

Evaluación de datos obtenidos del producto MERRA-2 (NASA) con estaciones meteorológicas de las provincias de Catamarca y La Rioja (Argentina) para estimar temperaturas en zonas nogaleras

José Salim Rosales¹, Ileana Bravo¹, Deborah Turraca¹, Mónica Bocco² y Silvina Sayago²

¹Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Catamarca. San Fernando del Valle de Catamarca, Argentina.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

Resumen. La temperatura, y otros factores, influye en el crecimiento de las plantas, determinando su productividad. El cultivo de nogal (*Juglans regia*) es sensible a las heladas tardías y requiere un mínimo de 1300 grados-días. La medición de la temperatura es sencilla, aunque la gran variabilidad espacial y temporal, no siempre permite disponer de registros continuos en sitios específicos. La teledetección es una herramienta importante para determinar el valor de la temperatura donde no existen mediciones in situ. El objetivo del presente trabajo, fue comparar las estimaciones de temperatura diaria provenientes del producto MERRA-2 con las provenientes de los registros en estaciones meteorológicas dentro del área productora de nogal y elaborar un modelo regional para estimar la temperatura a partir de los datos de MERRA-2. Se trabajó con registros diarios de temperatura en el período 01/2015-10/2019 en las estaciones de Catamarca, La Rioja y Chamental. Los resultados muestran que la temperatura proveniente de MERRA-2 reproduce adecuadamente a la registrada en superficie con coeficiente de determinación oscilando entre 0,76 y 0,94 y la RECM entre 1,72 y 4,23 °C considerando las tres estaciones y las temperaturas: máxima, mínima y media. Cuando se aplicaron los modelos regionales se obtuvieron R² entre 0,86 y 0,91 y RECM entre 1,44 y 2,97 °C.

Palabras clave: MERRA-2, modelo de temperatura, Catamarca, La Rioja, nogal.

1 Introducción

La temperatura, junto con otros factores como la humedad ambiente, la incidencia de la luz solar, el agua, los nutrientes, el suelo, etc., influye en el crecimiento de las plantas, y por ello determina la productividad.

El nogal (*Juglans regia*) es un árbol de gran tamaño, que puede sobrepasar los 25 a 30 m, de porte globoso que en nuestro país se cultiva, en su gran mayoría, en las provincias de Catamarca, Mendoza y La Rioja. Catamarca con 4.950 ha implantadas, es la primera provincia productora con 4460 toneladas [1].

Este cultivo es sensible a las heladas tempranas y tardías que podrían ocasionar daño o muerte de las flores, lo cual haría que no se produzca el fruto de la nuez [2]. La temperatura óptima de crecimiento se encuentra en el rango de 21 a 28 °C, con máximas de hasta 38 °C. Además, el desarrollo óptimo del cultivo requiere un mínimo de 1300 grados-días con base 10 °C [3], así como también considerar las horas-frío. Estas consideraciones hacen de la temperatura ambiente una variable importante a considerar para la producción nogalera y la necesidad de conocer el valor de ésta en el sitio de plantación.

Si bien la medición de la temperatura utilizando instrumentos de superficie es relativamente sencilla, la gran variabilidad espacial y temporal, no siempre permite disponer de registros continuos con mediciones directas calibradas en sitios específicos.

En los últimos años con los avances de la teledetección, los datos provenientes de satélites permiten estimar variables meteorológicas en grandes áreas proporcionando información con continuidad temporal y homogeneidad espacial [4]. Dentro de estos el producto MERRA-2 de NASA proporciona un registro homogéneo de la atmósfera global con una cuadrícula regular e incorpora aspectos adicionales del sistema climático [5]. El producto MERRA-2 contiene el conjunto de datos M2SDNXSLV v5.12.4, que proporciona temperatura a 2m de altura.

Estos datos de temperatura han sido utilizados por Cullather [6] para modelizar flujo de energía en glaciares. Santamaria-Artigas [7] utilizaron datos de temperatura de MERRA-2, entre otros, como input de un modelo de predicción de rendimiento de trigo en Estados Unidos y Ucrania.

El objetivo del presente trabajo, fue comparar las estimaciones de temperatura diaria provenientes del producto MERRA-2 con las provenientes de los registros del Servicio Meteorológico Nacional en estaciones dentro del área productora de nogal y elaborar un modelo regional para estimar la temperatura a partir de los datos de MERRA-2.

Por otra parte, evaluar la temperatura proveniente de este satélite completa la adecuación de datos de variables meteorológicas y los modelos de ajuste obtenidos para radiación solar [8], precipitación [9] y evapotranspiración [10] necesarios para la ejecución de modelos de simulación de cultivos.

2 Materiales y Métodos

2.1 Región de estudio y estaciones meteorológicas

Para la principal región nogalera argentina se consideraron en el presente trabajo datos provenientes de tres estaciones meteorológicas localizadas en Catamarca, La Rioja y de Chamental (Figura 1 y Tabla 1).

Se utilizaron en este trabajo datos de temperatura máxima, mínima y media diarias, provenientes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), (disponibles en meteomanz.com), correspondientes al período 01-2015 a 10-2019.

Tabla 1. Datos generales de las Estaciones Meteorológicas.

