

ANÁLISIS DE LA BANDA TÉRMICA DEL SENSOR TM DEL LANDSAT-5 DE LA MANCHA (PROVINCIAS DE TOLEDO, CIUDAD REAL Y CUENCA)

M^a Eugenia PÉREZ GONZÁLEZ* y M^a del Pilar GARCÍA RODRÍGUEZ**

*Dpto. Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Univ. Complutense de Madrid.

**Proyecto CICYT AMB98-0827

RESUMEN

En este trabajo se analiza la banda térmica de imágenes multitemporales de La Mancha para obtener mapas de temperatura aparente de la superficie del suelo. Las diferencias espaciales responden a distintos comportamientos térmicos de los materiales: color, humedad, composición, etc. Se destaca la variabilidad térmica de los humedales y el contraste con el entorno.

Palabras clave: La Mancha, TM LANDSAT-5, banda térmica, humedales.

ABSTRACT

In this paper we analysed the thermal channel of TM Landsat-5 in La Mancha (Spain). The object of this paper is to obtain the brightness temperature of soil surface. The spatial differences are affected by colour, moisture, composition of soil material. Also we show up the thermal variability of wetlands and their contrast with surroundings.

Key words: La Mancha, TM LANDSAT-5, thermal channel, wetlands.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo se analiza la banda térmica del sensor TM del satélite LANDSAT-5 en tres imágenes multitemporales, pertenecientes a un sector de La Mancha con un amplio y variado conjunto de humedales. Se han comparado los resultados con la información meteorológica –de 1991 a 1998– de todas las estaciones existentes (9 pluviométricas y 6 termométricas con registros completos) y con la climática de la serie 1961-1990.

El canal 6 del TM recoge información de la irradiación de la superficie terrestre con una longitud de onda entre 10,4 y 12,5 micrómetros. Los valores captados por el sensor (números digitales, ND) pueden transformarse en temperatura aparente de la superficie que difiere de la temperatura real debido a la emisión-absorción atmosférica y a la emisividad de la superficie (SHOTT, 1989).

El objetivo del trabajo es conocer el comportamiento térmico de un vasto sector de La Mancha, aparentemente monótono por su escasa diferencia altitudinal, pero con grandes contrastes de

humedad (espaciales y temporales) y de litología, aspecto que ofrecerá una buena información sobre la distinta emisividad de los materiales, evidentemente variable en función de la fecha y de las características meteorológicas. Además se pretenden plasmar los resultados obtenidos en tres mapas térmicos correspondientes a cada una de las imágenes analizadas.

2. ÁREA DE ESTUDIO

El sector manchego analizado comprende la cuenca baja de los ríos Cigüela y Záncara, afluentes de cabecera del río Guadiana. Esta área tiene una superficie aproximada de 1845 km² correspondiente a los mapas topográficos 687, 688, 689, 714 y 715. Los principales límites naturales de esta gran planicie son: al W y NW las estribaciones cuarcíticas de los Montes de Toledo; al E y NE los afloramientos mesozoicos occidentales del Sistema Ibérico; el límite sur viene configurado por los amplios terrenos cuaternarios depositados por la acción fluvial del río Záncara y, en el extremo SW, la confluencia del Cigüela con el Guadiana, da lugar al más conocido humedal manchego, Las Tablas de Daimiel.

Topográficamente, el área es muy llana con una diferencia altitudinal máxima de 200 m en la diagonal NE-SW: la posición más baja se localiza en el cauce del río Cigüela y su amplia llanura de inundación con cotas de 627 y 628 m respectivamente y, la mayor altitud -832 m- se sitúa en los materiales cretácicos al norte de la localidad de Mota del Cuervo.

La pendiente media en el área de estudio es aproximadamente 0,25%, salvo en los escarpes y frentes de las mesas y cuevas cenozoicas que, localmente, suelen tener en torno al 15 %. Las diferencias altitudinales N-S son de 60 m en el oeste de la imagen y de 144 m en el este de la misma. Dentro del área de estudio la amplitud métrica media entre las lagunas y su entorno oscila alrededor de los 15 m.

