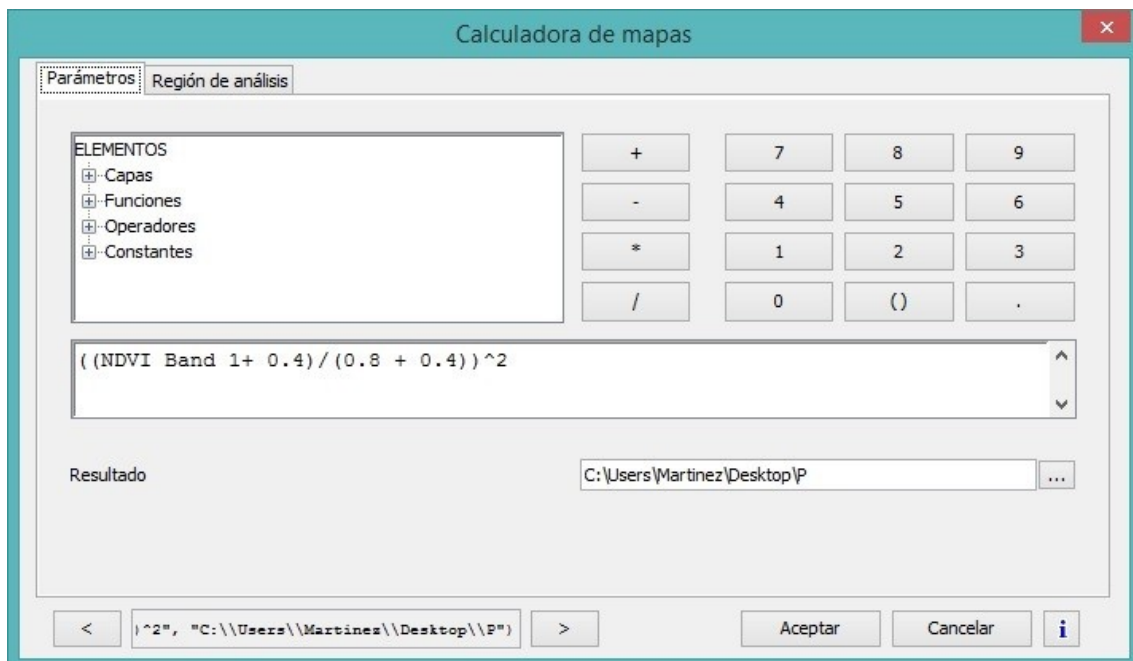


De acuerdo con el histograma de frecuencias de la imagen, podemos concluir que el **NDVI** se mueve entre unos valores que van del -0,4 a 0,8 aproximadamente.

Por tanto, vamos a tomar los anteriores valores como referencia. El PV o índice de proporción de vegetación es una ecuación que se expresa de la siguiente forma:

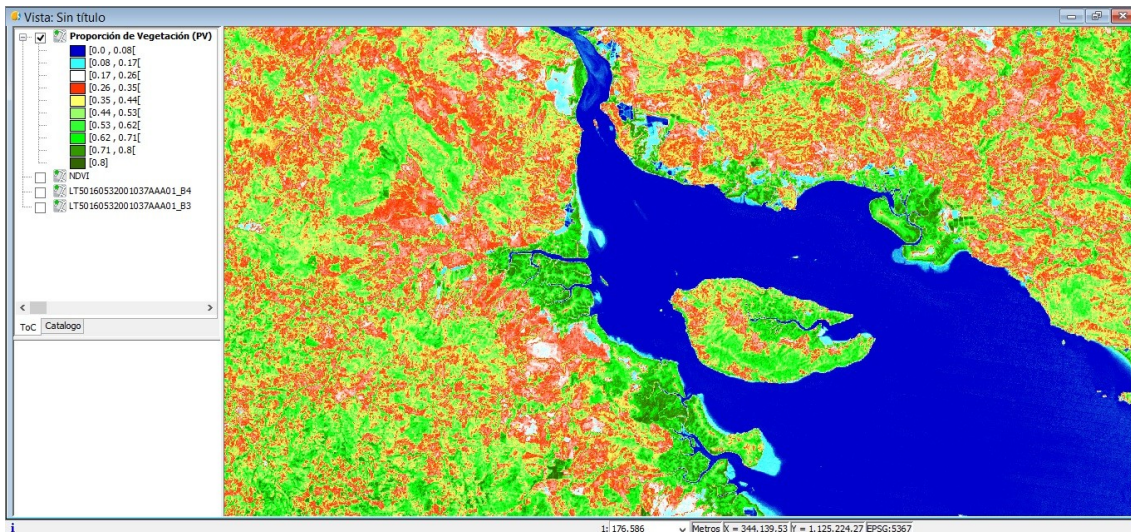
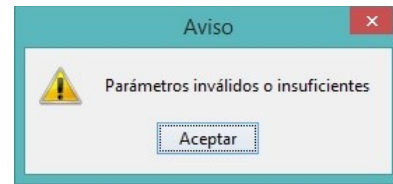
$$Pv = [(NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})]^2$$

Donde **NDVI** es el raster de índice de vegetación diferencia normalizado obtenido en el paso anterior, **NDVI<sub>min</sub>** es el valor mínimo y **NDVI<sub>max</sub>** el valor máximo. Introduzca la expresión\* en la “**Calculadora de mapas**” (los decimales se introducen con punto, no con coma).





