

Gimeno, S.; Crisafulli, V.; Sobrino-Gómez, Á.; Sobrino, J. Una metodología para estimar la intensidad de las heladas y el daño en plantaciones de naranjos utilizando datos de Meteosat en la Comunidad Valenciana

Una metodología para estimar la intensidad de las heladas y el daño en plantaciones de naranjos utilizando datos de Meteosat en la Comunidad Valenciana

Gimeno, Sergio ¹ Crisafulli, Virginia ¹ Sobrino-Gómez, Álvaro ¹ Sobrino, José Antonio ¹

¹ Unidad de Cambio Global, Laboratorio de Procesado de Imágenes (LPI) de la Universidad de Valencia. Parque Científico - Campus de Paterna C/ Catedrático José Beltrán nº 2, 46980 Paterna (Valencia)

ORCID: Gimeno 0009-0005-6534-3850 Crisafulli 0000-0003-3480-0594 Sobrino 0000-0003-3787-9373

Correspondencia: sergio.gimeno-crespo@uv.es virginia.crisafulli@uv.es alvaro.sobrino@uv.es jose.sobrino@uv.es

RESUMEN

Los cultivos de cítricos representan uno de los principales pilares económicos de la Comunidad Valenciana (España). Los eventos de heladas suponen una amenaza significativa para estas plantaciones, resultando en pérdidas económicas sustanciales. Este estudio tiene como objetivo evaluar la frecuencia e intensidad de las heladas en la región en un periodo de 20 años, desde 2004 hasta 2023, utilizando imágenes satelitales de Meteosat Second Generation (MSG). Los días de helada se definieron como aquellos en los que las temperaturas descendieron por debajo de $-2,3^{\circ}\text{C}$, el umbral a partir del cual los frutos de naranja se vuelven susceptibles al daño. Se seleccionaron varios umbrales de temperatura para corresponder con diferentes niveles de daño potencial a los cultivos. El estudio también consideró la duración de estos eventos de helada, para desarrollar una clasificación de intensidad que estima el impacto en los cultivos de cítricos. Se realizaron comparaciones anuales para rastrear tendencias en la ocurrencia de heladas y eventuales anomalías térmicas. La validación se llevó a cabo utilizando datos in situ de la agencia meteorológica nacional española (AEMET). Los resultados revelan un descenso en la severidad de las heladas y en su frecuencia. En particular, se observa un descenso sustancial en las heladas clasificadas según este método como de "daño moderado" y una casi desaparición de aquellas de "daño intenso" o "daño permanente".




Palabras clave: Cultivos de cítricos, Teledetección, daño por helada, Comunidad Valenciana

Fecha de recepción: 3 febrero 2026 · Fecha de aceptación: 3 febrero 2026

Una metodología para estimar la intensidad de las heladas y el daño en plantaciones de naranjos utilizando datos de Meteosat en la Comunidad Valenciana

Gimeno, Sergio ⁽¹⁾, Crisafulli, Virginia ⁽¹⁾, Sobrino-Gómez, Álvaro ⁽¹⁾, Sobrino, José A. ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Unidad de Cambio Global, Laboratorio de Procesado de Imágenes (LPI) de la Universidad de Valencia. Parque Científico - Paterna (Valencia)

 0009-0005-6534-3850, sergio.gimeno-crespo@uv.es ;  0000-0003-3480-0594, virginia.crisafulli@uv.es. alvaro.sobrino@uv.es ;  0000-0003-3787-9373, sobrino@uv.es.

Resumen: Los cultivos de cítricos representan uno de los principales pilares económicos de la Comunidad Valenciana (España). Los eventos de heladas suponen una amenaza significativa para estas plantaciones, resultando en pérdidas económicas sustanciales. Este estudio tiene como objetivo evaluar la frecuencia e intensidad de las heladas en la región en un periodo de 20 años, desde 2004 hasta 2023, utilizando imágenes satelitales de Meteosat Second Generation (MSG). Los días de helada se definieron como aquellos en los que las temperaturas descendieron por debajo de $-2,3^{\circ}\text{C}$, el umbral a partir del cual los frutos de naranja se vuelven susceptibles al daño. Se seleccionaron varios umbrales de temperatura para corresponder con diferentes niveles de daño potencial a los cultivos. El estudio también consideró la duración de estos eventos de helada, para desarrollar una clasificación de intensidad que estima el impacto en los cultivos de cítricos. Se realizaron comparaciones anuales para rastrear tendencias en la ocurrencia de heladas y eventuales anomalías térmicas. La validación se llevó a cabo utilizando datos *in situ* de la agencia meteorológica nacional española (AEMET). Los resultados revelan un descenso en la severidad de las heladas y en su frecuencia. En particular, se observa un descenso sustancial en las heladas clasificadas según este método como de "daño moderado" y una casi desaparición de aquellas de "daño intenso" o "daño permanente".