Desde el punto de vista litológico los materiales más antiguos corresponden al triásico de Alcázar de San Juan, formados por arcillas, yesos y arenas; estos materiales se extienden al norte de la citada localidad y al sur y este del Campo de Criptana (PEINADO, 1994) y en una pequeña cuña al sur de la laguna de Villacañas (PÉREZ *et al.*, en prensa). El resto del mesozoico (calizas y dolomías jurásicas) y sedimentos detríticos cretácicos se sitúan al noroeste del área de estudio, formando pliegues con dirección N-S. El cenozoico está representado por materiales detríticos y químicos del paleógeno (conglomerados, areniscas, margas, calizas y yesos) en las proximidades de Mota del Cuervo, mioceno (margas, yesos, calizas, arenas, etc.) en el centro de la imagen, plioceno (gravas, arenas y arcillas) en el noroeste y cuaternario en las llanuras de inundación y en los coluviones (IGME, 1972).

El clima de La Mancha Húmeda presenta un régimen pluviométrico medio (1961-1990) IPOV, salvo en las estaciones más secas (Villafranca de los Caballeros y Madridejos) con un ritmo PIOV. Debe destacarse que, en general, todas las estaciones manchegas durante los años secos tienen máximos pluviométricos en primavera, aunque cuando faltan las precipitaciones invernales- de mayor cuantía y distribución temporal (entre 15 y 22 días de lluvia al mes)- las copiosas tormentas de primavera no son suficientes para elevar los valores anuales. La precipitación media anual oscila entre 398 y 484 mm. Para la citada treintena los valores anuales extremos fueron de 701 mm de máxima y 224 mm

de mínima, ambos registrados en la estación de Socuéllamos (Ciudad Real). Los tres años analizados en las imágenes de satélite resultaron pluviométricamente contrastados: 1992 fue seco; 1995 entre seco y muy seco, dependiendo de las estaciones meteorológicas; y 1997, húmedo (Fig. 1).

De las seis estaciones termométricas del área analizada sólo Alcázar de San Juan tiene registros completos durante los años 1991-1998. La temperatura media anual es de 14,42°C en el año 1992, 16,06°C en 1995 y 15,41°C en 1997.

La vegetación natural más representativa corresponde a las formaciones ripícolas de los ríos Cigüela y Záncara y a la vegetación higrófila y halófila del entorno de los humedales (lagunas del Taray, Masegar y Villafranca en Toledo, Manjavacas en Cuenca y lagunas de Alcázar de San Juan, en Ciudad Real). Las formaciones forestales y de matorral se sitúan, con mayor extensión, en los materiales mesozoicos del NE de la imagen. Las llanuras de inundación de los diferentes ríos se encuentran dedicadas a cultivos de secano y regadío observándose claramente las distintas parcelas en las imágenes TM. Asimismo aparecen cultivos de cereales y viñedos dispersos en todo el sector estudiado, entremezclados con parcelas abandonadas o dedicadas a pastizales.

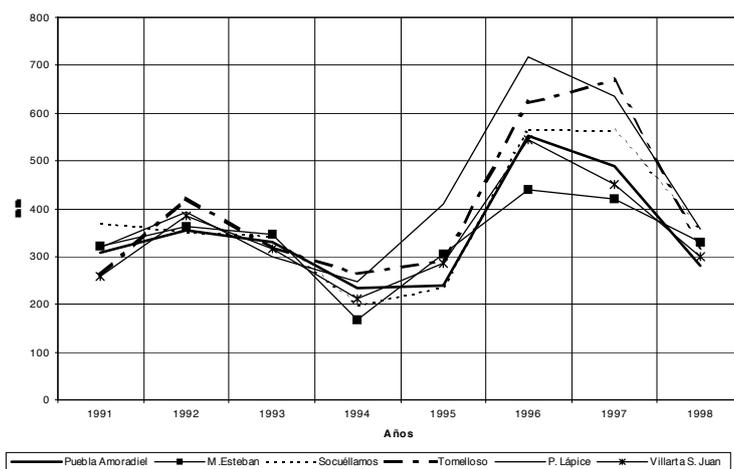


Figura 1. Precipitaciones anuales (mm)

3. MATERIAL Y MÉTODO

Se han analizado diferentes imágenes del sensor TM correspondientes a tres fechas: 5 de noviembre de 1992, 28 de agosto de 1995 y 20 de febrero de 1997. Estas imágenes se han sometido a diversos tratamientos digitales: se han georreferido a coordenadas UTM, y realizado diversas mezclas de bandas y mejoras radiométricas (contraste y ecualización de los histogramas) con el fin de obtener una mayor discriminación visual. También se ha efectuado un análisis de los valores espectrales en la banda 6, considerando las diferentes clases espectrales e informacionales; para este análisis se seleccionaron alrededor de 250 puntos en cada imagen, que han servido para delimitar los principales intervalos térmicos y establecer transectos, escogiendo los puntos más representativos.

