

# ESTUDIO DE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA EN EL VALLE DEL RÍO NEUQUÉN CON LA UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

Marisa Gloria Cogliati\*

## Resumen

En el presente trabajo se estudia la distribución espacial de la temperatura de brillo y superficie, con la utilización de imágenes satelitales LANDSAT7 ETM+ y NOAA-AVHRR en el valle cultivado del río Neuquén. El estudio de la distribución espacial de la temperatura en una zona con un terreno algo complejo implica la utilización de una gran densidad de mediciones meteorológicas. Muchas veces no es posible concretar la densidad adecuada de la red agrometeorológica debido a los altos costos de instalación y mantenimiento. Los sensores remotos proporcionan un gran caudal de información en una variedad de resoluciones, con costos considerablemente menores.

La determinación de zonas cálidas y frías en el valle permitiría hacer más eficientes los métodos de riego y de lucha contra heladas y proporcionaría herramientas para la mejor planificación productiva de la zona.

**Palabras clave:** Topoclimatología, Temperatura de superficie, Imágenes satelitales

\* Departamento de Geografía. Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Comahue.

# **A STUDY OF TEMPERATURE'S SPATIAL DISTRIBUTION IN NEUQUEN RIVER VALLEY THROUGH SATELLITE IMAGING**

## **Abstract**

This paper looks into the spatial distribution of brightness and surface temperature through the use of LANDSAT7 ETM+ and NOAA-AVHRR satellite imagery in the cultivated valley of the Neuquén river. Studying the spatial distribution of temperatures in an area with a somewhat complex terrain requires the use of a great density of meteorological measurements. It is often impossible to obtain the right density of the argometeorological network due to the high installation and maintenance costs. Remote sensors provide a large flow of information in various resolutions, at considerably lower costs.

Determining the valley's warm and cold zones would allow for more efficient irrigation and frost-protection methods, and it would provide tools to improve the area's productive planning.

**Key words:** Topoclimatology, Surface temperature, Satellite imagery

## **Introducción**

Estudios de la temperatura del aire y del suelo y otras variables topometeorológicas suelen ser escasos debido a la necesidad de contar con redes de información micro o meso meteorológicas que incorporen una importante densidad espacial de observaciones siguiendo el gradiente altitudinal y la complejidad del terreno. Por ello, se hace necesario incorporar métodos alternativos para el estudio de la distribución espacial de variables meteorológicas.

La búsqueda de nuevos métodos se encuentra en un proceso de cambio permanente, y adquiere gran importancia el análisis por medio de modelos físicos y la utilización de sensores remotos.

En este trabajo se presenta el análisis de la temperatura de brillo y de superficie del satélite LANDSAT 7 ETM+<sup>1</sup> y NOAA – AVHRR<sup>2</sup> a partir de información de los canales térmicos para escenas que comprenden una zona que incluye el valle productivo del río Neuquén.

El trabajo presenta la comparación de dos metodologías para la obtención de patrones de zonas cálidas y frías, a partir de información de satélites LANDSAT 7 ETM+ y NOAA-AVHRR. El análisis de la información de temperatura de los satélites LANDSAT presenta mayor complejidad que en los satélites NOAA-AVHRR, dado que aquellos poseen una sola banda térmica y requieren del uso de modelos de transferencia de radiación y emisividad para el cálculo de la temperatura de superficie. Por ello, la banda térmica de los LANDSAT ETM+ no ha sido muy utilizada para mapeos de temperatura de superficie, aunque posea una resolución espacial alta (Li y otros; 2004).

Las principales dificultades para el cálculo de la temperatura de superficie se presentan en la calibración, la baja frecuencia temporal y los inconvenientes en la selección de un algoritmo apropiado (Qin; 2001). En general, la banda térmica del LANDSAT7 ETM+ se usa para determinar la temperatura de brillo al nivel de satélite (Mansor y otros 1994; Saraf y otros 1995; Zhang y otros 1997) o simplemente se usa el valor del nivel digital (DN) (Ritchie y otros 1990; Oppenheimer 1997).

La temperatura del aire presenta una importante variabilidad espacial y temporal, asociada a variaciones de altura del terreno, y variación diurna y estacional (Barry; 1981). La pendiente y la orientación del terreno marcan efectos fundamentales en el ingreso de radiación y en las condiciones de temperatura; el conocimiento de dicha variabilidad es importante a la hora de la planificación de cultivos y actividades.

