

# COMBINACIÓN DE INFORMACIÓN SATELITAL Y DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA GENERAR MAPAS DE TEMPERATURA DE ALTA RESOLUCIÓN Y COBERTURA COMPLETA EN LA PROVINCIA DE SAN LUIS

Giménez, R.<sup>1,2\*</sup>; Baldi, G.<sup>1,2</sup>; Castellanos, G.<sup>2</sup>; Mercau, J.L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Grupo de Estudios Ambientales. Instituto de Matemática Aplicada (IMASL), CONICET. Av. Italia 1556 (5700), San Luis, Argentina; <sup>2</sup> Departamento de Geología, Fac. Ciencias Físico Matemáticas y Naturales. Universidad Nacional de San Luis. Ejército de Los Andes 950 (5700), San Luis, Argentina; <sup>3</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria; AER San Luis. Ruta 20, tramo Rosendo Hernández (5700) San Luis, Argentina.

\*Contacto: gimenezgea@gmail.com

**Palabras clave:** temperatura de superficie; temperatura del aire; MODIS

## INTRODUCCIÓN

La temperatura es uno de los factores ambientales más determinantes del crecimiento y desarrollo de los cultivos y, por lo tanto, de la aptitud productiva de una zona o región. Por un lado, cada especie tiene un requerimiento básico de temperatura para completar cada una de las fenofases de su ciclo. Por el otro, la exposición a temperaturas extremas (altas o bajas) puede tener efectos detrimentales sobre su crecimiento, producción o supervivencia (Luo, 2011). Por lo tanto, el conocimiento de cómo la temperatura varía en el tiempo y el espacio es de suma utilidad para la zonificación agroecológica de los cultivos y la planificación de los calendarios agrícolas.

La provincia de San Luis presenta un clima continental seco, con una temperatura media anual de 16° C en el sector sur de la provincia y de 18° C en el norte. Sin embargo, la continentalidad, el relieve y el clima semiárido de la provincia permiten suponer una gran variabilidad térmica tanto en la dimensión espacial como en la temporal. Parte de esa variabilidad puede estudiarse gracias a los datos de una densa red de estaciones meteorológicas (REM) instalada, coordinada y mantenida por la Universidad de La Punta ([www.clima.edu.ar](http://www.clima.edu.ar)). Esta red toma registros horarios de temperatura de aire (entre otras variables meteorológicas) desde hace aproximadamente 10 años en numerosas estaciones distribuidas a través de la provincia. No obstante, estos registros no dejan de ser mediciones puntuales distribuidas discretamente en el espacio que requieren de complejos modelos de interpolación para lograr estimaciones que cubran la totalidad del territorio provincial (Yang, *et al.*, 2017). Paralelamente, en las últimas décadas diferentes misiones satelitales han estado recopilando información de distintas características de la superficie terrestre, entre ellas la temperatura de superficie. En particular, el sistema MODIS (de *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) presenta resoluciones espaciales y temporales de utilidad para fines agronómicos. Si bien la temperatura de superficie depende de múltiples factores entre los que se encuentran el tipo de cobertura, su composición y contenido de humedad, nuestra hipótesis es que esta variable refleja las condiciones térmicas locales por lo que podría usarse para mejorar la precisión espacio-temporal de los mapas de temperatura. El objetivo de este trabajo es, por lo tanto, analizar la posibilidad de estimar la temperatura del aire ( $T_a$ ) a partir de la temperatura de superficie ( $T_s$ ) obtenida por satélite, para generar mapas de temperatura del aire de alta resolución y cobertura continua de la provincia de San Luis.