Para transformar los valores digitales del sensor TM a valores de temperatura del suelo se ha utilizado la ecuación de WUKELIC *et al.* (1989) en la que se obtiene la radiancia espectral de la banda 6 a partir de una función lineal:

$$R = c ND + d$$

donde *c* y *d* son dos constantes expresadas en $\text{mW cm}^{-2} \text{sr}^{-1}\text{nm}^{-1}$ (HURTADO *et al.*, 1996). Conocida la radiancia se obtiene la temperatura aparente siguiendo la ecuación de SHOTT (1989):

$$T = K_2 / \ln [(K_1/R)+1]$$

A partir de la temperatura de brillo o aparente de la superficie (la captada por el sensor) se podría obtener la temperatura real aplicando la corrección atmosférica propuesta por COLL *et al.* (1994), pero para ello tendríamos que disponer de los valores del flujo de radiación, dependientes de la temperatura del suelo y del aire, así como de la evapotranspiración en los dos puntos de la imagen más extremos desde el punto de vista térmico: regadío y suelo desnudo. Estas correcciones sí han sido realizadas en unas imágenes de un área próxima, situada en la provincia de Albacete con cubiertas similares (HURTADO *et al.*, 1996); las temperaturas obtenidas con estas correcciones sólo varían $0,5^\circ\text{C}$ respecto a la temperatura aparente. En este trabajo se medirá la temperatura recogida por el sensor sin esta corrección, pues el objetivo no es tanto buscar las temperaturas exactas de las diferentes cubiertas, sino establecer las diferencias térmicas entre las distintas litologías y las variaciones anuales, interanuales y espaciales de la humedad o encharcamiento del suelo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Imagen de otoño (noviembre de 1992)

El análisis de la banda del infrarrojo térmico (Fig.2) en esta época del año muestra nítidamente la posición de las lagunas más profundas con los valores más bajos (laguna Larga de Villacañas, del Taray de Toledo y de Manjavacas, entre $10,5$ y $12,0^\circ\text{C}$), mientras que las lagunas someras –con temperaturas entre $13,4$ y $17,2^\circ\text{C}$ –, están peor diferenciadas en la imagen porque hay una mayor interferencia de los materiales subyacentes.

La variabilidad de los materiales sedimentarios queda reflejada también en la banda térmica: yesos, suelos degradados, escarpes y calizas sin recubrimiento vegetal –todos ellos con tonos muy claros en la combinación de bandas 4-3-2– tienen una respuesta térmica con valores inferiores al resto de materiales, suelos y usos del mismo en similar posición topográfica, lo que traducido a valores de temperatura de la superficie establece un intervalo entre $14,4$ y $15,8^\circ\text{C}$, frente a temperaturas superiores a $16,3^\circ\text{C}$ del resto del área.

Los cauces de los ríos (apenas incididos en el terreno) con vegetación de ribera presentan mayor temperatura que su entorno (de $16,3 - 17,2^\circ\text{C}$ a $14,4 - 15,8^\circ\text{C}$ respectivamente), pese a la mayor humedad, pues la vegetación actúa de barrera y presa del aire, frenando además la velocidad del viento. La diferencia térmica entre ambos oscila entre $0,5$ y 2°C en los dos ríos principales (Cigüela y Záncara).

4.2 Imagen de verano (agosto de 1995)

El rango térmico en toda la imagen (Fig.2) oscila entre $22,6^\circ\text{C}$ en la laguna de las Yeguas (próxima a Alcázar de San Juan), con agua, y $39,7^\circ\text{C}$ en la llanura de inundación del Cigüela (a 645 m de altitud), situada a $7,8$ km de distancia al NE de la laguna anterior.

Los valores más altos se localizan sobre distintos materiales y están irregularmente distribuidos. En el cuadrante NW del área estudiada ocupado por campos de cultivos (ya sin cereales) sobre materiales terciarios presentan entre 32,5 y 36,5° C de temperatura; en el extremo NE los depósitos mesozoicos presentan valores entre 32,5 y 35,0° C dependiendo de la altura, puesto que esta área se caracteriza por la presencia de pliegues arrasados. Debe destacarse que no se aprecian diferencias térmicas entre ambos sectores en función de la altitud (150 m en 55 km) a causa de la escasísima pendiente. Frente a la homogeneidad térmica de estos materiales y de usos del suelo contrastan los valores elevados de las arcillas triásicas, independientemente de su localización (de 31,2 a 37,3° C).