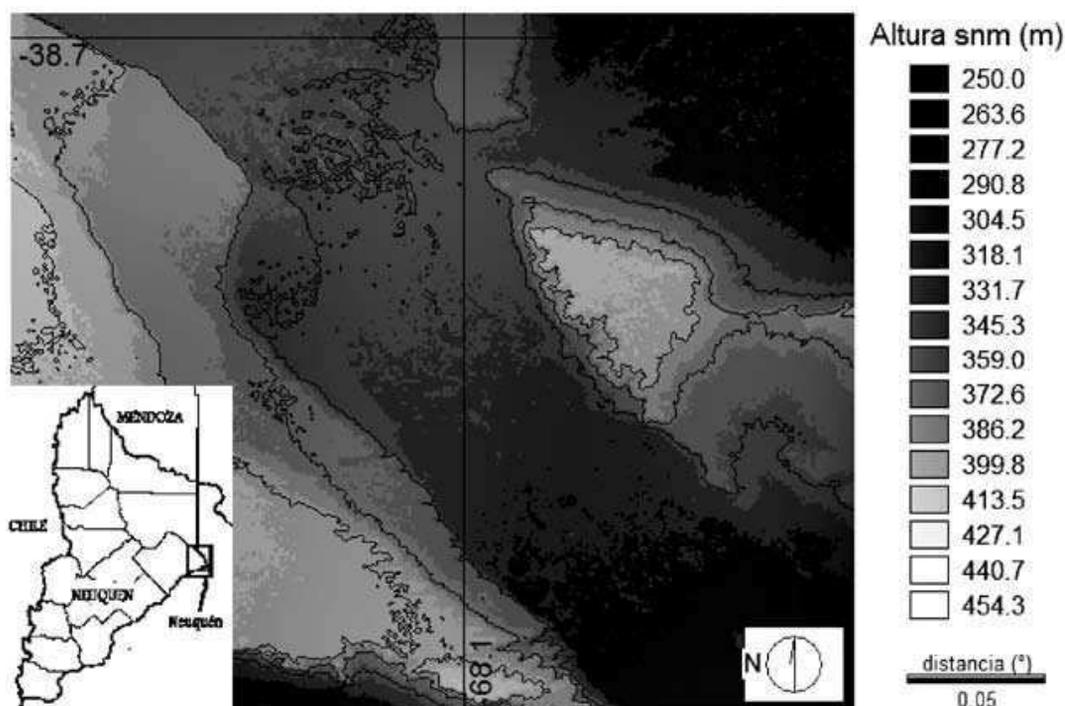
En este trabajo, se analiza una metodología para la obtención de la temperatura de superficie, a partir de la banda 6 de los satélites LANDSAT 7 ETM+ con 60 m de resolución espacial y NOAA-AVHRR con una resolución espacial de 1.1 km; y de la información meteorológica de superficie disponible en el valle inferior del río Neuquén.

Se efectúa un análisis de ambas metodologías para su posterior utilización en la determinación de los campos medios de temperatura, comparando las características de las variaciones cualitativas de la temperatura de superficie asociadas a la variabilidad de la topografía. Cabe mencionar que, debido a la imposibilidad de contar con imágenes simultáneas obtenidas con ambos satélites, la comparación se realiza desde el punto de vista de la conveniencia metodológica y de la utilidad de los resultados obtenidos con los satélites NOAA AVHRR y LANDSAT ETM+, y no desde el punto de vista de la comparación de los mismos.

## Área de estudio

El área en estudio se encuentra comprendida entre los 38.7° S y 38.9° S y entre los 67.9° W y 68.2° W. La zona incluye el valle inferior del río Neuquén. Este valle, a diferencia de los valles de los ríos Limay y Negro, se extiende en la dirección NW-SE aproximadamente transversal a la dirección preferencial de los vientos predominantes en la zona. La región, la ubicación relativa de la zona estudiada y las líneas de nivel obtenidas a partir de un modelo de elevación digital del terreno se presentan en la Figura 1.

Figura 1: Ubicación y altura sobre el nivel del mar (snm) del área en estudio



Fuente: United States Geological Survey (USGS)

El valle es una zona de producción frutícola irrigada que se encuentra rodeada por una zona de meseta. Tiene una longitud de aproximadamente 31 km y un ancho de 7 km. La diferencia media de altura entre el valle y la meseta en la zona central es superior a 40 m y desciende hacia el sur con fuertes variaciones entre el sector este y el oeste. El suelo del valle está cubierto por cultivos de especies caducas, principalmente árboles frutales (sobre todo, manzanos y perales), y cercado en su mayoría por alamedas que se utilizan como cortinas rompevientos. La pendiente transversal del valle es de 2 % y la

pendiente longitudinal es de 0.15 % (ver Figura 1). La meseta está cubierta en su mayor parte por vegetación baja (alturas menores a 3 m) con tronco muy corto o ramificado desde la base, ubicada en forma muy dispersa, lo que deja grandes superficies de suelo desnudo.

## Metodología y Datos

### Temperatura de superficie a partir de imágenes LANDSAT7 ETM+

Un éxito limitado se ha alcanzado en la determinación de la temperatura de superficie utilizando datos térmicos de los satélites LANDSAT ETM+.

Los satélites ETM+ tienen una única banda térmica (10.44  $\mu\text{m}$  - 12.42  $\mu\text{m}$ ), por lo que el uso de un algoritmo para corrección atmosférica implica la utilización de técnicas complejas, pero la alta resolución espacial (60 m) hace que el estudio térmico infrarrojo con este satélite sea muy atractivo desde los puntos de vista local y regional.

En este trabajo se analiza la temperatura de brillo del canal térmico del satélite LANDSAT 7 ETM + y se estima la temperatura de superficie a partir de datos de emisividad calculados por medio del índice de vegetación (NDVI) y de la estimación de la transmitancia atmosférica (Zhang y otros; 2006). La imagen satelital fue procesada por medio del Sistema de Información Geográfico, IDRISI, versión Kilimanjaro.

Se efectuó el cálculo de la radianza espectral a partir de los niveles digitales del canal 6 y se calculó la temperatura de brillo utilizando las ecuaciones (1) y (2). La radianza espectral se calculó según (1):

$$L_s = L_{\min} + \left( \frac{D_n}{D_{n\max}} * (L_{\max} - L_{\min}) \right) \quad (1)$$

donde  $L_s$  es la radianza espectral en la banda térmica ( $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ ster mm})$ ); (Landsat Project Science Office; 2002). Los valores de  $L_{\max}$  y  $L_{\min}$  se obtuvieron del archivo de cabecera de las imágenes ETM+. Para las imágenes consideradas en la banda 6, dichos valores son:  $L_{\max} = 17.040$ ,  $L_{\min} = 0.00$ . La temperatura de brillo al tope de la atmósfera (Zhang y otros; 2006) es:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_s + 1)} \quad (2)$$

donde  $T_s$  es la temperatura efectiva del satélite (temp. de brillo) ( $^{\circ}$ K) y  $K_1$  y  $K_2$  son constantes de calibración de prelanzamiento (para Landsat 7 ETM+,  $K_1 = 666.09 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ sr mm})$  y  $K_2 = 1282.71 \text{ K}$ . (Landsat Project; 2002).

