

## Estimación de horas de frío para la zonificación agroclimática de frutales en la provincia de San Luis mediante información de sensores remotos

Giménez\*, R.<sup>1,2</sup>; Baldi, G.<sup>1,2</sup>; Houspanossian, J.<sup>1,2</sup>; Mercáu, J.L.<sup>3</sup>; Castellanos, G.<sup>2</sup>; Güell S.<sup>1</sup>; Nosetto, M.<sup>1,4</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. Ejercito de Los Andes 950(5700), San Luis, Argentina; <sup>3</sup> Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, AER San Luis; <sup>4</sup> Fac. de Ciencias Agropecuarias (UNER)  
\*e-mail: gimenezgea@gmail.com

**Resumen.** Este trabajo evalúa la factibilidad de cuantificar mediante sensores remotos la acumulación de horas de frío durante el período de reposo (HF), una variable crítica para la zonificación de cultivos frutales. Se encontró que un modelo simplificado, basado en la temperatura ambiente de los 5 meses más fríos, fue un buen estimador de HF ( $r^2=0.93$ ). Las estimaciones basadas en datos de temperatura de superficie del satélite MODIS tuvieron una precisión aceptable, especialmente cuando incluyeron variables complementarias como la amplitud térmica y la altitud ( $r^2=0.80$ ). Estos modelos permiten realizar cartas de HF de alta resolución y cobertura completa para la provincia de San Luis.

**Keywords:** requerimiento de frío, especies criófilas, temperatura de superficie; MODIS

### 1 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. En árboles frutales criófilos caducifolios uno de los requerimientos bioclimáticos más importantes para la factibilidad de su explotación comercial es la acumulación de frío durante el reposo invernal. Muchos de ellos necesitan una exposición prolongada a las bajas temperaturas del invierno para una adecuada ruptura de la dormición de yemas florales, existiendo grandes diferencias interespecíficas en estos requerimientos, y aún entre cultivares de una misma especie. De no cumplirse con este requerimiento, los árboles pueden manifestar aborto de yemas florales, una menor floración y/o fructificación deficiente.

Dada la importancia central de este requerimiento para la zonificación agroecológica de especies frutales, se han desarrollado diferentes métodos para cuantificar, a partir de datos meteorológicos, la cantidad de frío de diferentes zonas geográficas. Uno de los métodos más ampliamente utilizados consiste en cuantificar la cantidad de

horas con temperatura inferior a 7° C (u “horas frío”), acumuladas durante el período de reposo invernal. Debido a la limitada disponibilidad de datos meteorológicos de registro horario, se han desarrollado nuevas fórmulas y modelos para la estimación de horas frío (**HF**) a partir de datos de más fácil acceso (ej. temperatura media de los 5 meses más fríos; [1]). Estos modelos han permitido la confección de cartas agroclimáticas regionales de **HF** para todo el país, aunque su precisión a escalas de mayor detalle (ej. provincia) suele estar limitada por la densidad y distribución de las estaciones meteorológicas, especialmente en regiones de relieve pronunciado.

La creciente disponibilidad de datos de sensores remotos ofrece la posibilidad de obtener, en tiempo casi real, información de diferentes características de la superficie terrestre a muy alta resolución espacial, y en cobertura completa (a diferencia de la información más puntual obtenida de estaciones meteorológicas). En particular, los productos de temperatura de superficie MOD11 y MYD11 del satélite MODIS (del inglés *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) tienen potencial para estimar, con un error razonable, la temperatura del aire de una región a una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup> y a intervalos temporales suficientemente cortos como para ser utilizados en diversas aplicaciones agrometeorológicas [2].