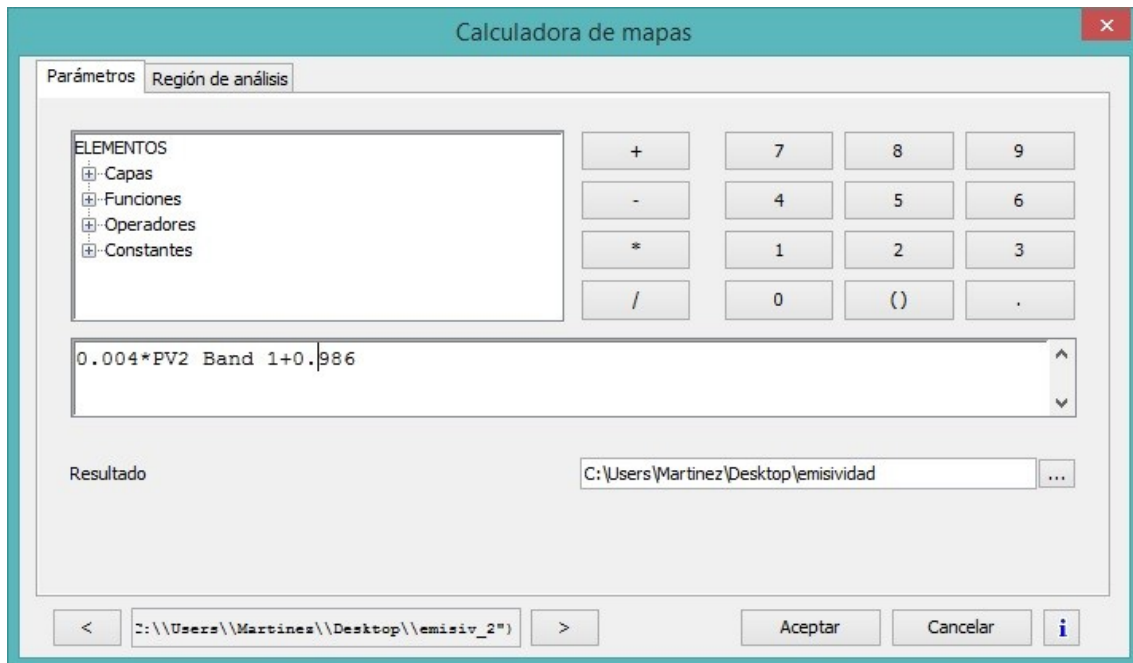
**\*Nota:** La “Calculadora de mapas” en ocasiones no permite ejecutar procesamientos (que indica mediante el aviso “parámetros inválidos”) cuando la ruta de salida es demasiado larga o el nombre contiene caracteres extraños como tildes o espacios.



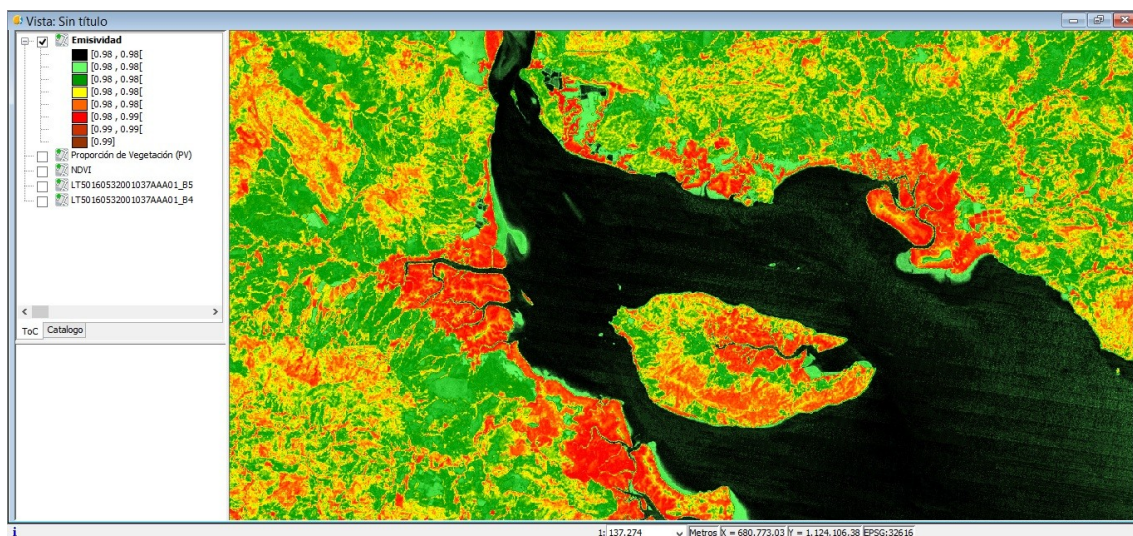
El resultado es la base para el cálculo o mapeado de la emisividad de la imagen. Asumiendo que un valor típico de la emisividad en el térmico es de 0,99 para la vegetación, escoger un valor típico de emisividad para el suelo puede ser algo más complejo. Una posibilidad es tomar como referencia el valor propuesto a partir de las 49 muestras de la biblioteca espectral de Aster (<http://asterweb.jpl.nasa.gov>). En tal caso el valor medio es de 0,986 con una desviación estándar de 0,004 y la expresión final para calcular la emisividad sería:

$$\epsilon = 0,004 * PV + 0,986$$

Por tanto, en la “Calculadora de mapas” introducimos la \*expresión:



El resultado es la imagen o raster de emisividad espectral.

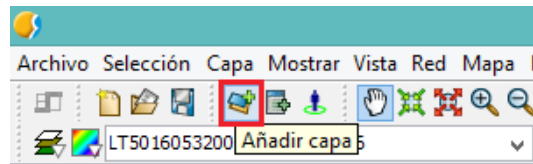


En la imagen, se puede apreciar como la máxima emisividad corresponde con las áreas de vegetación (manglares) y la mínima con el agua. Pastizales y bosque tropical seco presentan valores intermedios.