Para obtener la temperatura de superficie a partir de la temperatura de brillo se han desarrollado varios modelos distintos y su implementación requiere de extensa información de superficie.

Qin y otros (2000) desarrollaron el siguiente algoritmo de monoven-tana:

$$T_{\text{sup}} = (a_6 (1-C_6-D_6) + [b_6(1-C_6-D_6) + C_6 + D_6] T_s - D_6 T_a) / C_6 \quad (3)$$

donde  $T_{\text{sup}}$  es la temperatura de superficie (K),  $T_s$  es la temperatura de brillo (K) de la banda 6 del satélite LANDSAT7 ETM+,  $T_a$  es la temperatura efectiva media atmosférica (K),  $a_6$  y  $b_6$  son constantes para temperatura de superficie entre 273.5 K y 343.5 K. ( $a_6 = -67.355351$  y  $b_6 = 0.458606$ ).  $C_6$  y  $D_6$  deben calcularse de acuerdo a (4) y (5):

$$C_6 = \varepsilon \tau_6 \quad (4)$$

$$D_6 = (1 - \tau_6) [1 + (1 - \varepsilon) \tau_6] \quad (5)$$

donde  $\varepsilon$  es la emisividad de la superficie y  $\tau_6$  es la transmitancia atmosférica.

De acuerdo con Van De Griend y Owe (1993), la relación entre los valores de NDVI<sup>3</sup> y los de emisividad ( $\varepsilon$ ) puede expresarse según (6), para rangos de NDVI entre 0.157 y 0.727.

$$\varepsilon = 1.0094 + 0.047 \ln(\text{NDVI}) \quad (6)$$

El NDVI se calculó a partir de la reflectancia de los canales 3 y 4 de las imágenes LANDSAT según (7).

$$\text{NDVI} = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (7)$$

Donde  $\rho$  es la reflectancia para cada banda (calculada según Markham and Barker; 1986 y Landsat Project; 2002) (8):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos\theta} \quad (8)$$

Donde  $L$  es la radianza espectral en el satellite,  $d$  es la distancia al sol<sup>4</sup>,  $ESUN$  es la irradianza exoatmosférica para cada banda =, (para LANDSAT 7, Banda 1:1969 W/m<sup>2</sup>/μm, banda 2: 1840W/m<sup>2</sup>/μm LANDSAT, 2002) y el  $\cos\theta$  es el coseno del ángulo solar incidente. Los cálculos se efectuaron utilizando IDRISI KILIMANJARO.

Si el valor de NDVI se encuentra en el rango (0.157–0.727), se estima la emisividad de la siguiente manera: la emisividad será 0.99 si el NDVI está entre 0.727 y 1.0; 0.955 si el NDVI está entre 0.157 y -0.18; 0.965 si el NDVI está entre -0.18 y -1.0, y 0.985 si el NDVI es -1.0 (Zhang y otros; 2006).

La ecuación (3) involucra además la estimación de la temperatura efectiva media del día a la hora de pasaje del satélite ( $T_a$  (K)). Sobrino y otros (1991) proponen calcular dicho valor a partir de las ecuaciones lineales para la atmósfera estándar. Para cielo claro y sin mucha turbulencia, las ecuaciones de la atmósfera estándar para el verano e invierno en latitudes medias son:

$$\begin{aligned} T_a &= 16.0110 + 0.92621 T_o && \text{en invierno} \\ T_a &= 19.2704 + 0.91118 T_o && \text{en verano} \end{aligned} \quad (9)$$

Donde  $T_o$  es la temperatura del aire cercana a la superficie (K). Para estas imágenes, la temperatura efectiva media se estimó utilizando la temperatura del aire cercana a la superficie ( $T_o$ ) medida a 2 m de altura en la estación Neuquén aero, para la fecha y hora de pasada del satélite.

La estimación de la temperatura de superficie exige además el cálculo de la transmitancia atmosférica (ecuación (3))<sup>5</sup>, que se realizó mediante el modelo MODTRAN<sup>6</sup>.

En este estudio se analizaron imágenes LANDSAT 7 ETM+<sup>7</sup> (*path 230/row 087*) adquiridas en las fechas que se presentan en la tabla 1. Las imágenes fueron cortesía del USGS<sup>8</sup>.

Los datos LANDSAT están disponibles a través del Proyecto LANDSAT vía internet previamente procesadas (proceso L1T<sup>9</sup>). La información fue adquirida en formato GeoTiff en proyección UTM<sup>10</sup> con datos WGS84<sup>11</sup> (Tucker

y otros; 2004). El nivel de proceso 1T incluye corrección radiométrica, corrección geométrica sistemática y corrección de precisión utilizando puntos de control en superficie, y un modelo de elevación digital para corregir el paralaje debido a la topografía. El error de geolocalización en L1T es similar al error del modelo de elevación digital utilizado en este caso: 90 m. Las imágenes fueron seleccionadas durante días en los que no se detectaba nubosidad sobre el área en estudio.

Tabla 1: Fecha y tipo de análisis de las imágenes LANDSAT7 ETM+ utilizadas en el análisis

| Fecha      | Hora UTC | Análisis |
|------------|----------|----------|
| 18/10/1999 | 14:09    | L1T      |
| 22/1/2000  | 14:09    | L1T      |
| 02/09/2000 | 14:09    | L1T      |
| 16/7/2000  | 14:08    | L1T      |
| 08/11/2001 | 14:05    | L1T      |
| 11/11/2002 | 14:04    | L1T      |
| 06/05/2003 | 14:05    | L1T      |

Fuente: USGS (Global visualization Viewer).