Palabras clave: Cultivos de cítricos, Teledetección, daño por helada, Comunidad Valenciana

A methodology for estimating frost intensity and damage in orange groves using meteosat data: a case study in the valencian community

Abstract: *Citrus cultivations represent one of the major economic pillars of the Valencian Community (Spain). Frost events pose a significant threat to these plantations, resulting in substantial economic losses. This study aims to assess the frequency and intensity of frost occurrences in the region over a period of 20 years, from 2004 to 2023, utilizing Meteosat Second Generation (MSG) satellite imagery. Frost days were defined as those when temperatures fell below -2.3°C , the threshold at which orange fruits become susceptible to damage. Various temperature thresholds were selected to correspond with different levels of potential damage to the crops. The study also considered the duration of these frost events, to develop an intensity classification that estimates the impact on citrus crops. Annual comparisons were made to track trends in frost occurrence and eventual thermal anomalies. Validation was performed using in situ data from the Spanish national meteorological agency (AEMET). Results reveal a decline in the severity of frosts and in their frequency. In particular, we observe a substantial decline in frosts classified according to our method as "moderate damage" and an almost disappearance of those of "intense" or "permanent damage".*

Keywords: *Citrus crops, Remote Sensing, frost damage, Valencian Community*

1. INTRODUCCIÓN

Estudios recientes (Balfagon *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2022; Karamidehkordi *et al.*, 2023) han demostrado que las variaciones climáticas, incluyendo cambios en la temperatura y la precipitación, afectan directamente a la calidad y el rendimiento de los frutos cítricos.

Generalmente, los cítricos se adaptan bien a diversos climas, pero su crecimiento está limitado por las bajas temperaturas y las heladas, que pueden ser un factor limitante para la producción agrícola en climas áridos y semiáridos, como los de ciertas regiones mediterráneas (Maracchi *et al.*, 2005; Alhader, 2021).

En el contexto de la agricultura de cítricos, las heladas se consideran impactantes cuando la Temperatura de Superficie Terrestre (LST) detectada por satélite desciende a $-2,3^{\circ}\text{C}$ o menos (Caselles & Sobrino, 1989).

En los últimos años, el uso de tecnologías de Teledetección para el monitoreo de heladas ha avanzado significativamente, convirtiéndose en una herramienta indispensable para la evaluación precisa y oportuna de las condiciones agrícolas durante y después de los eventos de heladas (Wang *et al.*, 2020; Li *et al.*, 2021). Los satélites METEOSAT de segunda generación (MSG), operados por EUMETSAT, son particularmente efectivos para este propósito debido a su alta resolución temporal (15 minutos), que permite el monitoreo continuo de las condiciones terrestres.

Se decidió monitorear la frecuencia e intensidad de las heladas durante los últimos 20 años en la Comunidad Valenciana, una región donde el sector agrícola de cítricos está altamente desarrollado, representando más de la mitad del área total de cultivo de cítricos de España (Balfagon *et al.*, 2021), y posicionando a España como el sexto mayor productor mundial de cítricos frescos (FAO, 2021). Para alcanzar este objetivo, se propone un método práctico de teledetección para cuantificar la magnitud del daño por heladas, utilizando la temperatura mínima alcanzada y la duración de la helada como indicadores clave.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Área de estudio

El área de estudio ha sido la Comunidad Valenciana debido a los diversos tipos de cultivos, particularmente los cítricos, siendo las naranjas los más destacados.

2.2. Conjunto de datos

Se han utilizado imágenes MSG recopiladas desde 2004 hasta 2023, teniendo así imágenes del área de estudio cada 15 minutos. Se procesaron 85208 imágenes en total, comprendiendo 24 imágenes para cada día (la primera imagen obtenida por hora) para los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre (los meses en los que es más probable la ocurrencia de heladas) a lo largo de todo el período de estudio. De estas imágenes, seleccionamos la banda MSG LST del producto MLST, que proporciona información sobre la LST con una resolución espacial de 3 km.

2.3. Metodología

En primer lugar, los datos de LST obtenidos del satélite se validaron con los registrados por la estación meteorológica 'Villafranca' de AEMET, ubicada en la región de Castellón, para verificar la representatividad de los datos satelitales, para el año 2023.

