

ZONAS FRIAS EN EL VALLE DEL RIO NEUQUEN: SU DETECCION MEDIANTE IMAGENES NOAA-AVHRR

por Marisa G. Cogliati¹

Introducción

El valle inferior del río Neuquén se encuentra incluido en la zona agrícola conocida como Alto Valle del río Negro (AVRN) que a pesar de su denominación, incluye además los valles inferiores de los ríos Limay y Neuquén. (Figura 1). En esta región se destaca una intensa actividad frutihortícola. Las heladas tardías (que ocurren en los meses de setiembre y octubre)² constituyen riesgos importantes para dicha actividad llegando incluso a ocasionar grandes pérdidas económicas. Debido a ello, en los valles, se invierten grandes sumas de dinero en la lucha contra las heladas.

El Alto Valle del Río Negro es una región con características propias, por los recursos del suelo y subsuelo, por el avance de las ciudades, el número de habitantes y la tecnificación. La zona cultivada ocupa terrazas fluviales y el abastecimiento de agua se realiza por medio del riego artificial. La superficie regada es de 100000 has. El estudio de las características del clima de la región así como de cada una de las variables climáticas tiene implicancias que poco a poco han sido consideradas por los diferentes agentes del sector productivo. Esto se ve reflejado en la cantidad de estaciones meteorológicas automáticas que han sido adquiridas en la región, tanto por el sector privado como por los organismos públicos relacionados al sector productivo fruti-hortícola (INTA, FUNBAPA; UNC, etc.)³.

Desde hace unos años, se han efectuado distintos esfuerzos aislados desde todas esas instituciones para reunir información y analizar las características propias de la región, sin que se hayan coordinado esfuerzos.

Los estudios realizados presentan en su mayoría el estudio de datos de las estaciones meteorológicas convencionales pertenecientes al Servicio Meteorológico Nacional y a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Comahue con registros de aproximadamente 30 años, pero no presentan un estudio espacial del tema, sino que definen ciertas características de las estaciones o intentan caracterizar el clima de la región como un todo.

Figura 1: Ubicación de la zona de estudio y topografía de los valles inferiores de los ríos Neuquén y Limay (líneas de nivel cada 12 m).

Dichos estudios, además no son utilizados por los usuarios que deberían aplicar los resultados en pos de una utilización eficaz y apropiada de los recursos, para evitar pérdidas económicas y un uso indiscriminado del agua y la energía que ocasionan costos operativos superiores. La utilización ineficaz de algunos métodos de lucha contra heladas así como la combustión de materiales no aptos, como por ejemplo cubiertas de automóviles, para la calefacción de los frutales durante la época primaveral, ocasionan no sólo serios problemas de índole social y sanitario en la población de riesgo y sino que afecta notablemente el estándar de vida de los habitantes de las poblaciones ubicadas en el AVRN (Alto Valle del Río Negro) y no proporcionan los efectos deseados dado que el calor producido por este medio no calienta eficazmente las capas bajas de la atmósfera y provoca una densa capa de humo que impide el paso de la radiación de onda corta en las primeras horas de la mañana.

La física del fenómeno de las heladas pone de manifiesto que sus características cambian dependiendo de las características topográficas, de las características geomorfológicas y de la intervención del hombre en una escala local, por lo que el estudio de las heladas debería incorporar una visión integral de todos los aspectos que constituyen el clima local de la región.

En el Alto Valle del Río Negro se obtiene alrededor del 70% de la producción frutícola de la Argentina y más de un 40% de la misma es exportada.

Las heladas primaverales o tardías son un factor que puede provocar pérdidas importantes para la fruticultura regional, algunos eventos de heladas radiativas intensas han provocado pérdidas de 54,14% de la producción⁴.

¹Universidad Nacional del Comahue, Facultad de Humanidades, Departamento de Geografía, Buenos Aires 1400, (8300), Neuquén, Argentina. e-mail: cogliati@uncoma.edu.ar

² helada radiativa: se considera helada cuando la temperatura del aire a 1.5 m es menor a 0°C y se clasifica como radiativa a las heladas que se dan con condiciones de viento en calma y cielo despejado con enfriamiento producido principalmente por radiación de onda larga del suelo.