## MATERIALES Y MÉTODOS

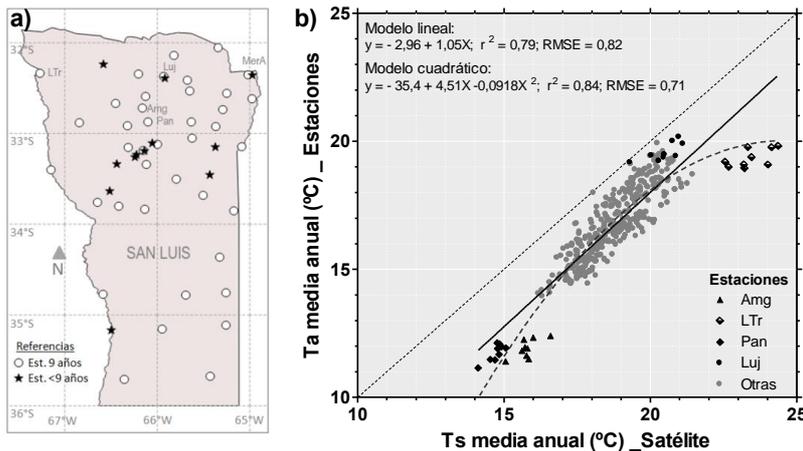
- Datos de temperatura de aire ( $T_a$ ): Se seleccionaron las estaciones de la REM que presentaran 9 años de datos (2008 a 2016) de  $T_a$  y pocos datos faltantes (i.e. <10 %, Figura 1.a). En cada una, se eliminaron datos anómalos (ej.,  $T_a < -15^\circ\text{C}$ ) y se completaron los datos faltantes con estimaciones realizadas a partir de modelos de regresión lineal entre la temperatura horaria de la estación de interés y la de las 4 estaciones de mayor correlación ( $r > 0,9$ ). Se obtuvieron de este modo 42 estaciones (Est. 9 años) con datos horarios de temperatura suficientemente completos (<1% de datos faltantes) para calibrar modelos de estimación de temperatura del aire ( $T_a$ ) a partir de la temperatura de superficie ( $T_s$ ) medida por satélite. Se procedió del mismo modo con otras 12 estaciones que presentaron menos años de registros de  $T_a$  (Est. <9 años), las cuales se utilizaron para verificar la precisión de los modelos obtenidos.

- Datos de temperatura de superficie ( $T_s$ ): Se usaron datos de  $T_s$  del satélite MODIS comprendidos entre el 01/01/2008 y el 31/12/2016. Específicamente, se usaron los productos MOD11 y MYD11, los cuales tienen una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup> y calculan un valor de  $T_s$  promedio por cada intervalo de 8 días, para cuatro diferentes momentos del día: 7:00 AM, 11:00 AM, 7:30 PM y 10:00 PM.

Los datos de  $T_a$  se agruparon en intervalos de 8 días, similares a los de MODIS, para contrastarlos directamente con los datos de  $T_s$ . Para cada intervalo se calculó la temperatura media del aire en 8 días ( $T_a$ ) y se contrastó con los correspondientes 4 registros de  $T_s$  y diferentes promedios entre ellos. El promedio de  $T_s$  en los momentos 7:00 AM y 7:30 PM fue la combinación que mejor correlacionó con  $T_a$ , por lo que en adelante cada vez que se mencione  $T_s$  se referirá al promedio de estos momentos. Los valores de  $T_s$  y  $T_a$  se integraron luego por estación y por año para desarrollar modelos regresión lineal y polinomial (cuadrática) para estimar  $T_a$  anual a partir de  $T_s$  anual.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación de la Ts media anual medida con satélite estuvo fuertemente relacionada con la variación de la Ta media anual medida en estaciones meteorológicas (Figura 1.b). El modelo de regresión lineal entre ambas variables tuvo un  $r^2=0,79$  y un  $RMSE=0,82$ . En el rango de Ta anuales explorado por la mayoría de las estaciones (14-20°C, 39 estaciones), la temperatura de superficie fue en promedio  $\sim 2^\circ\text{C}$  superior a la registrada en el aire. Tres estaciones se apartaron de este modelo general: “Amg” y “Pan”, las más frías de la provincia (11-12°C) por estar ubicadas a alta elevación (1710 y 1518 msnm), presentaron una diferencia algo mayor (3-4°C, respecto a la medida en estación), mientras que “LTr”, ubicada en el sector más árido de la provincia (noroeste), presentó una Ta similar a la de otras estaciones como “Luj”, pero Ts 2-3°C superiores. El uso de un modelo cuadrático, para compensar las diferencias encontradas en los extremos del rango térmico analizado, mejoró la precisión del