Los materiales de origen químico, calizas y yesos, presentan valores próximos a los 30° C, inferiores a los arriba descritos debido a su mayor albedo.

Los mínimos de temperatura corresponden a todos los cuerpos de agua, lagunas (de 22,6° en la laguna de Las Yeguas a 26,6° C en la laguna de Villacañas) y regadíos (entre 23,1 y 24,4° C), –bien visibles en la imagen térmica-. No obstante, destaca un gran área central, con tonos también muy oscuros que parecen seguir el curso de algunos arroyos (del Cuadrajón, Zanja de la Montilla, de Anafría, etc.), con temperaturas entre 24,0 y 29,5° C, estos valores responden a la mayor humedad a consecuencia de las intensas precipitaciones de los días previos a la captación de la imagen, correspondiendo los valores mínimos con las precipitaciones diarias más altas (Miguel Esteban, 40 mm el día 23 y Puebla de Almoradiel, 36 mm el día 22 de agosto) frente a las temperaturas más altas, entre 31,6 y 37,3° C, en aquellos sectores donde las precipitaciones han sido más bajas (Alcázar de San Juan, 8 mm el día 20 y Tomelloso, 6,7 mm el día 21).

4.3 Imagen de Invierno (febrero de 1997)

Los datos aportados por la banda 6 del sensor TM presenta una gran uniformidad en cuanto a la distribución espacial de valores, destacándose las principales diferencias en función de las distintas litologías y usos del suelo. Respecto al comportamiento térmico destacamos:

· Todos los humedales, independientemente de su posición topográfica, origen (natural o antrópico), superficie, altura de la lámina del agua (de escasos centímetros a algo más de un metro) presentan los valores más bajos de *La Mancha Húmeda* y muy homogéneos (entre 8,5 y 11,0° C);

· Destacan cuatro lagunas (también de distinto origen y profundidad de la lámina de agua) con los mínimos valores registrados: Tirez, Peña Hueca y El Masegar (provincia de Toledo) y Alcahozo (Cuenca), por lo que podrían estar relacionados con la composición del fondo de las cubetas;

· Todos los cursos de agua y llanuras de inundación, especialmente las más desarrolladas (del río Cigüela y Zán cara) muestran temperaturas más bajas que su entorno como respuesta a la gran cantidad de agua o humedad del suelo (los citados ríos con valores entre 10,5 y 12,4° C y sus llanuras de inundación correspondientes entre 11,0° C – en regadíos- y 13,4-14,4° C en los eriales);

· En cuanto a la gradación térmica de los materiales y usos del suelo destacan de mayor a menor temperatura:

- 1.- Arcillas frecuentemente dedicadas al viñedo (de 15,8 a 18,6° C),
- 2.- Rastrojos -localizados preferentemente en la amplia llanura de inundación del río Cigüela-,

Riánsares, y vegetación halófila de las áreas del entorno de las lagunas endorreicas, entre 12,4 y 15,8°C;

3.- Vegetación de ribera, de 12,4 a 13,4°C;

4.- Regadíos, de 11,0 a 12,0°C.

5. CONCLUSIONES

El análisis de la banda térmica del sensor TM permite un conocimiento detallado de la temperatura superficial por lo que se pueden extrapolar los resultados a otras áreas donde no exista una completa red de estaciones termométricas.

Los humedales destacan en las imágenes, tanto visual como digitalmente ya que presentan temperaturas más bajas que su entorno inmediato; esta diferencia alcanza los 6-7°C en otoño-invierno y hasta 9°C en verano.

Los mínimos térmicos no se producen en las lagunas más profundas sino en aquellas que se han formado sobre materiales de origen químico, lo que muestra una gran influencia del sustrato. Esto también se confirma al analizar los materiales y distintas cubiertas del suelo con valores de reflectancia y emisividad contrastados.

En este sector manchego con ocasionales e intensas precipitaciones estivales deben tenerse en cuenta la distribución de éstas en los días previos a la captación de las imágenes.