³ INTA: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, FUNBAPA: Fundación barrera Patagónica, UNC: Universidad Nacional del Comahue.

⁴ BELLO, I.; BONGIORNO, A. y TASSARA, M.; (1985) **Evaluación de daños por heladas en manzanos y perales en el Alto Valle de Río Negro y Neuquén**; Informe técnico EERA Alto Valle INTA; 8pp.

Los datos provenientes de la red meteorológica existente en la región son útiles para la descripción de fenómenos en escala regional, pero la distribución geográfica de las distintas variables meteorológicas no es completamente explicada debido a la escasa densidad de datos, además, estos datos no están disponibles en tiempo real. La información obtenida a través de los satélites pueden ser entonces utilizada para complementar la red meteorológica convencional, dando una cobertura más completa y permitiendo detectar cambios en los parámetros del suelo que resultarían filtrados debido a la trama de la red. La resolución temporal y espectral de los satélites meteorológicos de la NOAA, es apropiada para el seguimiento de la evolución de parámetros meteorológicos, ya que se pueden obtener varias imágenes durante una noche y discriminar diferencias de temperatura de superficie de 0.1°C^5 . La resolución espacial es limitada, pero la información cubre una extensa área en tiempo real y los puntos de análisis superan ampliamente los puntos cubiertos por la red meteorológica convencional. En este trabajo se plantea la obtención de campos de anomalías de temperatura de brillo del canal 4 en el valle del río Neuquén. mediante el empleo de imágenes satelitales para discriminar entre zonas más frías o más cálidas durante períodos nocturnos y en condiciones de tiempo meteorológico propicias para la ocurrencia de heladas radiativas.

Características de la zona de estudio

El área en estudio se encuentra comprendida entre los 38.57°S y 39.03°S de latitud y entre los 67.93°W y 68.42°W de longitud. 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 en la zona.

La zona de producción estudiada, dentro del valle irrigado, tiene una longitud de aproximadamente 31 km. y un ancho de 7 km., la diferencia media de altura entre el valle y la meseta es superior a 40 m y descendiendo hacia el sur con fuertes variaciones entre este y oeste. La pendiente transversal del valle es de 2 % y la pendiente longitudinal es de 0.15 %. La Figura 1 muestra las características topográficas del lugar mediante curvas de nivel cada 12 m.

La meseta patagónica 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 dejando grandes superficies de suelo desnudo. En un estrato inferior existen plantas menores: suculentas, con bulbos o tubérculos, y efímeras. El piso del valle está cubierto por cultivos de especies caducas, principalmente árboles frutales, manzanos y perales especialmente, cercada en muchos casos por alamedas que se utilizan como cortinas rompevientos.

Datos utilizados

La resolución espacial de los satélites NOAA AVHRR en alta resolución es 1.09 km. (0.00949°) en el nadir, la resolución radiométrica es de 1024 niveles digitales, y la resolución espectral es de 5 bandas⁶ y se discriminan diferencias de temperatura de $0.1^{\circ}\text{C}^{7,8}$.

Para este estudio se han seleccionado sub-escenas correspondiente a pasadas nocturnas. El criterio de selección contempló además que las condiciones de escala sinóptica estén incluidas en las configuraciones meteorológicas que ocasionan heladas tardías en el Alto Valle⁹ (Tabla 1) y que los parámetros orbitales del satélite permitieran la detección de píxeles de forma regular. Las escenas fueron georreferenciadas y corregidas mediante el método de los puntos de control utilizando el Sistema de Información Geográfico (SIG) IDRISI. Se verificó que las sub-escenas estén libres de nubosidad. Los resultados fueron verificados con las observaciones meteorológicas de superficie de la estación Neuquén Aero del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Tabla 1: datos orbitales de las imágenes satelitales utilizadas para el presente estudio. *Imagen diurna utilizada para el cálculo del índice de vegetación.(Fuente: elaboración propia)

Fecha	Hora local	Satélite	Elevación (°)	Acimut (°)
7-10-1997	03:29	NOAA14	86.13	282.0

⁵ PALESE, C., COGLIATI, M., FLORES, A., BASTANSKI, M. Y LÄSSIG, J.; (2002) **Cold and warm areas detection from NOAA AVHRR thermal imagery in Alto Valle of Río Negro (Argentina)**, CD-ROM 29 International Symposium on Remote Sensing of Environment, Buenos Aires, 4 pp.