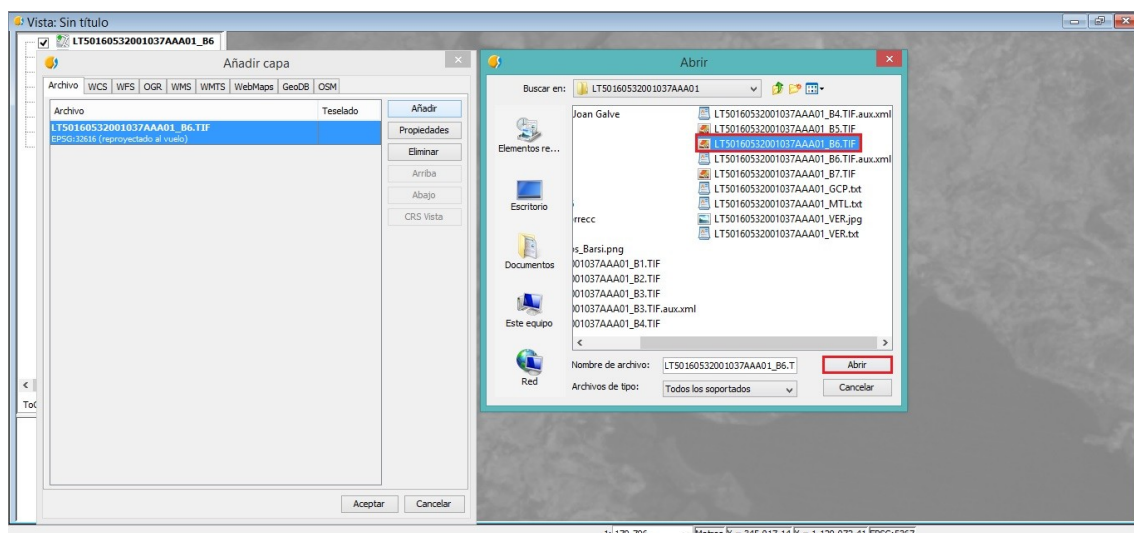
## 2ª PARTE - CALIBRACIÓN A RADIANCIA Y ALGORITMO DE TRANSFERENCIA RADIATIVA

La siguiente parte del ejercicio consistirá en transformar los niveles digitales de la imagen a magnitudes físicas (radiancia) relacionadas con el terreno.

Para ello primero hay que añadir en gvSIG nuestra banda térmica, que es la banda 6 del sensor Landsat 5. Desde el menú principal superior de gvSIG, en “**Añadir capa**”:

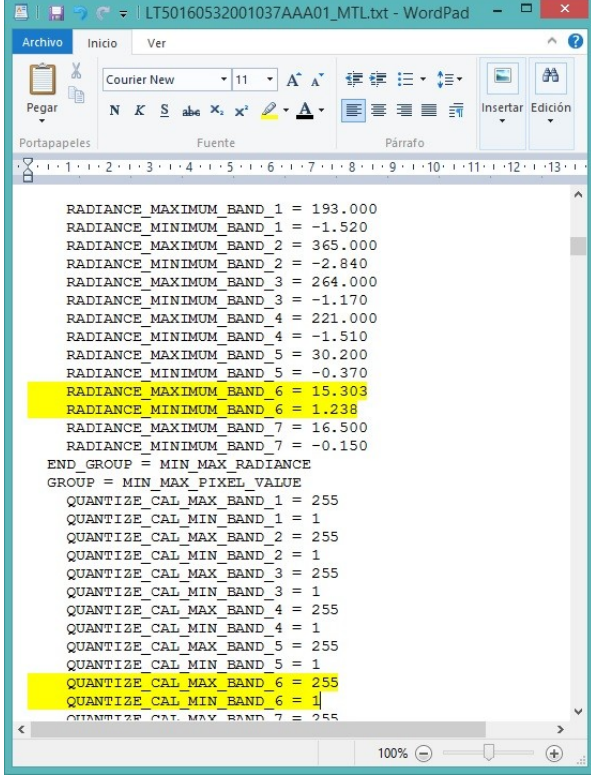


Busque la carpeta de la imagen que contiene las bandas, y añada la banda térmica de la imagen o banda 6 (**LT50160532001037AAA01\_B6**)



La imagen que puede observarse en escala de grises contiene los valores de radiancia, pero están codificados en niveles digitales (de 0 a 255). **La calibración radiométrica o transformación a valores de radiancia es un paso esencial para poder comparar datos o información de múltiples sensores y plataformas** en una escala radiométrica común. La radiancia se mide en  $W/m^2/sr^1/\mu m^{-1}$  y para poder obtenerla en dichas unidades, hay que acudir a los metadatos de la imagen, que se encuentran en el archivo con extensión MTL (dentro de la carpeta de las bandas).





```

RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 193.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -1.520
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 365.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -2.840
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 264.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -1.170
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 221.000
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -1.510
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 30.200
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.370
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 15.303
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = 1.238
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 16.500
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.150
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 255
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 255
  
```

El archivo de los metadatos se puede abrir con cualquier editor de texto. Las variables que nos interesan son:

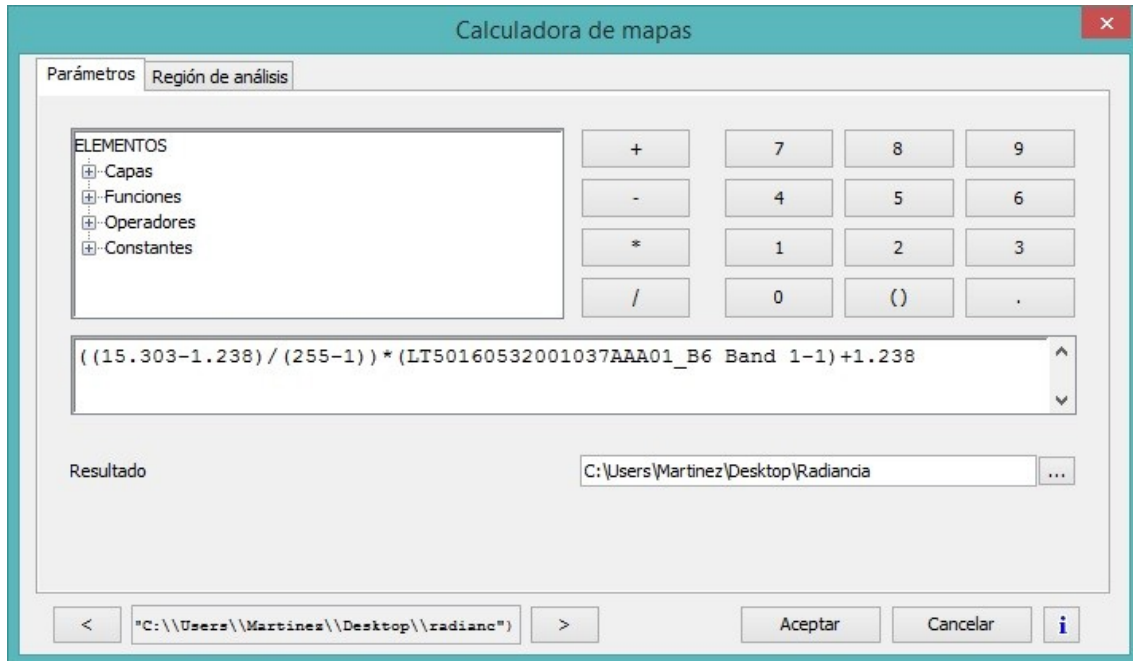
**RADIANCE\_MAXIMUM\_BAND\_6**  
**RADIANCE\_MINIMUM\_BAND\_6**  
**QUANTIZE\_CAL\_MAX\_BAND\_6**  
**QUANTIZE\_CAL\_MIN\_BAND\_6**