## Temperatura de superficie a partir de imágenes NOAA-AVHRR

En un primer momento, se planteó el considerar imágenes de distintos satélites en tiempo similares a las presentadas en el análisis de las imágenes LANDSAT, pero no fue posible acceder a datos simultáneos de ambos satélites. Por ello, en el presente trabajo se comparan las metodologías de análisis y el detalle de los resultados pero no ambos análisis entre sí.

Las escenas NOAA-AVHRR fueron seleccionadas libres de nubosidad en el área en estudio (ver Figura 1). La temperatura de superficie se obtuvo mediante el método del *split-window*, según la expresión presentada por Price (1990):

$$T_{sfc} = T_4 + 3.3 (T_4 - T_5) \tag{10}$$

Donde  $T_{sfc}$  es la temperatura aparente de superficie,  $T_4$  es la temperatura del canal 4 y  $T_5$  la temperatura obtenida por el canal 5 del sensor AVHRR, calculada con  $T_3$  y  $T_4$  utilizando el software HRPTreader<sup>12</sup>.

La técnica *split window* tiene en cuenta la diferencia en la absorción del vapor de agua en las bandas de los canales 4 y 5. La expresión empleada en este trabajo utiliza la diferencia entre la temperatura de brillo de los canales 4 y 5 para corregir el valor de la temperatura en el canal 4.

La zona del valle presenta variaciones de temperatura, especialmente en las zonas donde se producen cambios bruscos de las condiciones de suelo y topografía. El satélite recibe la información de parcelas de 1.1 km<sup>2</sup>, por lo que en esos píxeles se *promedian* todas estas características. Por tanto, los valores en los bordes se alejan de los valores reales.

Se transformaron los valores de temperatura aparente de superficie obtenidos de la imagen satelital a una grilla rectangular. Los valores de temperatura de superficie se interpolaron utilizando las técnicas de interpolación de Kriging. Las imágenes son tratadas mediante un proceso de geolocalización y registro con una proyección Mercator WGS84, utilizando los 51 puntos de control que se proveen con las imágenes.

Tabla 2: Imágenes NOAA-AVHRR utilizadas en este trabajo

| <b>Fecha</b> | <b>Hora UTC</b> | <b>satélite</b> |
|--------------|-----------------|-----------------|
| 7-10-1997    | 06:29           | NOAA14          |
| 10-6-2001    | 05:55           | NOAA16          |
| 19-6-2001    | 09:15           | NOAA12          |
| 20-6-2001    | 05:51           | NOAA16          |
| 8-1-1999*    | 19:55           | NOAA14          |

Fuente: Imágenes de NOAA Comprehensive Large Array-data Stewardship System (CLASS).

La georreferenciación presenta algunos errores que ocasionan que en las distintas imágenes los píxeles que describen un determinado punto geográfico no coincidan perfectamente. Para solucionar este problema y poder realizar operaciones entre las distintas imágenes, se efectuó un procedimiento adicional que consistió en registrar las imágenes entre sí, utilizando puntos de control perfectamente identificables en todas las subescenas. El registro se realizó con respecto a la imagen del 10 de junio, debido a que era la imagen de mejor calidad orbital, y se obtuvieron errores menores a la resolución espacial del píxel, 0.00949°.

Para discriminar en la imagen, de manera objetiva, zonas con vegetación o meseta, se utilizó el índice de vegetación normalizado. Los índices son combinaciones de bandas espectrales, que realzan la contribución de aquella en función de la respuesta espectral de una superficie y atenúan la de otros factores. En los satélites NOAA, el NDVI se calcula con información de los canales visible e infrarrojo cercano:

$$NDVI = \frac{(\rho_2 - \rho_1)}{(\rho_2 + \rho_1)} \quad (11)$$

El índice de vegetación de diferencia normalizada toma valores entre -1 y 1.

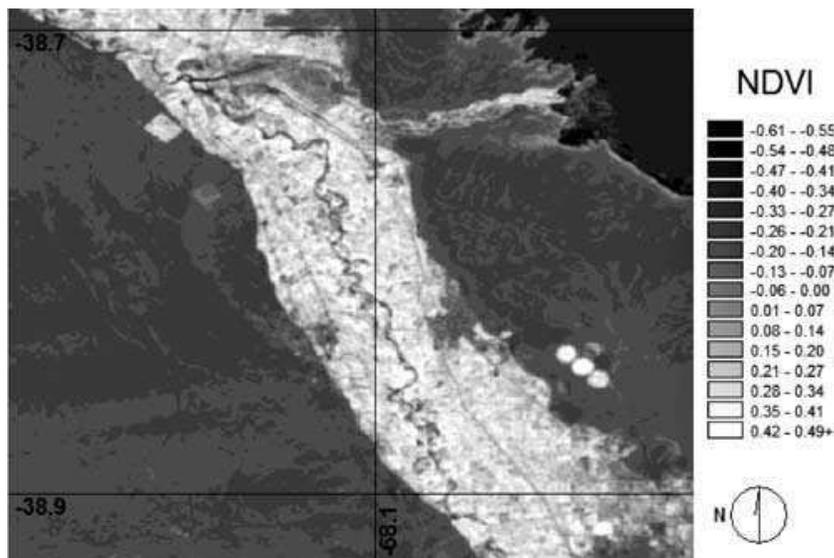
Este índice permite identificar la presencia de vegetación en la superficie y caracterizar su distribución espacial y la evolución de su estado. Por ejemplo: el agua produce valores negativos de NDVI; las nubes, valores cercanos a 0; el suelo de la meseta presenta valores positivos aunque no muy elevados y la vegetación densa presenta los mayores valores de NDVI.