Se desarrolló una nueva metodología simplificada basada en la LST medida por satélite para detectar posibles daños por heladas. Para tener en cuenta los diferentes impactos en flores, frutos, troncos de árboles y tallos, se establecieron tres umbrales de temperatura críticos basados en la literatura existente (Whiteman, 1957; Conesa *et al.*, 2015; Micheloud *et al.*, 2017). Dado que la duración de la helada también juega un papel crucial en la determinación de la magnitud del daño a

una plantación (Snyder & Melo-Abreu, 2005), se establecieron cuatro umbrales de duración consecutivos para evaluar el impacto potencial en las plantas. De esta forma, se desarrolló un sistema de clasificación para los niveles de intensidad de las heladas combinando arbitrariamente estos parámetros, estableciendo así cuatro categorías de daño (Tabla 1).

Tabla 1. Niveles de daño definidos. (Azul claro = Daño leve; Verde = Daño moderado; Naranja = Daño intenso; Rojo = Daño permanente).

	$3 \leq h < 6$	$6 \leq h < 12$	$12 \leq h < 24$	$h \geq 24$
$-2,3^{\circ}\text{C}$				
$-4,0^{\circ}\text{C}$				
$-9,0^{\circ}\text{C}$				

Con esta clasificación, se generaron mapas de intensidad de daño. A cada categoría se le asignó un valor de 'peso' específico para reflejar la severidad del daño: 1 para leve, 2 para moderado, 3 para severo y 4 para daño permanente. El valor de cada categoría se multiplicó entonces por el número de eventos de heladas en cada nivel dentro del intervalo de tiempo seleccionado. La intensidad total para cada píxel se calculó sumando los valores de todas las categorías de heladas, resultando en una medida de intensidad global (OI) (Ec. 1).

$$OI = \sum_i^n n^{\circ} \text{ de eventos de heladas} \times \text{peso} \quad (1)$$

Antes de aplicar la metodología a toda la comunidad, se realizó un análisis de temperatura en la Comunidad Valenciana en el periodo de estudio. Posteriormente, siguiendo la Ec. 1, se generaron mapas de intensidad de daño para cada mes y año. El Test de Mann-Kendall se aplicó entonces para analizar la tendencia individual de cada mes durante todo el periodo de 2003 a 2024. También se generaron mapas de intensidad de daño para cada año. En este caso, considerando la estacionalidad de los datos, se utilizó el Test de Kendall Estacional para analizar las tendencias.

Se compararon los resultados con el mapa de distribución de áreas agrícolas de cítricos proporcionado por el "Centro de Descargas" del Centro Nacional de Información Geográfica de España, actualizado a 2022. También se analizó la relación entre el daño por heladas y la altura, comparando el mapa de heladas con el Modelo Digital de Elevaciones de la Comunidad Valenciana, también proporcionado por el "Centro de Descargas".

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Validación de LST

Los datos de LST obtenidos del satélite MSG fueron validados comparándolos con los valores de temperatura del aire registrados por la estación 'Villafranca' de AEMET para el año 2023, resultando en un R^2 de 0,91 y un RMSE de 1,5 (Fig. 1) para los datos nocturnos (de 00:00 a 06:00). Este resultado confirma la precisión y fiabilidad de los datos satelitales.

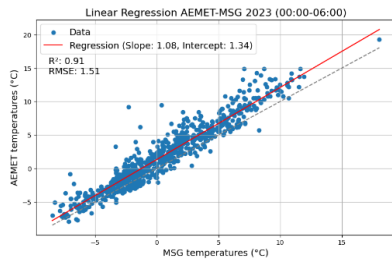


Figura 1. Correlación lineal entre los datos de LST y los datos de temperatura del aire de la estación meteorológica de Villafranca para las horas nocturnas.

3.2. Análisis de la LST en la Comunidad Valenciana

Una comparación de la LST mínima, media y máxima promedio entre las décadas 2004-2013 y 2014-2023 (Fig. 2) reveló que las temperaturas fueron consistentemente más altas en la última década en todos los casos. Este hallazgo es particularmente significativo en nuestro estudio, ya que el aumento de las temperaturas puede, en última instancia, conducir a una disminución de los eventos de heladas y a menores daños por heladas en la vegetación.