Que contienen los valores a introducir en el siguiente algoritmo:

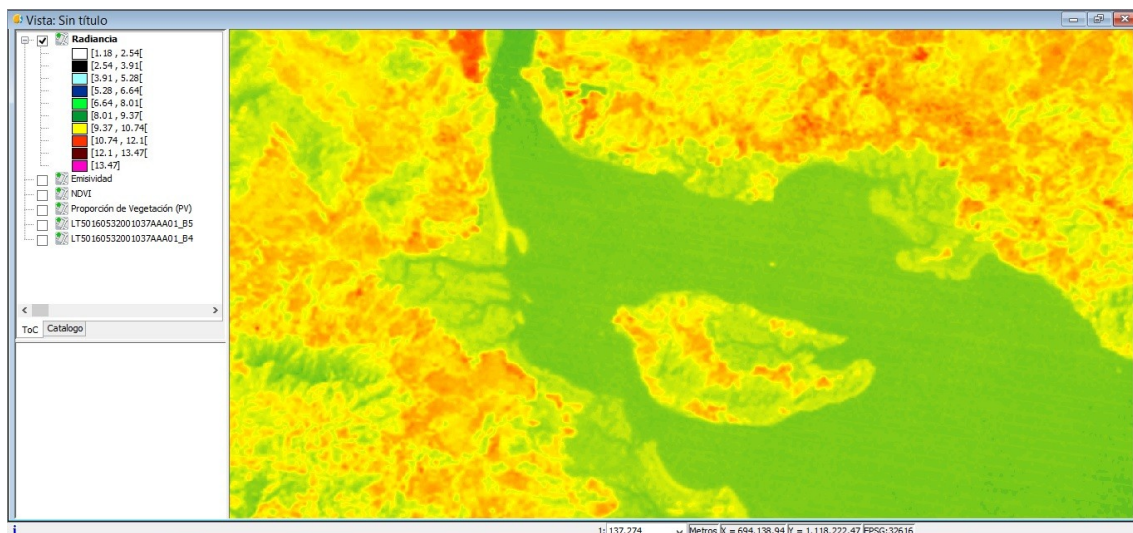
$$L_{\lambda} = \left( \frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN} \right) * (DN - QCALMIN) + LMIN$$

Donde  $L_{\lambda}$  es la radiancia espectral de la banda térmica que va a ser calculada; **LMAX** y **LMIN** son los valores de radiancia máxima y mínima para la banda 6 (**RADIANCE\_MAXIMUM\_BAND\_6** y **RADIANCE\_MINIMUM\_BAND\_6** en los metadatos) **QCALMAX** y **QCALMIN** son los valores máximo y mínimo de la radiancia calibrada (**QUANTIZE\_CAL\_MAX\_BAND\_6** y **QUANTIZE\_CAL\_MIN\_BAND\_6** en los metadatos) es decir, modificados a escala en unidades de números digitales (en función de la resolución radiométrica del sensor) y **DN** son los niveles digitales (la banda 6 en este caso).

Introduzca la expresión del algoritmo anterior, con los valores de los metadatos, en la “Calculadora de Mapas”:



En contraste con la imagen anterior, los valores más elevados de radiancia generalmente se dan en las áreas desprovistas de vegetación, con suelo desnudo, frente a los bosques y cuerpos de agua, que presentan valores más bajos.



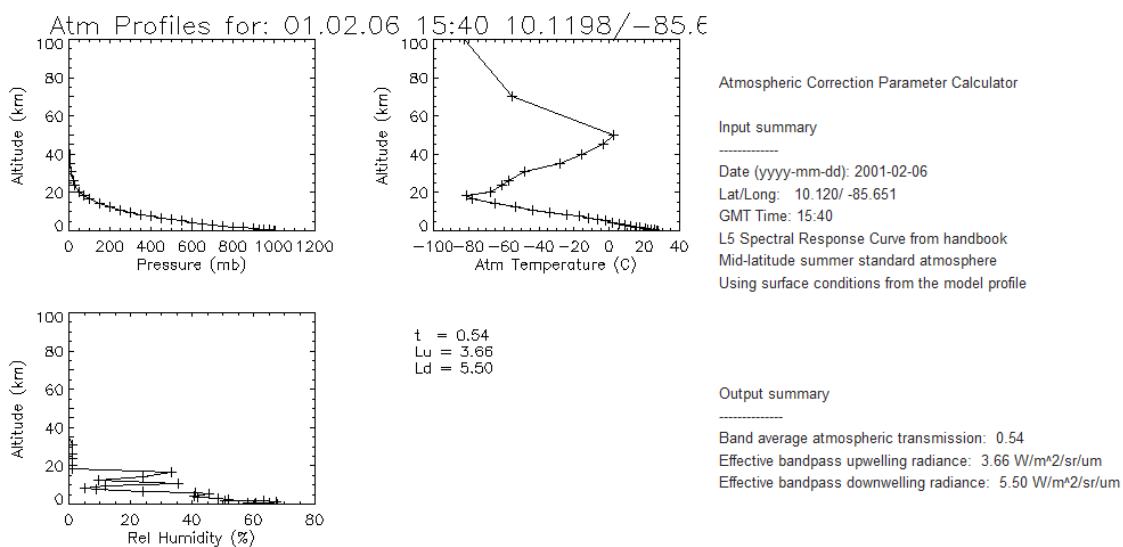
Uno de los problemas que se plantean con la transformación de radiancia a temperatura del suelo (que sería teóricamente el siguiente paso) es que la dispersión y la transmisión atmosférica producida por el albedo y el vapor de agua, alterarían notablemente los valores y nos darían temperaturas que no se corresponden con el terreno. Para evitar esto, vamos a utilizar la ecuación de transferencia radiativa creada en 2010 por César Coll, Joan Miquel Galve, Juan Manuel Sánchez y Vicente Caselles.

$$B(T) = \frac{L_{\text{sen}} - L^{\uparrow}}{\epsilon \tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L^{\downarrow}$$

Ecuación de transferencia radiativa. Fuente: Coll, Galve, Sánchez y Caselles, 2010.

