

ISSN 0104-1347

UTILIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE HELADAS EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS, ARGENTINA.

FROST MAPPING IN ENTRE RIOS PROVINCE (ARGENTINA) USING SATELLITE IMAGES

Carlos Di Bella¹, Patricio Oricchio¹, Hugo Conti¹ y César Rebella¹

RESUMEN

En la Provincia de Entre Ríos, las heladas constituyen uno de los fenómenos agrometeorológicos que mayor daño causan en los cultivos de cítricos. Debido a la importancia económica de éstos en el producto bruto de la región, el estudio de las heladas es fundamental para establecer políticas agrícolas acordes a la magnitud y a la importancia de dicho fenómeno. Mediante el uso de imágenes satelitales e información meteorológica, se realizó una zonificación utilizando cinco fechas en las que se registraron heladas de gran persistencia y duración. Como resultado, se obtuvo un mapa de la provincia con las zonas más propensas a sufrir este efecto.

Palabras claves: heladas, información satelital, infrarrojo térmico, zonificación

SUMMARY

Frosts represent one of the most important events which cause several damages in citric plantations. In Entre Ríos Province, due to the importance of these plantations in the regional economy, frost research and analysis is crucial for the development of agricultural policies given the magnitude and importance of such events. Using satellite images and meteorological information a frost zoning was carried out for the Entre Ríos Province. Utilizing five frost dates with major intensity, a provincial map with the frost prone zones was developed.

¹ Instituto de Clima y Agua - INTA - Castelar. Los Reseros y las Cabañas s/n (1712) - Castelar - Buenos Aires - Argentina. e-mail: cdibella@inta.gov.ar

Key words: frosts, satellite information, zoning, thermal infrared

INTRODUCCIÓN

En la República Argentina, la Provincia de Entre Ríos concentra en su sector Nor-Oriental el 37% de la producción nacional de mandarinas y naranjas (SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA, - SAGyP, 1995 -). De estas producciones la de mandarinas es la más importante; destinándose mayoritariamente al consumo en fresco tanto para el mercado interno como para el internacional y a la elaboración de jugos concentrados congelados.

Las anomalías climáticas tienen una marcada incidencia tanto sobre la cantidad como la calidad de la fruta cítrica. La ocurrencia de heladas afectan recurrentemente las plantaciones críticas, determinando diferentes niveles de daño de acuerdo a su momento de ocurrencia, intensidad y duración (KNOCHE y BORZACOV, 1946).

El impacto sobre la economía regional de este fenómeno, ha conducido a las empresas citrícolas a considerar la necesidad de desarrollar sistemas de alarma y lucha contra heladas con el objeto de proteger estas producciones (INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA - INTA Concordia, 1996). El análisis estadístico de datos meteorológicos, ha permitido conocer las características climatológicas de este fenómeno sobre la región que nos ocupa: período libre de heladas, fechas de ocurrencia de heladas tempranas y tardías (HIRSCHHRON, 1952-1958, establecer índices para evaluar la severidad de las mismas) y relaciones con condiciones sinópticas (BURGOS, 1963); recientemente estos trabajos han sido actualizados (RODRIGUEZ R. comunicación personal).

Durante la última década numerosos trabajos han demostrado la utilidad de la información capturada por los sensores térmicos de los satélites National Oceanic and Atmospheric Administration - Advanced Very High Resolution Radiometer, NOAA-AVHRR, para la zonificación de áreas con diferentes niveles de riesgo de ocurrencia de heladas y para el diseño de redes de estaciones meteorológicas de superficie con objeto de implementar sistemas de alarma y lucha (KERDILES et al., 1996, ANTONIOLETTI, 1989, KALMA et al., 1983).

También se ha puesto en evidencia la utilidad de la información satelital, cuando no se cuenta con una red de estaciones meteorológicas de superficie suficientemente densa, para estudios detallados sobre lugares con gran heterogeneidad microclimática debida a accidentes en la fisiografía del paisaje (CHEN et al., 1979, KALMA et al., 1983).