⁶ Las bandas espectrales que se utilizaron en distintas etapas de este trabajo fueron: canal 1 (0.58 - 0.68 μm), canal 2 (0.725 - 1.10 μm), canal 4 (10.5 - 11.5 μm) y canal 5 (11.5 - 12.5 μm)

⁷ SCHWALB, A.; (1978) **The TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series**; NOAA Technical Memorandum NESS 95; Washington D.C.; 75pp.

⁸ SCHWALB, A., (1982) **Modified version of the TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series (NOAA E-J) – Advanced Tiros N**, NOAA Tech. Memorandum NESS 116. Washington, D.C. USA. 23 pp.

⁹ ESCOBAR, G.; COMPAGNUCCI, R. Y BISCHOFF, S., (1996) **Clasificación objetiva de situaciones sinópticas de septiembre en relación con la ocurrencia de heladas en Neuquén**, Actas VII Congreso Argentino y VII Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, Buenos Aires, 7-8.

10-6-2001	02:55	NOAA16	86.92	103.93
19-6-2001	06:15	NOAA12	71.25	282.98
20-6-2001	02:51	NOAA16	80.8	104.03
31-8-2001	06:17	NOAA12	63.7	281.51
8-1-1999*	16:55	NOAA14	76.57	77.51

Procesamiento de las imágenes

Detección de nubes

Las imágenes fueron seleccionadas libres de nubosidad espesa. Para la detección de nubes delgadas y niebla se utilizó una combinación de los canales 4 y 5.

El diagrama de dispersión entre los niveles digitales de los canales 4 y 5 presenta en 4 de las imágenes una relación lineal, mientras que la sub-escena del 31/08/01 presenta una dispersión muy alta que indicaría la presencia de niebla (Figura 2). Además, el análisis de las diferencias de nivel digital entre los dos canales térmicos (canal 4 – canal 5), presenta para esta sub-escena un alto porcentaje de valores negativos principalmente en la zona norte del valle del río Neuquén, indicando la presencia de niebla en esa zona. Debido a que la cantidad de píxeles afectados correspondían a un 50% de los píxeles representativos del valle se decidió descartar esta imagen en el análisis.

Figura 2: Diagrama de dispersión entre los canales 4 (vertical) y 5 (horizontal) para la imagen satelital del satélite NOAA 12 de las 6:17 h del 31/08/01.

Georreferenciación

El formato de los archivos creados por el software del equipo de recepción de las imágenes satelitales (Timestep Weather System) no permite discriminar la información de los puntos de control detectados por el satélite, debido a ello, las imágenes satelitales estudiadas debieron georreferenciarse utilizando información cartográfica. Para referenciar las imágenes con respecto a la ubicación de los puntos sobre la tierra, se utilizaron las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar (proyección conforme Gauss Kruger en escala 1:500000).

El sistema de referencia propio de las imágenes satelitales fue transformado a la proyección geográfica WGS084 utilizando el sistema de información geográfico IDRISI y posteriormente georreferenciadas. Se realizó una transformación topológica (rubber sheet transformation) con la cual la nueva grilla se construyó con una serie de ecuaciones polinomiales de primer grado. El tipo de reasignación de nivel digital utilizado es el del vecino más cercano.

El error de georreferenciación ocasiona que en las distintas imágenes los píxeles que describen un determinado punto geográfico no coincidan perfectamente. Este efecto constituye un obstáculo importante para el análisis conjunto de distintas escenas. Para solucionar este problema y poder efectuar 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 ellas. El registro se efectuó con respecto a la imagen del 10/06/01 (Tabla 3), debido a que era la imagen de mejor calidad orbital. En todos los casos con este procedimiento se obtuvieron errores menores a la resolución espacial del píxel.

Tabla 3: Error cuadrático medio (RMS (°)) del procedimiento de georreferenciación. (Fuente: elaboración propia)

Imagen	7-10-97	10-6-01	19-6-01	20-6-01
RMS	0.0053	-	0.0043	0.0048

Elección del área de estudio

A partir de la imagen del 08/01/97 se efectuó el cálculo del índice de vegetación normalizado^{10,11}.