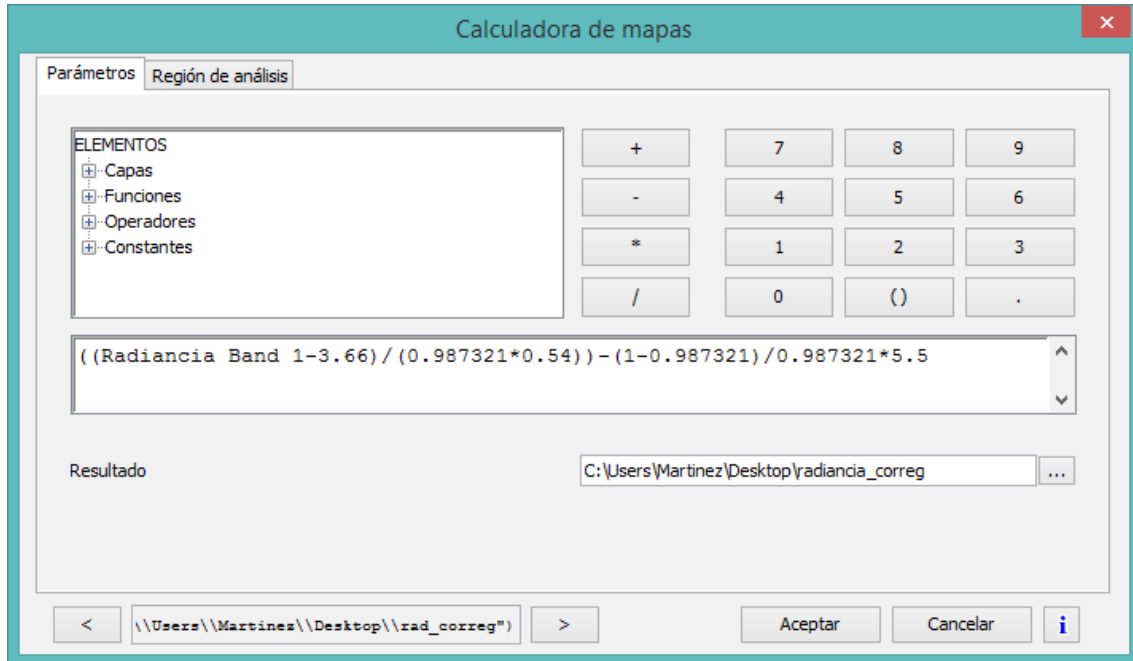
Donde;  $L_{\text{sen}}$  es la radiancia medida por el sensor ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}^{-1}/\mu\text{m}^{-1}$ ),  $\epsilon$  es la emisividad de la superficie,  $B$  es el parámetro derivado de la Ley de Planck calculado a partir de la ecuación de cálculo de temperatura de la superficie terrestre ( $^{\circ}\text{K}$ ),  $L^{\downarrow}$ : radiancia atmosférica descendente ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}^{-1}/\mu\text{m}^{-1}$ ),  $\tau$ : transmisividad atmosférica y  $L^{\uparrow}$ : radiancia atmosférica ascendente ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{sr}^{-1}/\mu\text{m}^{-1}$ ).

La transmisividad de la atmósfera, y la radiancia ascendente y descendente no son parámetros presentes en los metadatos de una imagen satelital. Para su obtención se puede recurrir a una herramienta operativa en línea de corrección atmosférica que permite calcular la temperatura superficial con un sesgo inferior a  $0.5 \pm 0.8^{\circ}\text{K}$  (Barsi y otros, 2005). La herramienta se denomina **Atmospheric Correction Parameter Calculator** y está disponible en el sitio web: <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>

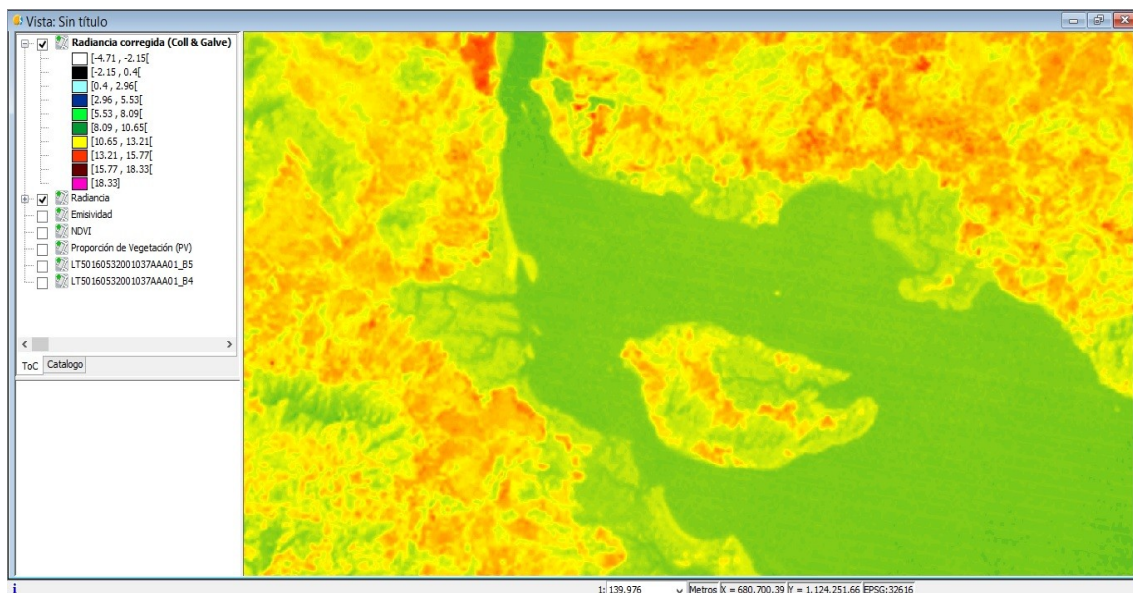


Para la fecha de la escena Landsat (6 de febrero de 2001) se obtuvieron unos valores de transmisividad atmosférica de 0,54 una radiancia

ascendente de  $3,66 \text{ (W/m}^2\text{/sr}^1\text{/}\mu\text{m}^{-1}\text{)}$  y una radiancia descendente de  $5,50 \text{ (W/m}^2\text{/sr}^1\text{/}\mu\text{m}^{-1}\text{)}$ . Fuente: <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>