En este trabajo se presenta una zonificación de áreas con diferentes niveles de intensidad y frecuencia de riesgo de ocurrencia de heladas sobre la Provincia de Entre Ríos, República Argentina, elaborada a partir de los sensores térmicos de los satélites NOAA-AVHRR.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante los meses de Junio y Julio de 1996 en la Provincia de Entre Ríos se registraron heladas, categorizadas desde severas a moderadas, representativas de los fenómenos sinópticos de advección y pérdida de radiación nocturna más frecuentes en esta región.

A partir de información suministrada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de la ciudad de Concordia (31°18'S; 58°01'O), Entre Ríos, se seleccionaron cinco fechas en las que se registraron heladas de diferentes intensidades, siendo ellas: 4/6/96 , 28/6/96 , 29/6/96 , 16/7/96 y 22/7/96. Con el fin de comprobar la distribución de las mismas en toda la provincia se recavaron datos de tres estaciones oficiales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) que actualmente se encuentran operativas: Paraná (31°47'S; 60°29'O), Monte Caseros (30°16'S; 57°39'O) y Gualeguaychú (32°52'S; 58°31'O). Para cada una de las fechas y de las estaciones se dispuso de:

a) Información meteorológica: Temperatura diaria mínima ($T_{mín}$), temperatura del aire (T) y temperatura de punto de rocío (T_d) (SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL - SMN -, 1996). La medición de estas variables se realiza en el abrigo o casilla meteorológica que posee cada estación, a una altura de 1,50 metros sobre el nivel del suelo, mediante el uso de: termómetro de mínima, termómetro de mercurio y termómetro de bulbo húmedo, respectivamente, (SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL - SMN -, 1985).

b) información satelital: Temperatura de superficie (T_s) obtenida a partir del canal 4 (10.50 μm - 11.50 μm) a bordo del satélite NOAA-12. Las imágenes fueron capturadas entre las 07:00 y 08:00 hs (10:00 u 11:00 UTM) por la antena de recepción de NOAA en Castelar, Buenos Aires. A través de una serie de rutinas operativas las imágenes fueron corregidas geométricamente. Al mismo tiempo se realizaron las correcciones del valor radiométrico de temperatura debido a las distorsiones producidas por la atmósfera (vapor de agua y gases atmosféricos) y la superficie terrestre (rugosidad, humedad del suelo, cobertura vegetal) utilizando el método de “*split window*” (CASELLES et al., 1988; COLL y CASELLES, 1993). A partir de esta información, se seleccionaron cuatro áreas piloto de 3 km x 3 km con centro en cada una de las estaciones meteorológicas seleccionadas anteriormente, con el objetivo de minimizar los efectos negativos de la corregibilidad de las imágenes satelitales. De esta manera, se obtuvo un valor de temperatura promedio de los 9 píxeles al que hemos denominado “ T_{sat} ”.