¹⁰ Índice de vegetación normalizado: NDVI (Normalized difference vegetation index):

$$NDVI = \frac{\text{canal 2} - \text{canal 1}}{\text{canal 2} + \text{canal 1}}$$

este índice presenta valores entre -1 y 1

¹¹ ROUSE, J.W. JR., HAAS, R. H., DEERING, D. W., SCHELL, J. A., AND HARLAN, J. C.; (1974) **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) on natural vegetation**. NASA/GSFC Type III Final Report, Greenbelt, MD., 371pp.

Se clasificaron los píxeles según su valor de NDVI¹⁰ como pertenecientes a: zona en el interior del valle, sobre la meseta, o ciudad, de acuerdo a la distinta respuesta espectral que presentan la vegetación, el suelo desnudo y las edificaciones y la información de campo disponible.

Figura 3: Índice de vegetación normalizado (NDVI) para la imagen del satélite NOAA14 del 8/01/99 a las 16:55 h.

La Figura 3 presenta el cálculo del índice de vegetación normalizado para una sub-escena diurna del 8/01/99. Los valores de NDVI ligeramente negativos corresponden a la vegetación arbustiva de la meseta patagónica con porciones de suelo desnudo. NDVI positivos indican cultivos intensivos dentro del valle irrigado.

Se realizó un procedimiento de máscara para la eliminación de los píxeles que representaban información no incluida en la zona del valle cultivado, los que presentaban $NDVI < 0.14$.

Con los datos de nivel digital del canal 4, para los píxeles ubicados exclusivamente en la zona cultivada del valle del río Neuquén, se efectuó el cálculo del valor medio de nivel digital para cada una de las sub-escenas (Tabla 4) y se calcularon en cada caso las anomalías de nivel digital para estandarizar la información de las cuatro imágenes.

Tabla 4: Promedio de nivel digital (\overline{ND}) del canal 4. (Fuente: elaboración propia)

Imagen	7-10-97	10-6-01	19-6-01	20-6-01
\overline{ND}	501	567	572	595

Figura 5: Temperatura de brillo del canal 4 del satélite NOAA14 de 07/10/97 a las 3:29 h en la zona cultivada del valle del río Neuquén.

Se convirtieron los campos de anomalías de nivel digital a valores de anomalías de temperatura de brillo de canal 4 (Figuras 4 a 9). En las figuras 4 a 9 se presentan las anomalías de temperatura de brillo del canal 4 durante 4 noches seleccionadas en las que las características sinópticas eran propicias para la ocurrencia de heladas radiativas.

Figura 6: ídem Figura 5 del satélite NOAA16 la noche del 10/06/01 a las 2:55 h.

Figura 7: ídem Figura 5 del satélite NOAA12 la noche del 19/06/01 a las 6:15 h.

En todas las noches se puede observar una zona de anomalías positivas (mayores temperaturas) acompañando el curso del río Neuquén. Si bien, el río no puede observarse debido a la resolución espacial de las imágenes, su influencia se detecta en el comportamiento térmico de las áreas aledañas de manera evidente. Los patrones térmicos se mantienen similares en todos los casos, esto se pone de manifiesto en la distribución de las anomalías promedio que se presentan en la Figura 9.

Figura 8: ídem Figura 5 del satélite NOAA16 la noche del 20/06/01 a las 2:51 h .

Figura 9: Anomalías promedio de la temperatura de brillo del canal 4 de las escenas presentadas en las Fig. 4 a 8 .

En este primer análisis no se consideró la corrección atmosférica, ni se tuvieron en cuenta los valores de la emisividad de la superficie, es decir que los resultados deben analizarse solamente desde el punto de vista de la obtención de un mapa con la ubicación de las zonas más frías y más cálidas dentro del valle cultivado del río Neuquén. La Figura 10 presenta las curvas de frecuencia de anomalía para cada una de las sub-escenas, se observa un alto porcentaje de anomalías positivas en la correspondiente al mes de octubre, contrario a lo que presentan las escenas del mes de junio. Este hecho indicaría que un estudio posterior debería contemplar la inclusión de un mayor número de casos obtenidos aleatoriamente durante el año.