BIBLIOGRAFÍA

- CASELLES, V.; COLL, C.; RUBIO, E.; SOSPEDRA, F. y VALOR, E. (1997): "La medida de la temperatura y de la emisividad desde satélites: estado actual y perspectivas futuras" in CASANOVA, J.L. y SANZ, J., (eds.): *Teledetección: usos y aplicaciones*. Ed. Univ. Valladolid. pp. 487-492
- COLL, C.; CASELLES, V.; SOBRINO, J.A. y VALOR, E. (1994): "On the atmospheric dependence of the split-window equation for land surface temperature". *International Journal Remote Sensing*, **15**, 105-122.
- HURTADO, E. (1996): "Comparison of two atmospheric correction methods for Landsat TM thermal band." *Int. J. Remote sens.*, **17**, 2, 237-247.
- I.G.M.E. (1972): *Mapas geológicos de España 1:200.000 de Toledo, Tomelloso y Campo de Cripana*. Inst. Geológico y Minero de España. Madrid.
- PEINADO MARTÍN MONTALVO, M. (1994): *Funcionamiento y variabilidad de los geosistemas de los humedales manchegos*. Tesis doctoral, Dpto. A.G.R. y Geografía Física, Universidad Complutense de Madrid, 296 pág. con mapas y anexos.
- PÉREZ GONZÁLEZ, M^aE. y SANZ DONAIRE, J.J. (1998): "Clima y microclima de la Mancha Húmeda". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, **18**, 205-237.

PÉREZ GONZÁLEZ, M^ªE.; SÁNCHEZ PÉREZ de EVORA, A; GARCÍA RODRIGUEZ, M^ªP y SANZ DONAIRE, J.J. (en prensa): Análisis mediante imágenes de satélite de la salinización en la laguna Larga de Villacañas (Toledo). Libro Homenaje al profesor José Estébanez Alvarez, 10 pp.

SHOTT, J.R. (1989): Image Processing of Thermal Infrared Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **55**, 9, 1311-1321.

WUKELIC, G.E.; GIBBONS, D.E.; MARTUCCI, L.M. y FOOTE, H.P. (1989): Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper Thermal Band. *Remote Sensing Environmental*, **28**, 339-347.