El objetivo de este trabajo es el de evaluar la utilidad de los productos de temperatura de superficie (**Ts**) del sensor MODIS para la estimación de la disponibilidad de horas de frío (**HF**) en todo el territorio de la provincia de San Luis. Entre los factores que motivan este trabajo figuran: i) el interés de las autoridades provinciales de fomentar la producción frutícola y la escasa información técnica para ello, ii) las condiciones climáticas y de relieve de la provincia que determinan gradientes térmicos pronunciados a poca distancia y iii) la existencia de una densa red de estaciones meteorológicas distribuidas en toda la provincia [3], de registro horario y libre acceso, que permiten el cómputo de **HF** para desarrollar y calibrar modelos predictivos basados en **Ts**.

## 2 Materiales y Métodos

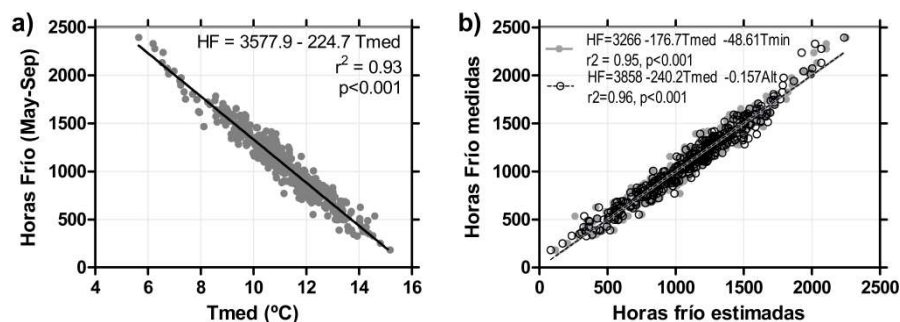
- Cuantificación de Horas de Frío (**HF**): A partir de registros térmicos horarios de 42 estaciones de la Red de Estaciones Meteorológicas (REM) de San Luis, durante un período de 9 años (2008-2016), se procedió a calcular la sumatoria de horas con temperatura menor o igual a 7°C, en el período comprendido entre el primero de mayo y el 30 de septiembre (en adelante “período de reposo”), para cada combinación estación-año.
- Datos de sensores remotos: Se descargaron los datos de temperatura de superficie (**Ts**) del satélite MODIS comprendidos entre el 01/01/2008 y el 31/12/2016. Específicamente, se usaron los productos MOD11 y MYD11, que tienen una resolución espacial de 1km<sup>2</sup> y calculan un valor de **Ts** promedio por cada intervalo de 8 días, en cuatro momentos del día: 7:00 AM, 11:00 AM, 7:30 PM y 10:00 PM.

La cantidad de **HF** se correlacionó con la temperatura media (**Tmed**) y con la temperatura mínima (**Tmin**) promedio del período de reposo. A su vez, se calcularon los

valores promedio de **Ts** durante el reposo para los cuatro momentos del día (**Ts7**, **Ts11**, **Ts19** y **Ts22**) y diferentes combinaciones de ellos (ej. **Ts7.19** = (**Ts7**+**Ts19**)/2). Para cada intervalo de 8 días se calcularon los valores de **Ts** máximo y mínimo (**Ts.max** y **Ts.min**), y a partir de la diferencia entre ellos, la amplitud de **Ts** (**ΔTs**). Estas variables se promediaron para todo el período de reposo y se evaluó su utilidad, junto a la de otras variables fácilmente obtenidas con sensores remotos (coordenadas geográficas, altitud, pendiente y orientación de la pendiente), para mejorar las estimaciones de **HF** a partir de modelos de regresión múltiple.