La radianza y reflectancia en los satélites NOAA pueden calcularse en función del nivel digital (ND) utilizando los coeficientes de calibración. En las imágenes analizadas, los cálculos se efectuaron por medio del software HRPTreader.

## Discusión y resultados

La figura 2 presenta la distribución espacial del índice de vegetación NDVI, en la que se pueden observar las diferentes características asociadas al área de estudio. Se diferencian los cuerpos con agua (río y lago Pellegrini), las zonas urbanas y con producción frutícola y la zona árida de la meseta. El NDVI medio de las subescenas consideradas en la meseta y zonas urbanas muestra un máximo de frecuencias alrededor de -0.26, mientras que en las zonas cultivadas el NDVI es entre 0.26 y 0.637. Los valores negativos, generados por una mayor reflectancia en el visible que en el infrarrojo, pertenecen a nubes, nieve, agua, zonas de suelo desnudo y rocas. El valor del NDVI puede variar en función del uso de suelo, la estación fenológica, la situación hídrica del territorio, etc.

Figura 2: NDVI promedio para el Valle cultivado del río Neuquén a partir de imágenes Landsat7 ETM+ (ver Tabla 1)



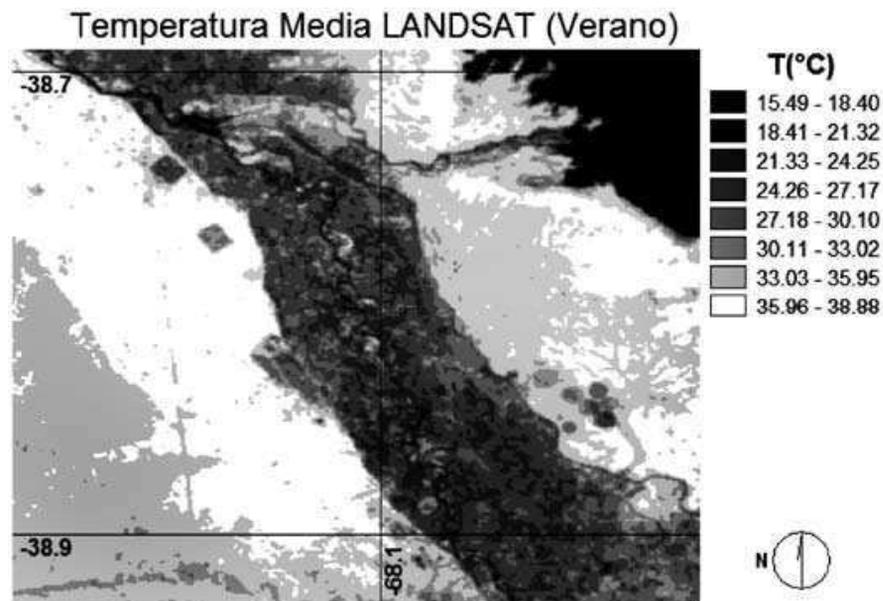
Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos extraídos de las imágenes LANDSAT presentadas en la Tabla I (Cortesía del USGS)

Se analizó la distribución espacial de la temperatura de brillo diurna utilizando las imágenes LANDSAT ETM+; se separaron los eventos en invierno y verano según la fecha de adquisición.

Las Figuras 3 y 4 muestran la distribución espacial de la temperatura de superficie en meses de invierno y verano. En verano se puede diferenciar más claramente la zona cultivada, lo que sería indicativo de los cambios fenológicos de los cultivos y de los mayores contrastes de temperatura debidos al calentamiento diferencial de las superficies a partir de la mayor disponibilidad energética por unidad de área en esa estación. En ambas figuras se observa discriminación de zonas asociadas a los patrones de topografía (ver Fig. 1). Las zonas donde las mayores pendientes reciben más radiación solar presentan asociación con zonas de anomalías positivas de temperatura de superficie.

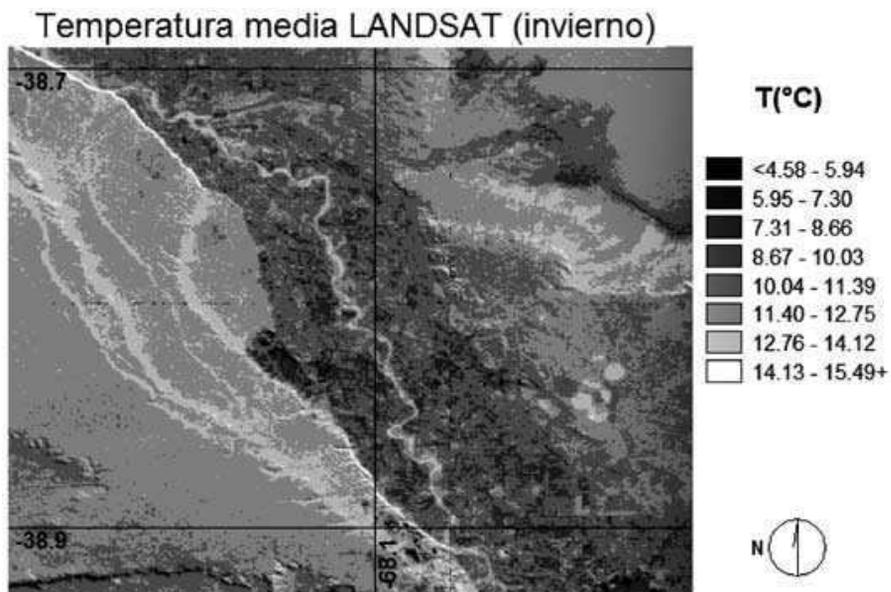
A partir de las imágenes enumeradas en la tabla 1, se calculó el promedio espacial de temperatura. El área ribereña puede ser delimitada como un área con menor temperatura. Las áreas en las cercanías del río y la región ubicada al SE presentan valores entre 4°C y 5°C menos, mientras que las zonas de mayor pendiente ubicadas hacia el N presentan una temperatura aproximadamente 2°C mayor; el área sobre la meseta presenta los mayores valores. El patrón de temperatura del suelo discriminó las áreas urbanas de Centenario y Cinco Saltos con los mayores valores y las áreas cultivadas presentaron menores valores.