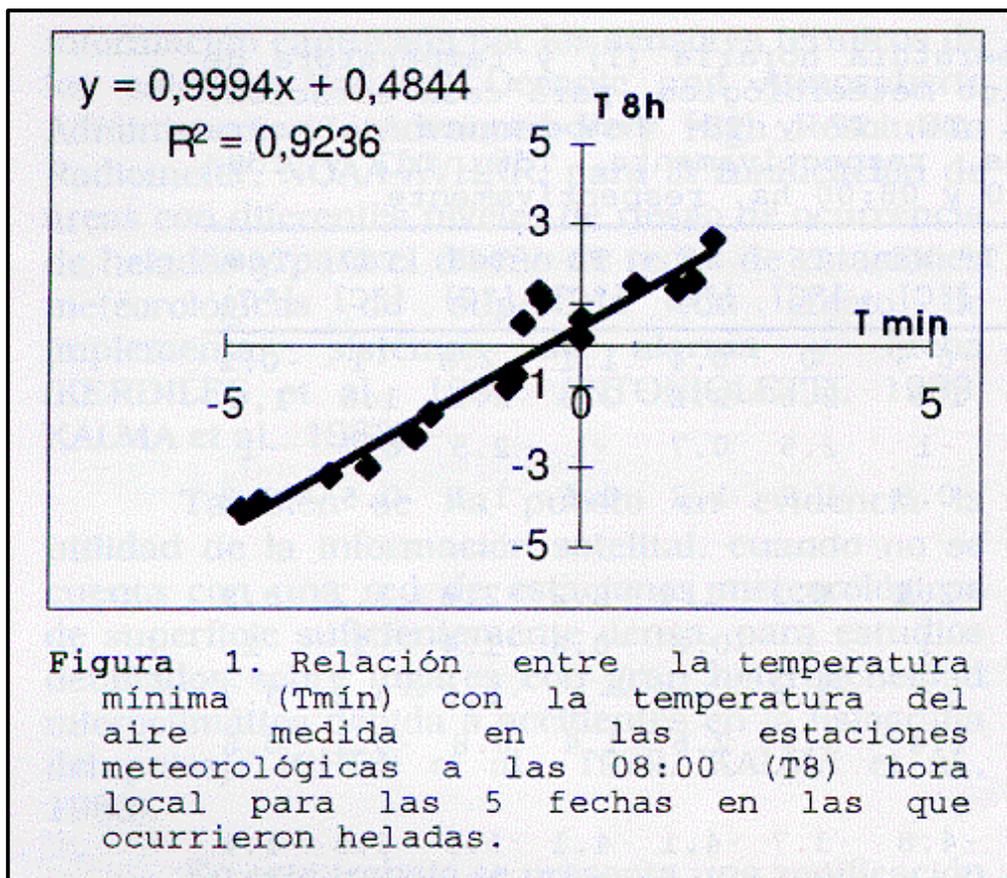
Teniendo en cuenta los datos recibidos por las estaciones meteorológicas se evaluó, como primera medida, la relación y el grado de ajuste entre las mismas. Posteriormente, se correlacionó el valor de Tmín con el de T_{sat} con el objetivo de evaluar la bondad de la información satelital para la extrapolación de datos de temperatura a escala regional. Finalmente, se realizó una zonificación de las heladas en todo el territorio provincial utilizando la información de T_{sat}.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se observan los datos de las variables meteorológicas para temperatura mínima (T_{mín}), temperatura del aire (T) y temperatura de rocío (T_d) para los días con heladas. Siendo T_{mín} la variable más simple de obtener y con menor grado de error en todas las estaciones meteorológicas de la región, se relacionó dicha variable con los valores de T y T_d a las 06:00, 07:00 y 08:00 hs, obteniéndose el mejor ajuste entre la T_{mín} y T para las 08:00 hs ($R^2 = 0.9236$; n=20), Figura 1. Este elevado grado de dependencia entre ambas variables se debió a que, en este período del año, el valor de T_{mín} fue próximo al de T a las 8 hs.

Tabla 1. Temperatura mínima (T_{mín}), temperatura horaria (T) y temperatura de punto de rocío (T_d) medidas en el abrigo meteorológico, para cada estación, y fechas correspondientes de heladas. T6, T7 y T8= Temperatura del aire medida a las 06:00, 07:00 y 08:00 hs, respectivamente. Td6, Td7 y Td8= Temperatura de rocío a las 06:00, 07:00 y 08:00 hs, respectivamente.