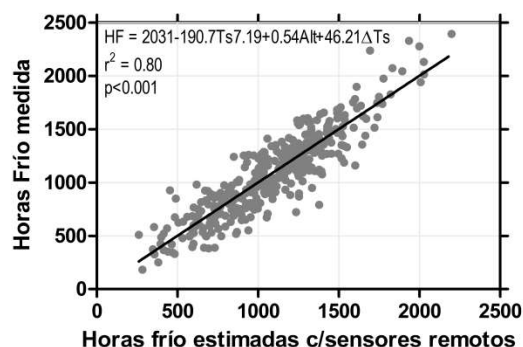
### 3 Resultados y Discusión

Las condiciones exploradas (42 localidades x 9 años) cubrieron un amplio rango de acumulación de horas de frío (180 a 2400 HF). La cantidad de **HF** estuvo más correlacionada con **Tmed** ( $r=-0.97$ ,  $p<0.001$ ) que con **Tmin** ( $r=-0.87$ ,  $p<0.001$ ) de los 5 meses del período de reposo. El modelo de regresión simple para estimar **HF** a partir de **Tmed** tuvo un buen ajuste general ( $r^2=0.93$ ,  $p<0.001$ , Fig. 1a), con mejoras ligeras al adicionar **Tmin** o **Alt** como variables en modelos de regresión múltiple ( $r^2=0.96$   $p<0.001$ , en el mejor de los casos, Fig. 1b).



**Figura 1. a)** Relación entre las Horas de frío (**HF**) y la temperatura media (**Tmed**) durante el período de reposo invernal. **b)** Relación entre **HF** medidas y estimadas por dos modelos de regresión múltiple que incluyeron, además, la temperatura mínima (**Tmin**) y la altitud (**Alt**).

Los modelos predictivos basados en estimaciones de temperatura de superficie (**Ts**) tomadas con sensores remotos fueron aceptables, aunque menos precisos. Al comparar las correlaciones entre **HF** y **Ts** promedio entre los cuatro horarios de medición del satélite MODIS, encontramos que **Ts19** fue la de mayor coeficiente de correlación ( $r=0.73$ ), mientras que el promedio entre **Ts7** y **Ts19** (**Ts7.19**) fue una variable “compuesta” superadora con mayor correlación ( $r=-0.83$ ,  $p<0.001$ ) y mayor valor predictivo ( $r^2=0.69$ ,  $p<0.001$  para la regresión lineal simple entre **HF** y **Ts7.19**). La incorporación de variables complementarias, también obtenidas con sensores remotos (**Alt**, **ΔTs**), mejoró sustancialmente la predicción de los modelos lográndose un  $r^2=0.80$  (Fig. 2).



**Figura 2.** Relación entre las horas de frío medidas en las estaciones meteorológicas y las predichas por el modelo de regresión múltiple.

#### 4 Conclusiones

Los resultados logrados avalan el potencial de la información de sensores remotos, y en particular de los productos de **Ts** de MODIS, para mejorar el detalle y la cobertura de la cartografía para la zonificación agroecológica de cultivos. Si bien las estimaciones no logran la precisión de modelos basados en datos meteorológicos locales, los modelos para cuantificar **HF** a partir de **Ts** tuvieron un buen desempeño general cuando incorporaron variables complementarias fácilmente obtenibles a partir de sensores remotos. Desarrollos similares permitirán generar nuevos productos de interés como mapas para estimar el riesgo de heladas, de eventos de muy alta temperatura, o para el seguimiento de la fenología de los cultivos a nivel provincial/regional.

#### Agradecimientos

A la Red de Estaciones Meteorológicas y la Universidad de La Punta por proveer los datos meteorológicos. A la FISAL por financiar este trabajo.

#### Referencias

1. Da Mota F.E. 1957. Os invernos de Pelotas, RS, em relação as exigencias das arvores frutíferas de folhas caducas. Bol. Téc. Inst. Agron. Sul, 18-38pp.
2. Giménez R.; Baldi G.; Castellanos G.; Mercau, J.L. 2018. Uso de información satelital y de estaciones meteorológicas para generar mapas de temperatura de alta resolución y cobertura completa de la prov. de San Luis. XVII Reunión Argentina de Agrometeorología. Va. de Merlo, San Luis Argentina.
3. Red de Estaciones Meteorológicas de San Luis (REM) [www.clima.edu.ar](http://www.clima.edu.ar)