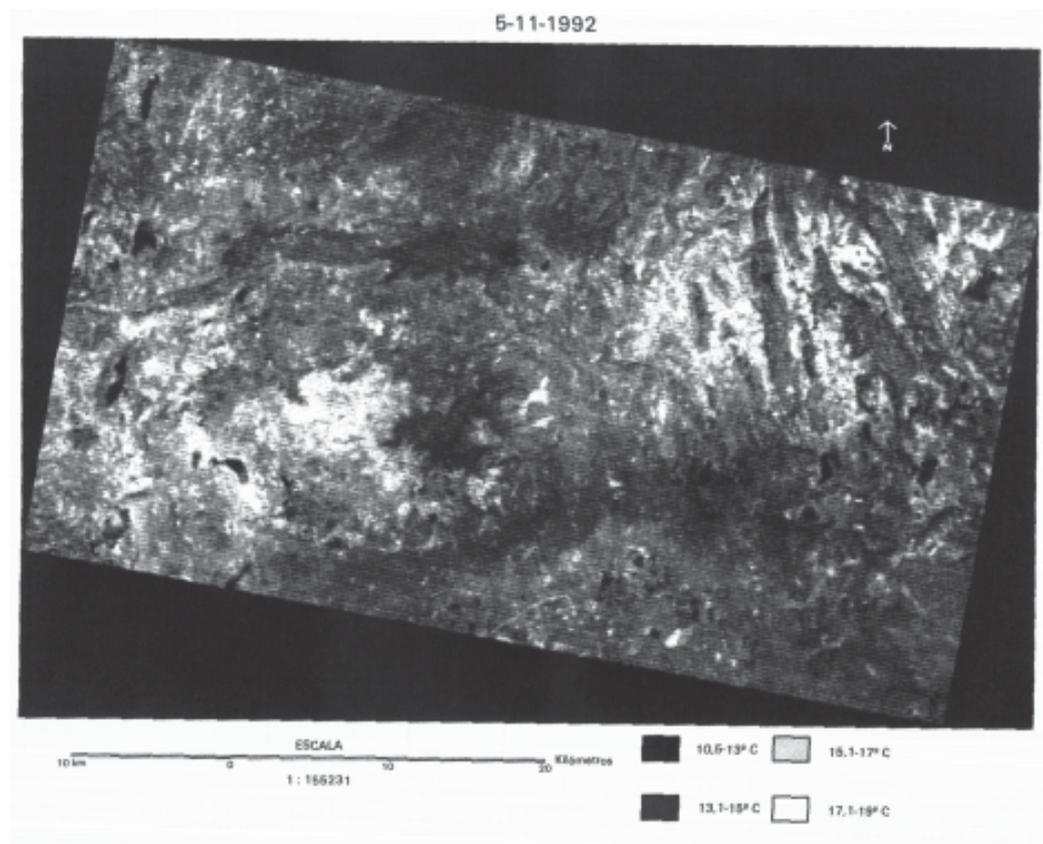


Figura 2. Imágenes TM de la Banda 6

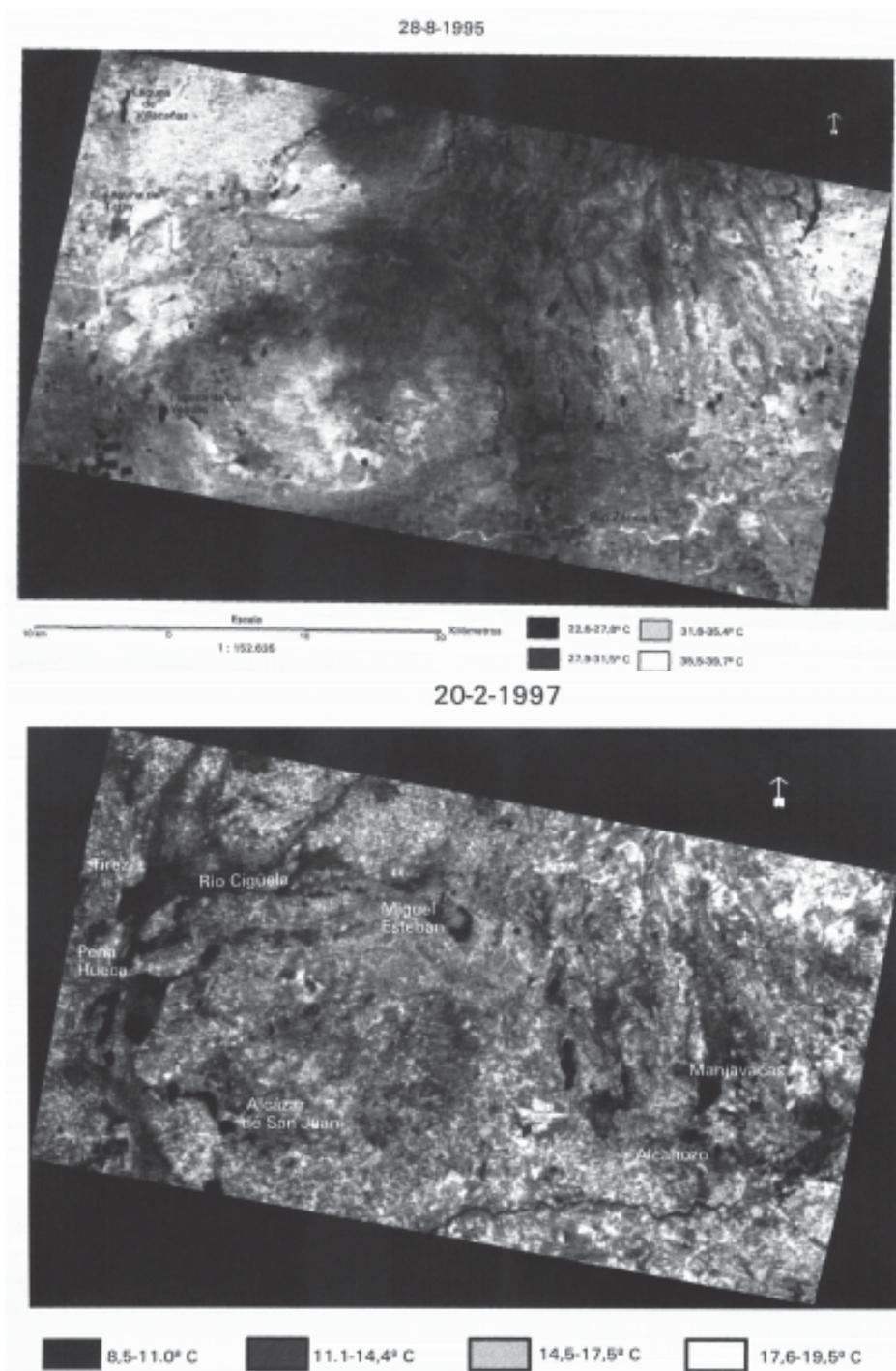


Figura 2 (cont). Imágenes TM de la Banda 6