Estación	Fecha	LAT [°S]	LONG [°O]	T° Min [°C]	T6 [°C]	T7 [°C]	T8 [°C]	Td6 [°C]	Td7 [°C]	Td8 [°C]
CONCORDIA	4/6/96	-31°18'	-58°01'	-0.5	0	0.4	1.1	-2.8	-1	-0.2
PARANA	4/6/96	-31°47'	-60°29'	1.9	2.6	2.2	2.6	2.1	1.6	1.6
GUALEGUAYCHU	4/6/96	-32°52'	-58°31'	-1	2.5	0.7	-1	2.5	0.7	-1
MONTE CASEROS	4/6/96	-30°16'	-57°39'	-0.8	1.9	1.2	0.6	1.1	0.5	-0.2
CONCORDIA	28/6/96	-31°18'	-58°01'	-2.4	-0.3	-1.4	-2.2	-2.8	-3.2	-3.9
PARANA	28/6/96	-31°47'	-60°29'	-1	1	0.8	-0.8	-1.4	-1	-2
GUALEGUAYCHU	28/6/96	-32°52'	-58°31'	-3	-1.8	-2.6	-3	-2.6	-3.2	-3.7
MONTE CASEROS	28/6/96	-30°16'	-57°39'	1.4	3.2	2.6	1.4	0.8	-0.1	-0.6
CONCORDIA	29/6/96	-31°18'	-58°01'	-4.8	-3.7	-4.1	-4.1	-5.9	-5.5	-4.4
PARANA	29/6/96	-31°47'	-60°29'	-2.3	-1.8	-2	-2.3	-4.4	-4.6	-3.9
GUALEGUAYCHU	29/6/96	-32°52'	-58°31'	-4.5	-2.3	-2.5	-3.9	-3.2	-2.8	-4.4
MONTE CASEROS	29/6/96	-30°16'	-57°39'	-3.5	-1.8	-2.6	-3.2	-1.8	-2.6	-3.2
CONCORDIA	16/7/96	-31°18'	-58°01'	0.8	1.5	1.4	1.5	-1.4	-1.4	-1.4
PARANA	16/7/96	-31°47'	-60°29'	0	0.6	0.3	0.7	-1.8	-1.8	-3
GUALEGUAYCHU	16/7/96	-32°52'	-58°31'	-0.9	1.1	1.5	-0.8	0.8	0.4	-1.1
MONTE CASEROS	16/7/96	-30°16'	-57°39'	1.6	2.6	1.8	1.6	1	0.1	-0.1
CONCORDIA	22/7/96	-31°18'	-58°01'	-0.6	-0.2	1	1.3	-2	-1.4	-1.6
PARANA	22/7/96	-31°47'	-60°29'	0	1.4	0.8	0.2	-1.4	-3.4	-3.4
GUALEGUAYCHU	22/7/96	-32°52'	-58°31'	-2.1	-0.7	0.1	-1.7	-0.7	0.1	-2
MONTE CASEROS	22/7/96	-30°16'	-57°39'	1.4	2.4	1.9	1.4	0.5	-0.1	-0.1