La distribución de frecuencias de las anomalías promedio de la temperatura de brillo del canal 4 (Figura 10) no presenta un máximo bien definido, si bien, presenta varios máximos relativos con un mayor porcentaje de anomalías negativas principalmente entre (-0.6 °C y -1.1 °C) con una disminución paulatina de las frecuencias hacia los valores positivos. El área ocupada por la zona más fría difiere de la ocupada por la zona más cálida solamente en un 6 % .

Figura 10: frecuencia relativa porcentual (f: frecuencia N: total de datos) de anomalías medias de temperatura de brillo del canal 4 en el valle cultivado.

Distribución espacial de las anomalías

Las anomalías de temperatura de brillo calculadas utilizando IDRISI a partir de las imágenes en formato raster fueron utilizados para la elaboración de mapas vectoriales de anomalías de temperatura de brillo (°C). La distribución espacial de anomalías de temperatura de brillo del canal 4 presenta características que varían espacialmente en concordancia con la variabilidad espacial característica del fenómeno de escala local de la helada radiativa.

En la Figura 12 se puede observar en la zona aledaña al río una franja donde las anomalías de temperatura del canal 4 son positivas, indicando una zona más cálida, por otro lado, las zonas más frías se detectan hacia el este y principalmente en la zona sur donde el ancho del valle es mayor.

Las mayores anomalías negativas y las mayores anomalías positivas se presentaron a la misma latitud al norte de las localidades de Cinco Saltos y Centenario respectivamente.

Figura 12: Anomalías promedio de temperatura de brillo del canal 4 en el interior del valle del río Neuquén elaborada a partir de las imágenes satelitales enumeradas en la Tabla 4.

La mayor anomalía negativa y la mayor anomalía positiva se presentaron a la misma latitud al norte de las localidades de Cinco Saltos y Centenario respectivamente.

Estos resultados concuerdan cualitativamente con los resultados obtenidos mediante el procesamiento de información meteorológica convencional en la bibliografía.

Conclusiones

Las anomalías medias de la temperatura de brillo del Canal 4 obtenidas considerando imágenes NOAA AVHRR durante noches con situaciones meteorológicas a escala sinópticas propicias para la ocurrencia de heladas radiativas o inversión nocturna de la temperatura en la capa de superficie presentaron características bien definidas. Las áreas con temperatura de brillo mayor (con anomalías positivas) se presentan en forma de una banda paralela al curso del Río Neuquén a lo largo de todo el valle. Las áreas más frías (con anomalías negativas) se incluían dentro del valle cultivado al este de la zona más cálida y principalmente en la zona sur del valle.

Al norte de Cinco Saltos se ubicó la zona más fría y al norte de Centenario la zona más cálida. La máxima diferencia promedio de temperatura de brillo del canal 4 entre ambas zonas fue de 4.3 °C.

Las anomalías de temperatura muestran una gran variabilidad dentro del valle cultivado consistente con la distribución espacial de las heladas radiativas que dependen de: las características topográficas, geomorfológicas y de la intervención del hombre en una escala local.

Los distintos factores que influyen la distribución de la temperatura en los valles y la complejidad de los procesos físicos en noches con condiciones propicias para la inversión de temperatura del aire en la capa de superficie, sugieren que se debería incorporar una visión integral de todos los aspectos que constituyen el clima local en estudios posteriores.

No obstante la pobre resolución espacial de los satélites NOAA, debe destacarse la adecuada resolución temporal y radiométrica que realzan la importancia del sensoramiento remoto en la obtención de datos de temperatura de superficie en tiempo real durante el transcurso de la noche como una herramienta marco en los análisis destinados a efectuar pronósticos de heladas, especialmente en las escalas espaciales que son representadas muy pobremente por la información meteorológica y climática de escala local.

El estudio de la distribución de la temperatura aparente de superficie obtenida por medio de los satélites NOAA provee una herramienta muy importante en la detección de zonas más frías en el interior de los valles cultivados. La utilización de estos resultados en la planificación productiva de la zona, permitiría una mejor utilización de los recursos destinados a la lucha en contra de los efectos adversos de las heladas y paulatinamente disminuir los altos índices de contaminación que resultan del uso indiscriminado de elementos combustibles en las noches con temperaturas por debajo de los límites críticos del órgano frutal.