Figura 3: Temperatura de brillo media (verano, 14:00 UTC) en el valle del río Neuquén a partir de imágenes Landsat7 ETM+ (ver Tabla 1)



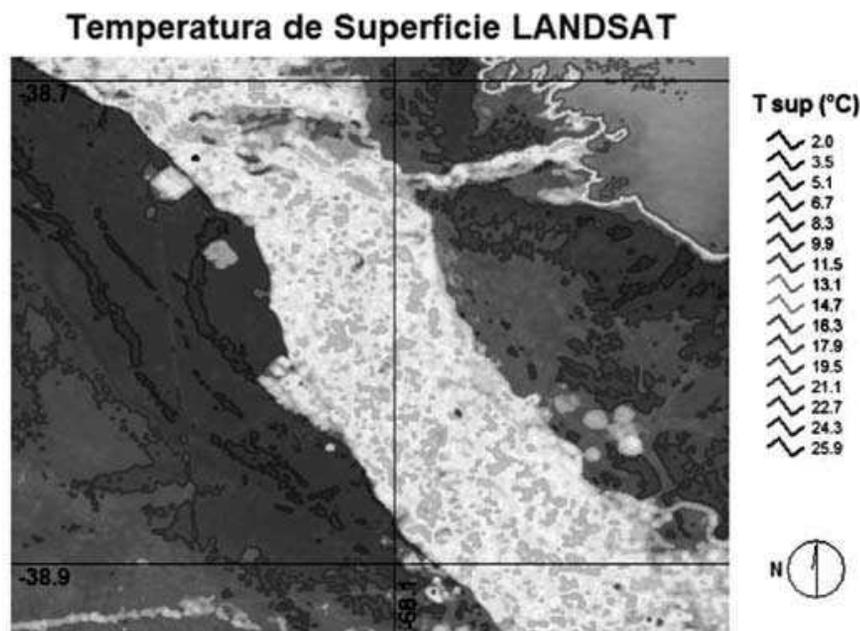
Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos extraídos de las imágenes LANDSAT de los días 22/1/2000, 08/11/2001 y 11/11/2002 (cortesía del USGS)

Figura 4: Temperatura de brillo media (invierno, 14:00 UTC) en el valle del río Neuquén a partir de imágenes Landsat7 ETM+ (ver Tabla 1)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos extraídos de las imágenes LANDSAT de los días 06/05/2003, y 16/7/2000 (cortesía del USGS)

Figura 5: Isolíneas de Temperatura de superficie media en el valle del río Neuquén a partir de imágenes Landsat7 ETM+ (ver Tabla 1)



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos extraídos de las imágenes LANDSAT presentadas en la Tabla 1 (cortesía del USGS)

La Figura 5 presenta las isolíneas de temperatura de superficie a partir de la monoventana de Qin (ecuación (3)) aplicada a las subescenas descritas en la Tabla 1. Se destacan áreas con mayor temperatura en los bordes de la meseta. Las zonas cercanas al río o al lago presentan menores valores de temperatura ( $12.5^{\circ}\text{C}$  en las orillas y  $10^{\circ}\text{C}$  en la zona central del lago). Las laderas expuestas más directamente a la luz solar presentan entre  $25.0^{\circ}\text{C}$  y  $27.5^{\circ}\text{C}$ , mientras que las ubicadas al este de la zona de estudio alcanzan entre  $20.0^{\circ}\text{C}$  y  $22.5^{\circ}\text{C}$  a la hora de pasada del satélite.

A partir de las imágenes NOAA-AVHRR presentadas en la Tabla 2, se realizó la distribución espacial de la temperatura de superficie utilizando (9) (ver Figura 6). En los resultados obtenidos, la menor resolución espacial se hace evidente. La determinación de detalles asociados a la utilización del terreno es difícil debido a que áreas como pequeñas ciudades se encuentran explicadas por pocos píxeles. Sin embargo, las características principales, como los cambios de temperatura debidos a la presencia del río, lago o borde de la meseta, son fácilmente identificables.