Con ello, obtenemos el ráster de radiancias corregidas. Con todo el proceso anterior se obtiene una radiancia en la cual hemos removido o limitado los efectos atmosféricos, dando como resultado una imagen de radiancias con valores referidos al terreno.





### 3ª PARTE - OBTENCIÓN DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL A PARTIR DE RADIANCIAS

La última parte del ejercicio consiste en transformar los píxeles a valores de temperatura. La banda térmica (6) convertida a radiancia se puede transformar a temperatura de brillo efectiva por medio de la ecuación de cálculo de la temperatura superficial a partir de los valores de brillo, que requiere de dos constantes de calibración como muestra el siguiente cuadro:

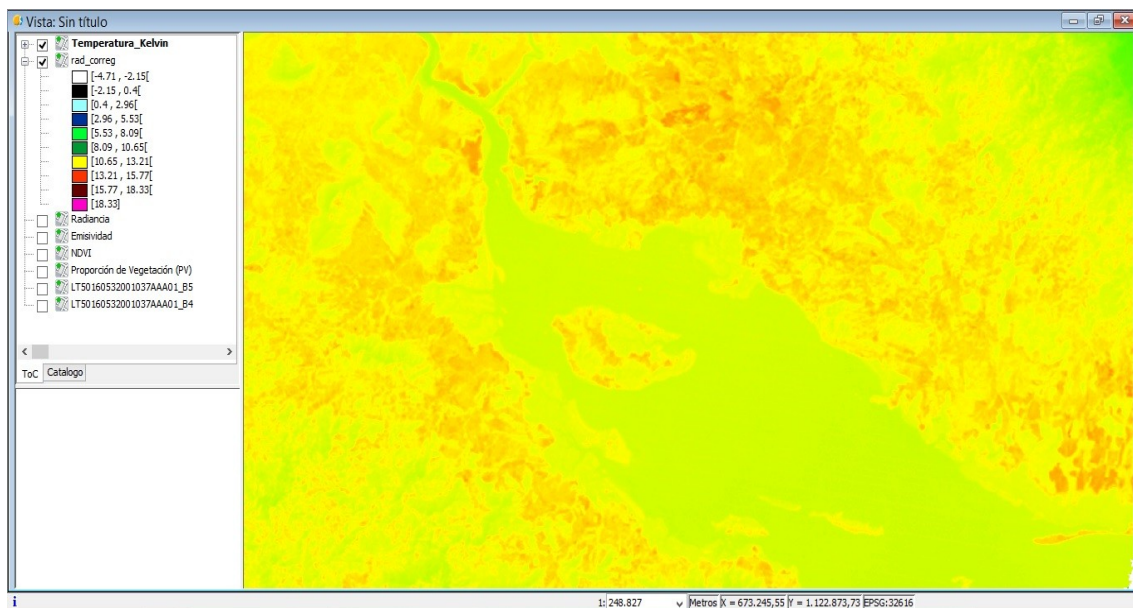
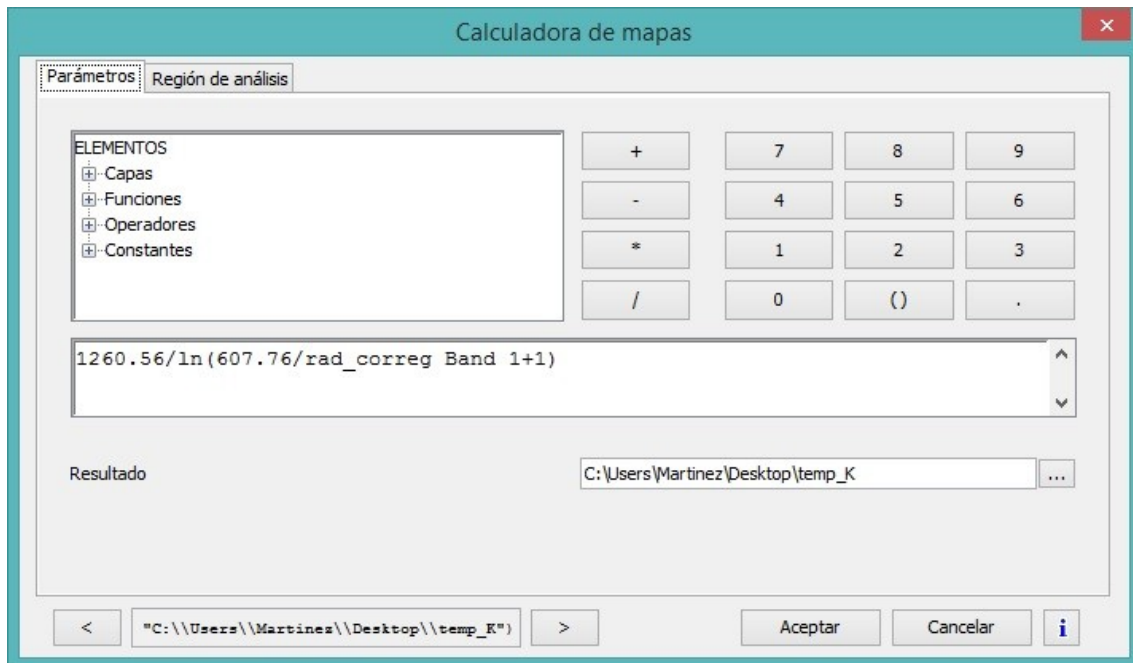
Satélites	Bandas	K <sub>1</sub> (W/m <sup>2</sup> /sr <sup>-1</sup> /μm <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> Kelvin
Landsat 4	6	671,62	1284,30
Landsat 5	6	607,76	1260,56
Landsat 7	6	666,09	1282,71
Landsat 8	10	774,89	1321,08
	11	480,89	1201,14

Constantes de calibración de la banda térmica de Landsat. Fuente: Chander et al., 2009.