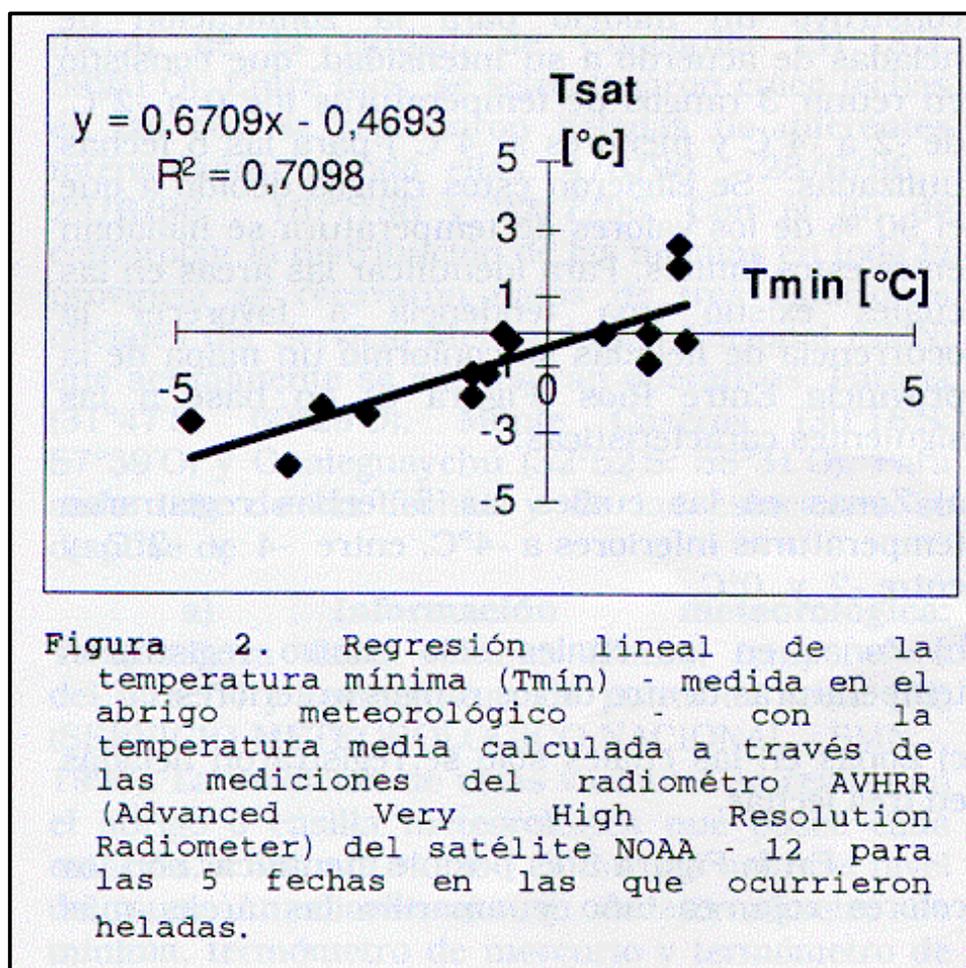
A partir de la temperatura diaria media obtenida de las imágenes satelitales para cada fecha y área piloto con centro en cada una de las estaciones, se realizó una regresión lineal con la Tmín (Figura 2) obteniéndose un R^2 de 0.7098 ($n=15$). Es importante destacar que la diferencia en la cantidad de datos se debió a la presencia de nubes en algunas de las áreas y fechas seleccionadas (Paraná y Gualeguaychú-29/6; Paraná, Guleguaychú y Monte Caseros-16/7). El grado de ajuste obtenido fue similar al hallado por otros autores (KERDILES et al., 1996; KALMA et al., 1983). Es preciso destacar que las diferencias obtenidas pueden deberse a:

- Mediciones realizadas a diferentes alturas. Mientras la temperatura medida en abrigo se registra a 1,5 m sobre el nivel del suelo, Tsat representa el valor de temperatura al tope de la superficie.
- Integración espacial diferencial. La información meteorológica representa un valor puntual de temperatura y la información satelital es producto de la integración de un área de 1km^2 .
- La pérdida de radiación nocturna produce una inversión de temperatura que resulta en un enfriamiento significativo provocando la formación de niebla, invisible al canal 4, que subestimaría el valor de Tsat con respecto a Tmín.