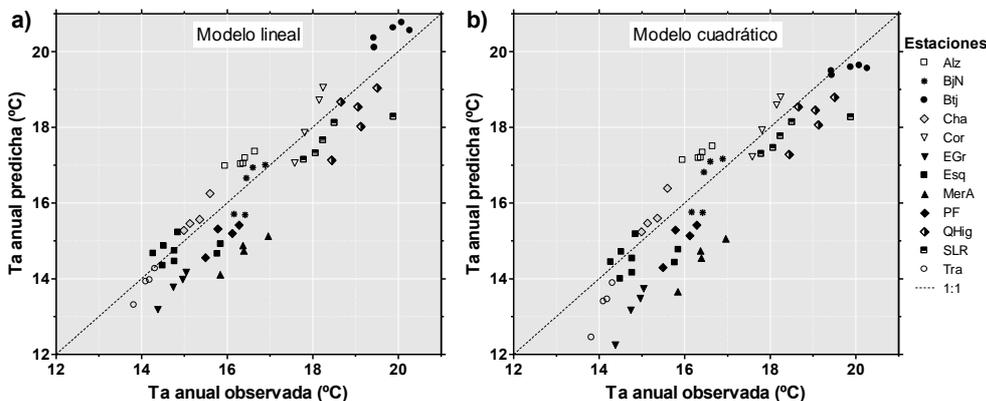


modelo obteniéndose valores de  $r^2=0,84$  y de  $RMSE=0,71$ .

**Figura 1. a)** Mapa de la distribución de las estaciones meteorológicas usadas en este trabajo (se identifican diferencialmente algunas de interés particular); **b)** Relación entre la temperatura media anual del aire (medida en estación meteorológica) y la temperatura media anual de superficie (obtenida de satélite), para 42 estaciones y 9 años. La mayoría de las estaciones comparten la misma simbología (círculos grises), excepto aquellas que merecen especial atención. Los modelos lineal (línea llena) y cuadrático (línea cortada) fueron ajustados para la totalidad de los casos. La línea

punteada marca la relación 1:1.

El uso de los modelos generados para estimar la Ta media anual del aire a partir de la Ts en un set de datos independiente (estaciones que no tenían 9 años de datos) mostró que el modelo lineal tuvo un buen desempeño general, con un error en las estimaciones de temperatura  $< \pm 1^\circ\text{C}$  para la mayoría de las estaciones/años analizados, con excepción de la estación “MerA” que tuvo un error algo mayor. El modelo cuadrático tuvo menor precisión.



**Figura 2.** Relación entre la temperatura media anual del aire observada y predicha por el modelo lineal (a) y por el modelo cuadrático (b) para 12 estaciones y diferentes años. La línea punteada marca la relación 1:1.

## CONCLUSIONES

La temperatura de superficie de MODIS permite

estimar la temperatura media anual en gran parte de San Luis, a un nivel de detalle de  $1\text{km}^2$ , con una precisión relativamente buena (error  $< \pm 1^\circ\text{C}$ ). Sin embargo, en algunos sitios ubicados en los extremos del rango de Ts explorado (“LTr”, “Amg”) el modelo pierde precisión. Investigaciones futuras evaluarán si la incorporación de otras variables auxiliares (como la altitud, la pluviometría, el tipo y condición de vegetación, etc) a modelos de regresión múltiple permiten mejorar la precisión de las estimaciones en la totalidad del territorio.

## AGRADECIMIENTOS

A la Red de Estaciones Meteorológicas y la Universidad de La Punta por proveer los datos meteorológicos

## REFERENCIAS

- Luo, Q. 2011. Temperature thresholds and crop production: A review. *Climatic Change* 109:583–598.  
 Yang, Z.Y.; Cai, W.H.; Yang, J. 2017. Evaluation of MODIS Land Surface Temperature data to estimate near-surface air temperature in Northeast China. *Remote Sensing* 9: 1-19.