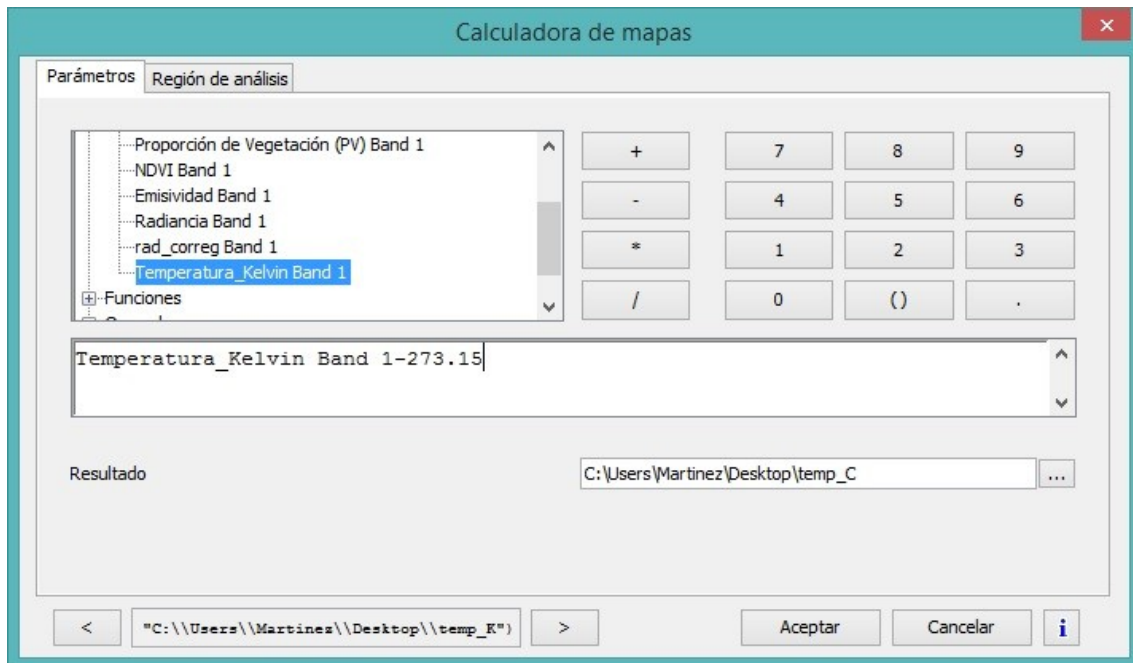
El algoritmo a aplicar sería el siguiente:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)}$$

Donde  $k_2$  y  $k_1$  son los coeficientes de calibración, con valores de 1260,56 y 607,76 (W/m<sup>2</sup>/sr<sup>-1</sup>/μm<sup>-1</sup>) respectivamente (Chander et. al. 2009) mientras que  $L_\lambda$  es el ráster de radiancia corregida obtenido en el paso anterior. El resultado se obtiene en grados kelvin.

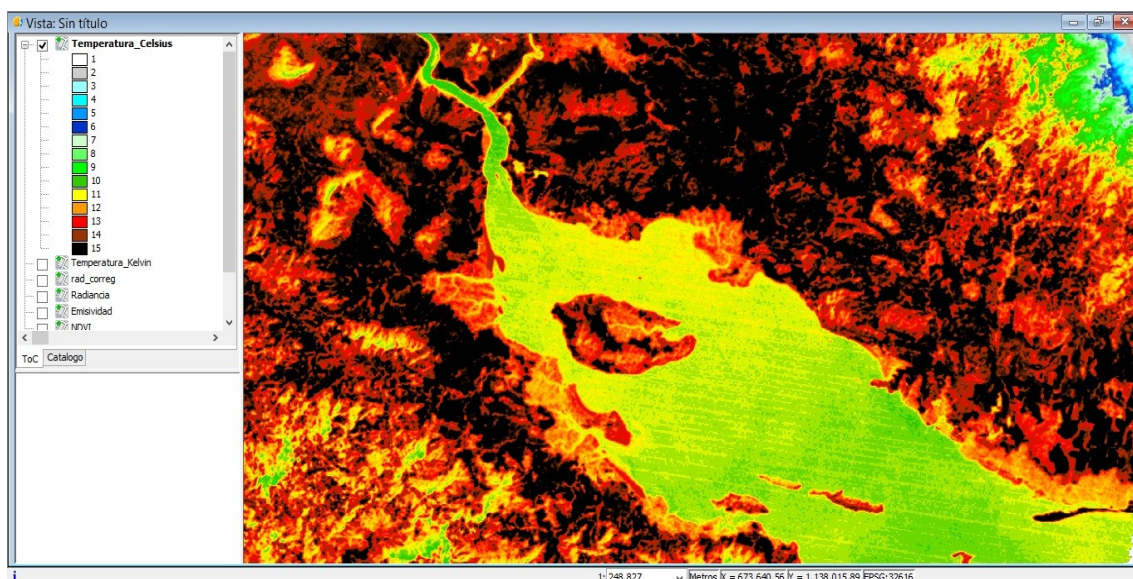


La imagen obtenida en el paso anterior, es la temperatura superficial del terreno en grados Kelvin. Para transformar las unidades a grados Celsius, simplemente restamos al ráster 273,15.



Y con esta última operación se obtiene un mapa cuyos valores de píxel representan las temperaturas del suelo en grados Celsius.

Como era de esperar, las zonas de baja altitud, que además presentan deforestación, con monocultivos y/o elevadas porciones de suelo desnudo, presentan las mayores temperaturas. Los cuerpos de agua (ríos, lagos, mar) y las zonas de elevada altitud presentan temperaturas mucho más bajas. En el área que nos ocupa, por ejemplo, los colores oscuros representan temperaturas de suelo que alcanzan e incluso superan los 40°, frente a las zonas verdes y azules, por debajo de 20°.