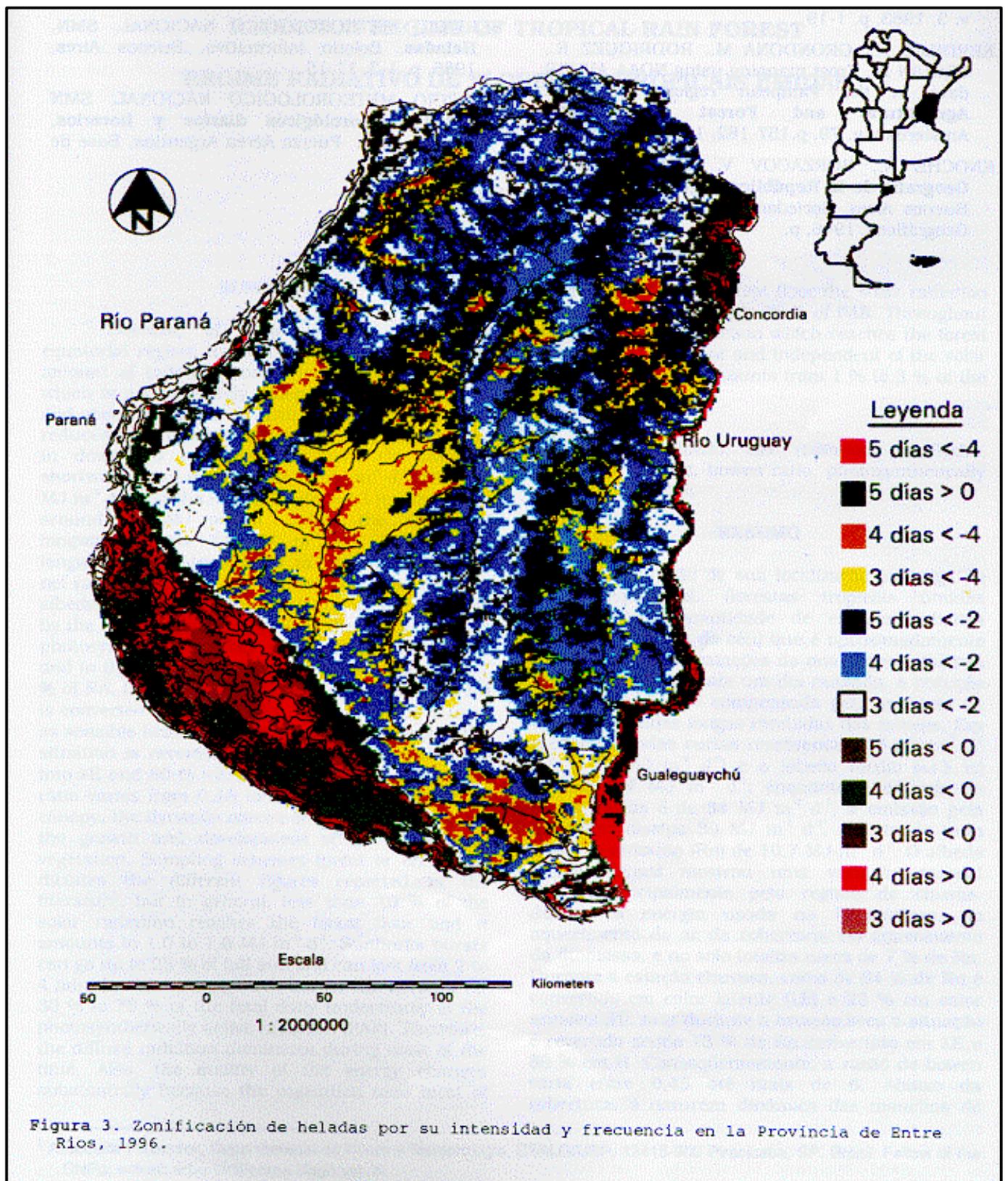
Sobre la base de estos resultados se construyó un modelo para la zonificación de heladas de acuerdo a su intensidad, que consistió en reunir 3 rangos de temperaturas (de 0 a -2°C , de -2 a -4°C y

menores a -4°C) para las 5 fechas utilizadas. Se eligieron estos rangos debido a que el 90 % de los valores de temperatura se hallaban entre estos límites. Para identificar las áreas en las cuales existió una tendencia a favorecer la ocurrencia de heladas se conformó un mapa de la provincia Entre Ríos (Figura 3) en base a las siguientes características:

- Zonas en las cuales las 5 fechas registraron temperaturas inferiores a -4°C , entre -4 y -2°C y entre -2 y 0°C .
- Zonas en las cuales sólo cuatro registraron temperaturas dentro de los rangos anteriores.
- Zonas en las cuales sólo se registraron heladas en tres fechas.