3.3. Aplicación de la metodología

Posteriormente, se generaron mapas de intensidad de daño para cada año y cada mes utilizando la metodología previamente descrita. Para identificar posibles tendencias, se realizó el test de Mann-Kendall en cada imagen mensual. Los meses que exhiben una tendencia descendente clara y consistente son marzo y diciembre. Enero, febrero y noviembre muestran una tendencia decreciente solo en ciertas áreas limitadas. No se observó tendencia en abril, lo cual concuerda con datos previos que indican la ausencia de daños significativos durante ese mes a lo largo del período de estudio.

El Test de Tendencia de Kendall Estacional se aplicó al conjunto completo de datos de intensidad de daños para observar la tendencia general a lo largo del tiempo (Fig. 3). Se reveló una tendencia general decreciente en los daños por heladas durante los últimos 20 años, con un descenso observado en el 36,21% de los casos con daños mínimos. En particular, se observa un descenso sustancial en las heladas clasificadas según este método como de "daño moderado" y una casi desaparición de aquellas de "daño intenso" o "daño permanente".

El mapa de intensidad de daño global (Fig. 4) muestra daños por heladas generalizados en la mayor parte de la región, excepto en la zona costera donde no se registraron daños durante el período de estudio. Notablemente, los niveles más altos de intensidad de daños se observaron en la parte noroeste del área de estudio. Al comparar este mapa con el mapa de áreas de cultivo de cítricos, se observó que las áreas de cítricos corresponden a áreas centrales y costeras donde no se detecta tendencia (Fig. 5).

Finalmente, para comprender mejor la relación entre la ocurrencia de heladas y su distribución espacial, se realizó una comparación entre el mapa de intensidad de daños global y la altitud. La regresión lineal obtenida

revela una correlación significativa ($p < 0,05$), con un valor R de 0,64, mostrando que las heladas más severas generalmente ocurren a mayores elevaciones.

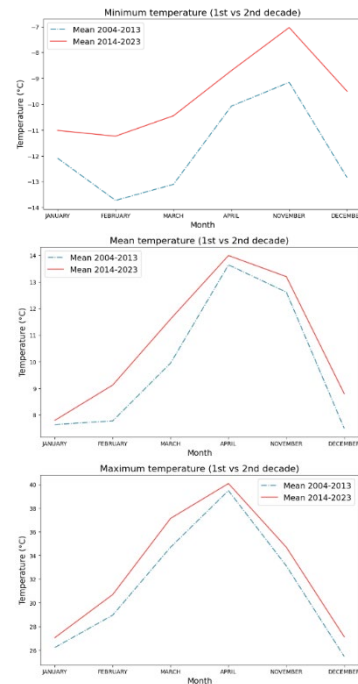


Figura 2. LST mínima, media y máxima promedio medida en la primera década (2004-2013) y las medidas en la segunda década (2014-2023) del período y área de estudio.

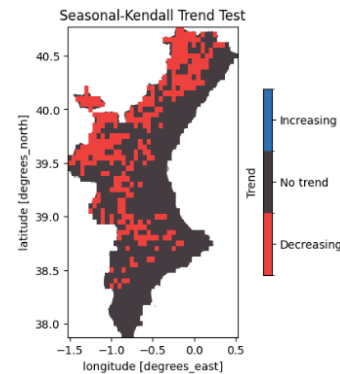


Figura 3. Mapa de resultados del Test de Tendencia de Kendall Estacional realizado sobre los datos de intensidad general de daños por heladas para el período de estudio.

4. CONCLUSIONES

Los datos de LST derivados de satélite, en este caso del MSG, demuestran ser una herramienta útil y fiable para el monitoreo de eventos de heladas.

En la Comunidad Valenciana, ha habido una disminución en la ocurrencia de heladas durante la última década, particularmente en lo que respecta a eventos de heladas intensas. Así, las áreas de cultivo de cítricos parecen estar cada vez menos expuestas al riesgo de heladas en el área de estudio, incluso en elevaciones más altas sobre el nivel del mar.

La metodología propuesta podría ser valiosa para futuros estudios en otras regiones, como en el desarrollo de mapas de riesgo, o para diferentes cultivos económicamente significativos propensos a daños por heladas, como las uvas de vino.

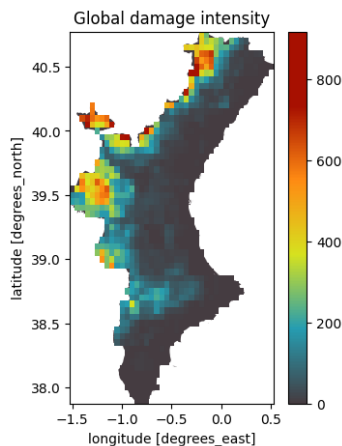


Figura 4. Distribución espacial de la intensidad de daño global en la Comunidad Valenciana para el periodo 2004-2023.