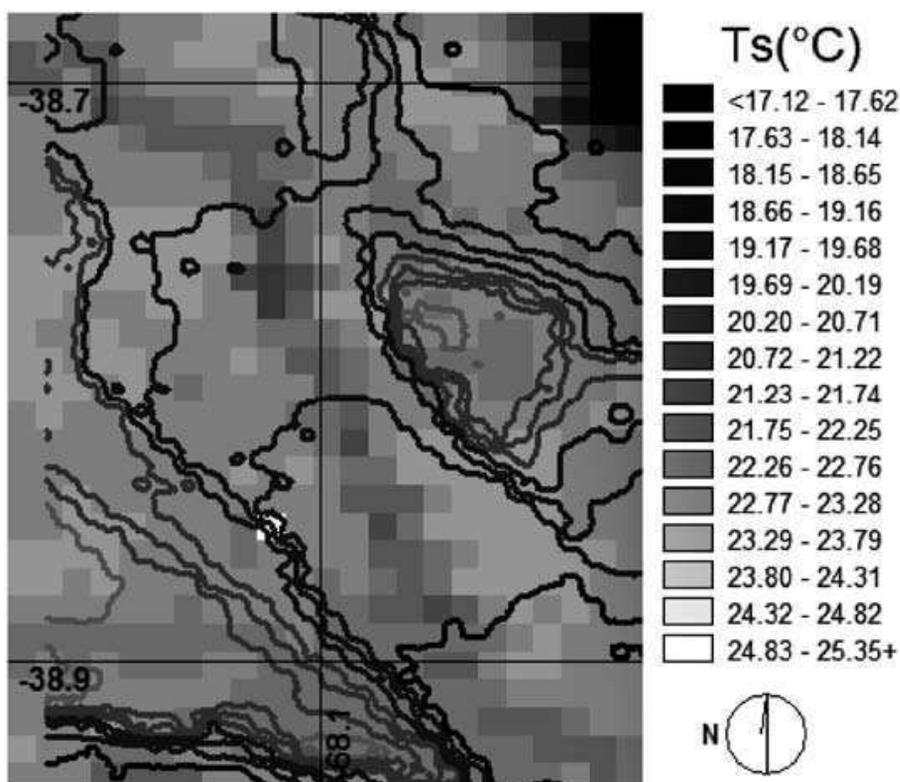
En la Figura 6 se presenta la temperatura de superficie nocturna obtenida utilizando imágenes NOAA-AVHRR a partir de las imágenes presentadas en

la Tabla 2. Se puede observar que el área cercana al río presenta las mayores temperaturas durante la noche, en acuerdo con el enfriamiento diferencial.

Los resultados diurnos presentan dos zonas más cálidas en las zonas con mayor pendiente, coincidentes con las zonas con mayor radiación, y una zona más fría, siguiendo el curso del río.

De igual manera, en el análisis nocturno realizado mediante imágenes NOAA-AVHRR la zona paralela al curso del río Neuquén presenta un área más caliente y las áreas de menor temperatura (más frías) se ubicaron dentro del valle cultivado al oeste de la zona más cálida. La máxima diferencia promedio de temperatura entre ambas zonas es de 2.6 °C. Las anomalías de temperatura muestran una gran variabilidad espacial dentro del valle cultivado.

Figura 6: Temperatura de superficie obtenida utilizando imágenes NOAA –AVHRR a partir de las subescenas enumeradas en la Tabla 2



Fuente: Elaboración propia sobre la base de datos extraídos de las imágenes NOAA - AVHRR presentadas en la Tabla II (cortesía de CLASS)

## Conclusiones

La determinación de la temperatura de superficie utilizando datos térmicos de los satélites LANDSAT ETM+ reviste una mayor dificultad que en el caso de los satélites NOAA y debe contarse con observaciones de superficie en una estación de referencia a la hora de pasaje del satélite, lo que aumentó la dificultad del análisis. Sin embargo, la alta resolución espacial hace al estudio térmico infrarrojo de estos satélites muy atractivo desde los puntos de vista de la escala local y regional.

En el caso del uso de la imagen LANDSAT con fines topometeorológicos, la resolución espacial de la información es detallada pero la resolución temporal es muy baja, por lo que dichas imágenes presentan interés en estudio del campo medio y solamente en situaciones diurnas, debido al horario de visita del satélite en la zona. Ello es una limitante a la hora de encarar estudios relacionados con la determinación de temperatura mínima.

Las imágenes Landsat 7 ETM+ brindan información de las variaciones espaciales de la temperatura de superficie con 60 m de resolución, lo que permite la discriminación de detalles que no pueden ser estudiados a partir de la información de los satélites NOAA.

La distribución de temperatura obtenida en ambos casos presenta concordancia con la variabilidad espacial de la topografía y presenta acuerdo con el comportamiento de la variable medida en zonas de terreno similar. Esto sugiere que ambas herramientas podrían utilizarse para el análisis de la distribución espacial de la temperatura del suelo, principalmente en áreas con baja densidad de información meteorológica o de difícil acceso. Sin embargo, para el análisis con imágenes LANDSAT debe contarse con datos meteorológicos de superficie, como el contenido de vapor de agua atmosférico y la temperatura media del aire cercano a la superficie, simultáneos al pasaje del satélite. En la zona del valle inferior del río Neuquén, se cuenta con dicha información en superficie, por lo que el estudio topometeorológico a partir de las imágenes LANDSAT permitiría ampliar la información de superficie existente con valores simultáneos con una mayor densidad espacial. Permitiría, además, el estudio más detallado de la variabilidad de la temperatura de superficie en función de la topografía.

Los patrones diurnos de temperatura efectiva a partir del análisis de imágenes LANDSAT presentan discriminación de zonas más frías asociadas al río y al sector SE de la zona de estudio, y zonas más calientes en área de terreno con vegetación escasa y zonas urbanas.

El trabajo se orientará posteriormente hacia la asociación de dichos valores con la temperatura del aire en la zona, lo que permitirá completar el estudio topometeorológico del valle cultivado del río Neuquén y la posterior utilización como herramienta de planificación de cultivos.

En el caso de los satélites NOAA, la resolución temporal es mucho mayor y permite ampliar el análisis a parámetros diurnos y estacionales. Sin embargo, la baja resolución espacial empobrece los resultados que presentan menor definición de la variabilidad. La determinación de detalles asociados a la utilización del terreno es difícil debido a que áreas como pequeñas ciudades se encuentran explicadas por pocos píxeles. Sin embargo, los patrones de temperatura que pueden asociarse a la presencia del río, lago o borde de la meseta son fácilmente detectables y la posibilidad de contar con gran caudal de imágenes varias veces al día hace al análisis de estas imágenes muy útil.