En la Figura 3 es posible identificar con los colores rojo, castaño y amarillo las áreas más afectadas por los efectos de las heladas; con azul, celeste y blanco los grados intermedios; y con verde intenso, verde y gris los más leves.



CONCLUSIONES

Esta zonificación permite representar a través de un mapa la ocurrencia de heladas en la provincia de Entre Ríos, para las cuales no se dispone de registros de temperaturas de abrigo en estaciones meteorológicas o agrometeorológicas.

Se puede apreciar que a medida que acerca a cursos de agua importantes, como lo son los ríos Paraná (al Oeste) - Uruguay (al Este) y Gualeguay (al Centro), la temperatura fue aumentando debido a la mayor capacidad calorífica del agua respecto de la superficie del suelo en la época estudiada. Asimismo, en aquellos cursos de agua de menor importancia, asociados a niveles topográficos más deprimidos, se concentra las áreas de menores temperaturas y por lo tanto mayor riesgo de heladas.

Es posible concluir que la información satelital utilizada multitemporalmente es una herramienta de gran utilidad para el estudio de las heladas a escala regional. Su uso, conjuntamente con la información meteorológica y los mapas topográficos en formato digital, permitirán en un paso posterior validar a campo los resultados obtenidos en este trabajo.

BIBLIOGRAFIA

- ANTONIOLETTI R., **Apport de la télédéction a la délimitation des zones gélives**, Séminaire sur le Gel en Agriculture, París, 21-22 novembre, 1989, p. 201-209.
- BURGOS J. J., **Las heladas en la Argentina**, Colección científica del INTA, Buenos Aires, 1963, p. 11-33, 95-108.
- CASELLES V., SOBRINO J.A., MELIA J., Fundamentos físicos de la medida de la temperatura de la superficie del suelo por teledetección. **Revista Española de Física**, v. 2, n. 3, p. 42-46, 1988.
- COLL C., CASELLES V., Efecto de la variabilidad atmosférica y de la emisividad en la medida de temperatura desde satélite, **Anales de Física**, Madrid, v. 89, n. 3, p. 194-202, 1993.
- CHEN, E. , ALLEN, L.H., BARTHOLIC, J.F., et al. Satellite-sensed winter nocturnal temperature patterns of the Everglades agricultural area, **J. Appl. Meteorology**, v. 18, n. 8, p. 992-1002, 1979.
- HIRSCHHRON, J. et al., **Las heladas en la República Argentina**, Atlas Agroclimático Argentino, Serie: Indices agroclimáticos, SMN, Buenos Aires, 1952-1958.
- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. **Las heladas en la citricultura - Efecto de las heladas de Junio de 1996 en la citricultura de Entre Ríos**, INTA EEA - Concordia, 1996, (Informe técnico).

- INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA **Fechas de ocurrencia de heladas en la ciudad de Concordia, Pcia. de Entre Ríos.** Estación Experimental Agropecuaria INTA-EEA-Concordia, Provincia de Entre Ríos, 1996, p. s/número.
- KALMA J.D., BYRNE G.F., JOHNSON E. Frost mapping in Southern Victoria: an assessment of HCMM thermal imagery, **Journal Climatology**, v. 3, 1983, p. 1-19
- KERDILES H., GRONDONA M., RODRIGUEZ R., SEGUIN B., Frost mapping using NOAA AVHRR data in the Pampean region, Argentina, **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 79, p.157-182, 1996.
- KNOCHE N., BORZACOV V., **Heladas en la Geografía de la República Argentina**, Tomo V, Buenos Aires, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, 1946, p.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA (SAGyP) **Estadísticas agropecuarias y pesquera**, Buenos Aires, 1996.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, SMN, **Heladas**, Boletín informativo, Buenos Aires, 1985, p. 1-3, 11-15.
- SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL, SMN **Datos Meteorológicos diarios y horarios**, Buenos Aires, Fuerza Aérea Argentina, Base de datos, 1996.