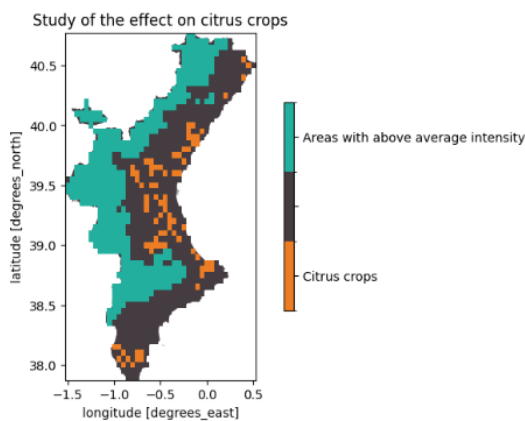


Figura 5. Mapa de superposición de áreas donde ocurren heladas de intensidad superior a la media y áreas cultivadas con cítricos en la Comunidad Valenciana.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Unión Europea y el Gobierno de la Comunidad Valenciana, que cofinanciaron el proyecto "Estimación de Indicadores Medioambientales en la Comunidad VALENCiana usando datos de SATélite (VALENSAT)", bajo el plan de financiación INVESTIGO 2022 (INVEST/2022/411). El Gobierno de la Comunidad Valenciana también financió el proyecto "Indicadores medioambientales y fenómenos adversos en la Comunidad Valenciana usando datos de satélite", bajo el plan de financiación PROMETEO 2023 (CIPROM/2023/42). Además, recibió financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación de España a través del proyecto PID2020-112494RBI00 IPL-LSTM.

6. REFERENCIAS

- Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2021). El futuro de los cítricos: Impacto del cambio climático en la citricultura. *Mètode Revista De Difusió De La Investigació*, 12. <https://doi.org/10.7203/metode.12.20319>
- Caselles, V., & Sobrino, J. (1989). Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 29(2), 135–146. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(89\)90022-9](https://doi.org/10.1016/0034-4257(89)90022-9)
- Conesa, N. A., Nicolás, N. J. M., Manera, N. F. J., & Porras, N. I. (2015). Frost damage in lemon orchards in the province of Murcia. *Acta Horticulturae*, 1065, 1417–1422. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2015.1065.179>
- FAO. (2021). CITRUS FRUIT FRESH AND PROCESSED: Statistical Bulletin 2020. Citrus Fruit Statistical Compendium 2020. Rome. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/4760a5b5-f3b2-41c7-8713-ccd1a5f8c08/content>
- Karamidehkordi, E., Sadati, S. a. H., Tajvar, Y., & Mirmousavi, S. H. (2023). Climate change vulnerability and resilience strategies for citrus farmers. *Environmental and Sustainability Indicators*, 20, 100317. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2023.100317>
- Li, W., Huang, J., Yang, L., Chen, Y., Fang, Y., Jin, H., Sun, H., & Huang, R. (2021). A practical remote sensing monitoring framework for late frost damage in wine grapes using Multi-Source satellite data. *Remote Sensing*, 13(16), 3231. <https://doi.org/10.3390/rs13163231>
- Maracchi, G., Sirotenko, O., & Bindi, M. (2005). Impacts of present and future climate variability on agriculture and forestry in the temperate regions: Europe. In *Springer eBooks* (pp. 117–135). https://doi.org/10.1007/1-4020-4166-7_6
- Micheloud, N. G., Castro, D. C., Favaro, M. A., Buyatti, M. A., Pilatti, R. A., & Gariglio, N. F. (2017). Respuesta de diferentes variedades de cítricos a los daños causados por fuertes heladas en la región central de Santa Fe. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*. <https://doaj.org/article/aaa8750eaa40427a9216fa72d225e70a>
- Wang, S., Chen, J., Rao, Y., Liu, L., Wang, W., & Dong, Q. (2020). Response of winter wheat to spring frost from a remote sensing perspective: Damage estimation and influential factors. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168, 221–235. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.08.014>
- Wang, S., Xie, W., & Yan, X. (2022). Effects of future climate change on citrus quality and yield in China. *Sustainability*, 14(15), 9366. <https://doi.org/10.3390/su14159366>
- Whiteman, T. M. (1957). Freezing points of fruits, vegetables and florist stocks /. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.62920>