Para visualizar correctamente los datos active la tabla de color de la imagen y establezca un rango mínimo de 0 y un máximo de 40.

Tablas de color

Tabla Rampa

Color:	Clase	RGB	Valor	Final	Tra...
	1	255, 255, 255	0	2,857	255
	2	204, 204, 204	2,857	5,714	255
	3	153, 255, 255	5,714	8,571	255
	4	0, 255, 255	8,571	11,429	255
	5	0, 153, 255	11,429	14,286	255
	6	0, 51, 204	14,286	17,143	255
	7	204, 255, 204	17,143	20	255
	8	102, 255, 102	20	22,857	255
	9	0, 255, 0	22,857	25,714	255
	10	51, 204, 0	25,714	28,571	255
	11	255, 255, 0	28,571	31,429	255
	12	255, 153, 0	31,429	34,286	255
	13	255, 0, 0	34,286	37,143	255
	14	153, 51, 0	37,143	40	255
	15	0, 0, 0	40		255

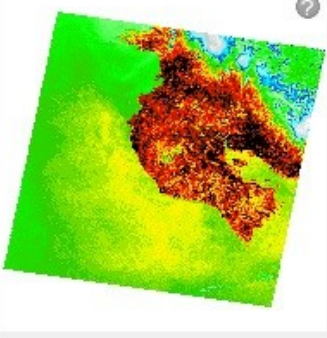
Registro: 15 de 15

Mínimo: 0 Máximo: 40 Recalcular estadísticas

Activar Tablas de color  Interpolado  Ajustar límites

Equidistar Guardar como predeterminado Aplicar Aceptar Cancelar

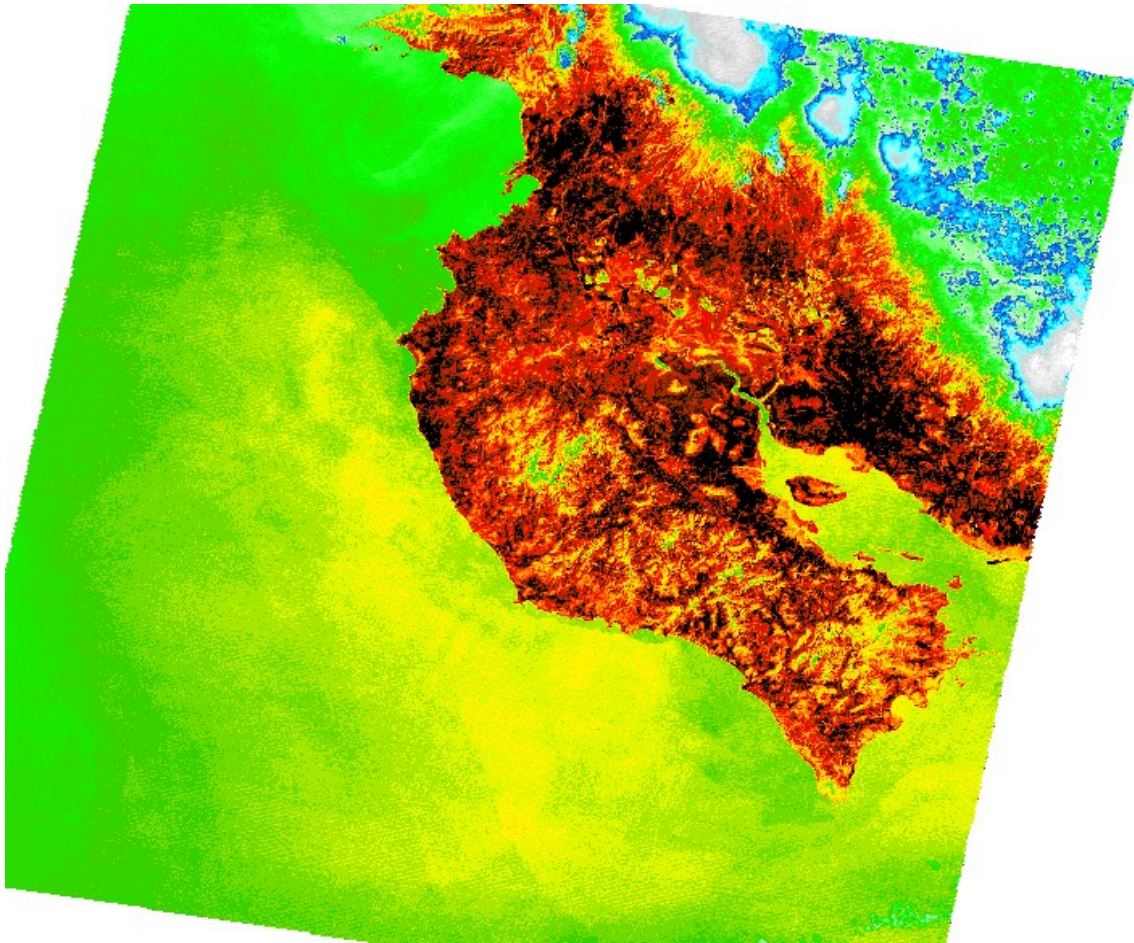
Vista previa



Librería

- Stairsteps Blue (15)
- Stairsteps Green (15)
- Stairsteps Orange (15)
- Stairsteps Purple (15)
- Stairsteps Yellow (15)
- Step Down Blue (9)
- Step Down Green (9)





### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barsi J., Barker J. L. & Schott, J. R. (2003). An Atmospheric Correction Parameter Calculator for a Single Thermal Band Earth-Sensing Instrument. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*. 5. 3014 - 3016 vol.5. 10.1109/IGARSS.2003.1294665.

Chander, G., Markham, B. L., & Helder, D. L. (2009). Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote sensing of environment* 113: 893-903.

Quattrochi, D. A., & Luvall, J. C. (2000). Thermal remote sensing in land surface processes. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.

Sobrino, J. A., Raissouni, N., Kerr, Oliso, López, M. J., Belaid, El-Kharraz, J., Cuenca, J. & Dempere (2000). Teledetección. 10.13140/2.1.2883.3283.

Valor, E. y Caselles, V. (1996). Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. *Remote Sensing of Environment*, 57, 167-184.