Las imágenes NOAA permiten, además, la estimación de la distribución espacial de la temperatura mínima, ya que es posible contar con imágenes de varios satélites durante períodos nocturnos. Esto es de fundamental importancia para el estudio de las heladas radiativas. La determinación de zonas frías y cálidas durante la noche permitiría adecuar las medidas de lucha contra heladas y logran una mayor eficiencia de las mismas. La obtención de la distribución de zonas frías y cálidas en una región productiva permite especialmente la utilización de métodos de lucha contra heladas radiativas pasivos, determinando de antemano las áreas con mayor riesgo.

En un principio se planteó la idea de la comparación de los patrones de temperatura de superficie obtenidos a partir de ambos satélites en la zona; sin embargo, la imposibilidad de contar con imágenes del mismo día y horario obligó a descartar esta comparación.

En el análisis de las imágenes LANDSAT se requirió de información meteorológica de superficie en una o varias estaciones de referencia, por lo que la calidad del mismo se relaciona muy estrechamente con la calidad de dicha información.

Desde el punto de vista metodológico, el análisis de las imágenes NOAA presenta menor dificultad, debido a que la disponibilidad de información en dos canales en el espectro térmico permite la utilización de una *Split window* para correcciones atmosféricas y por emisividad, y no depende ni de la calidad ni de la disponibilidad de la información en superficie.

Este análisis sugiere como una alternativa el estudio del área a partir de la información de ambos sensores, para obtener la distribución media de

temperatura de superficie con mayor resolución espacial a partir de imágenes LANDSAT y la variabilidad temporal, diurna o estacional utilizando las imágenes NOAA.

## Bibliografía

- BARRY, Roger G. (1981) *Mountain weather and climate*. London & New York. Methuen, pp. 309.
- FLORES, Alberto L.; COGLIATI, Marisa G; PALESE, Claudia y BASTANSKI, Marcelo A. (2000) "An application of NOAA-AVHRR satellite thermal imagery in frost protection". 6th. Conference on Southern Hemisphere Oceanography and Meteorology.
- LANDSAT PROYECT SCIENCE OFFICE (2002) *Landsat 7 Science Data User's Handbook*. Goddard Space Flight Center, MD, Greenbelt.
- LI, Fuqin; JACKSON, Thomas; KUSTAS, William; SCHMUGGE, Tom; FRENCH, Andrew; COSH, Michael y BINDLISH, Rajat (2004) "Deriving land surface temp. from Landsat 5 and 7 during SMEX02 /SMACEX". En: *Remote Sensing of Environment*, vol. 92, issue 4, pp. 521-534.
- MANSOR, Shattri B.; CRACKNELL, Arthur P.; SHILIN, B. V. y GORNYI, V. I. (1994) "Monitoring of underground coal fires using thermal infrared data". En: *International Journal of Remote Sensing*, vol. 15, pp. 1675-1685.
- OPPENHEIMER, Clive (1997) "Remote sensing of the color and temperature of volcanic lakes". En: *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, pp. 5-37.
- PRICE, John C. (1990) "Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration". En *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 28, pp. 940-948.
- QIN, Zhihao; KARNIELI, Arnon y BERLINER, Pedro (2001) "A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region". En: *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22, N° 18, pp. 3719-3746.
- RITCHIE, Jerry C.; COOPER, Charles M. y SCHIEBE, Frank R. (1990) "The relationship of MSS and TM digital data with suspended sediments, chlorophyll, and temp. in Moon Lake. Mississippi". En: *Remote Sensing of Environment*, vol. 33, pp. 137-148.
- SARAF, Arun K.; PRAKASH, Anupma; SENGUPTA, S. y GUPTA Ravi P. (1995) "Landsat TM data for estimating ground temp. and depth of sub-

surface coal fire in the Jharia coafield, India”. En: *International Journal of Remote Sensing*, vol. 16, pp. 2111-2124.

VAN De GRIEND, Adriaan A. y OWE, Manfred (1993) “On the relationship between thermal emissivity and the normalized different vegetation index for natural surfaces”. En: *International Journal of Remote Sensing*, vol. 14, N° 6, pp. 1119-1131.

ZHANG, Jinqi; WANG, Yunpeng y LI, Yan (2006) “C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6”. En: *Computers & Geosciences*, vol. 32, pp. 1796-1805.

ZHANG, Xiangmin; VAN GENDEREN, John L. y KROONENBERG, Salomon B. (1997) “A method to evaluate the capability of Landsat 5 TM band 6 data for subpixel coal fire detection”. En: *International Journal of Remote Sensing*, vol. 18, pp. 3279-3288.

## Notas

<sup>1</sup> Enhanced Thematic Mapper plus.

<sup>2</sup> National Oceanic and Atmospheric Administration, Advanced Very High Resolution Radiometer.

<sup>3</sup> Índice de vegetación en Diferencias Normalizadas.

<sup>4</sup> <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>.

<sup>5</sup> En un trabajo posterior, se analizará por medio de un modelo la relación entre el contenido de vapor de agua y la transmitancia atmosférica.

<sup>6</sup> <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov>.

<sup>7</sup> Enhanced Thematic Mapper plus.

<sup>8</sup> United States Geological Survey (<http://glovis.usgs.gov/>).

<sup>9</sup> Level 1 terrain corrected data.

<sup>10</sup> Universal Transverse Mercator.

<sup>11</sup> World Geodetic System 1984.

<sup>12</sup> HRPTreader V.2.9.7. David Taylor. Edimburgo.

Recepción: 10 de mayo de 2010. Aceptación: 23 de agosto de 2010.