Localidad	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud	Temperatura mínima anual (°C)	Temperatura media anual (°C)	Temperatura máxima anual (°C)
Catamarca	464	-28° 36'	-65° 46'	14,4	20,9	27,7
La Rioja	429	-29° 23'	-66° 49'	13,8	20,2	27,3
Chamental	461	-30° 22'	-66° 17'	13,4	19,8	26,1

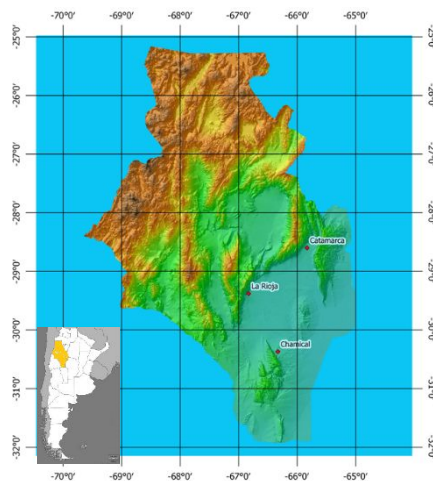


Fig. 1. Localización de las estaciones meteorológicas consideradas.

2.2 Producto MERRA-2

Los datos de temperatura del aire provenientes de MERRA-2 se obtuvieron de Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>) en archivos de valores separados por comas (*.csv). El conjunto de datos utilizado está formado por temperaturas máximas, mínimas y medias con una resolución temporal diaria y una espacial de 0,5° x 0,625° (latitud/longitud) tomadas a 2 metros de altura. Los valores de la variable se expresan en °C. MERRA-2 también ofrece una imagen .png para el período seleccionado

(Figura 2). Se utilizó el pixel correspondiente a cada una de las estaciones meteorológicas consideradas.

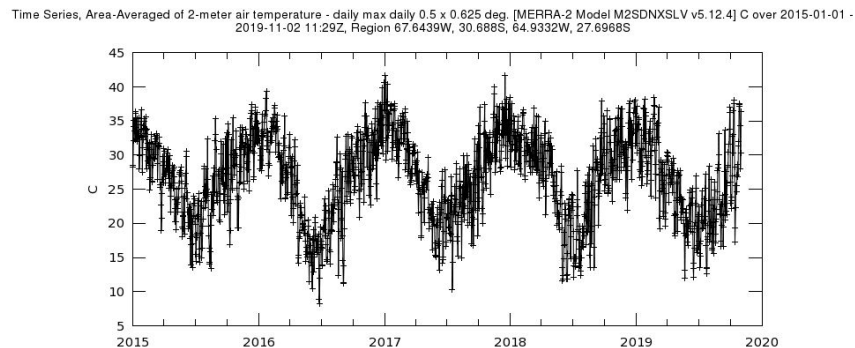


Fig. 2. Gráfico de temperaturas máximas en formato PNG de MERRA-2.

2.3 Estadísticos de validación

Para evaluar la adecuación de las temperaturas diarias obtenidas de MERRA-2 a las registradas, se calcularon los estadísticos el coeficiente de determinación (R^2) y la raíz del error cuadrático medio (RECM).

3 Resultados y discusión

El menor y mayor registro de las temperaturas máximas y mínimas para Catamarca, La Rioja y Chamental, así como el mes de ocurrencia de ellos en cada año considerado, se muestran en las Tablas 2, 3 y 4 respectivamente donde también se presentan los datos provenientes de MERRA-2 para su comparación.

En las tres tablas que siguen se observa que, siempre los menores registros anuales de temperatura mínima fueron sobreestimados por los provenientes de MERRA-2 y los mayores valores anuales de las temperaturas máximas y mínimas resultaron subestimados en todos los casos por el producto satelital.

Tabla 2. Valores extremos de temperaturas diarias máximas y mínimas registradas y de MERRA-2 para la estación correspondiente a la localidad de Catamarca por año. Entre paréntesis se indica el mes cuando se produjeron.

Año		Temp. Mínima		Temp. Máxima	
		Menor valor (°C)	Mayor valor (°C)	Menor valor (°C)	Mayor valor (°C)
2015	Registrada	-1,1 (jun)	28,4 (ene)	11,0 (ago)	40,8 (dic)
	MERRA-2	0,2 (jun)	22,2 (ene)	10,3 (ago)	37,2 (oct)
2016	Registrada	-1,2 (jun)	28,6 (feb)	8,5 (jun)	43,6 (dic)
	MERRA-2	-1,2 (sep)	22,9 (feb)	7,3 (jun)	39,9 (dic)
2017	Registrada	-5,3 (jul)	28 (ene)	8,8 (jul)	45,2 (nov)
	MERRA-2	-3,5 (jul)	23,5 (dic)	10,2 (jun)	41,1 (ene)
2018	Registrada	-5,1 (jul)	28,8 (dic)	8,6 (jun)	41,4 (dic)
	MERRA-2	-2,3 (jun)	23,8 (dic)	8,8 (jun)	38,7 (sep)
2019	Registrada	-2,7 (jun)	29,3 (ene)	10,8 (jun)	43,0 (ene)
	MERRA-2	-0,4 (jul)	23,2 (ene)	8,9 (may)	38,0 (oct)

Como puede observarse en la Tabla 2, en general los menores valores anuales de temperatura mínima, con excepción del año 2016, se dieron en los meses de junio y julio. En este último año, sorprende que el menor valor satelital de la temperatura mínima se alcance en un mes no invernal. Se observa que, para las temperaturas máximas anuales, en los años 2015, 2018 y 2019 los picos que registró MERRA-2 ocurrieron en meses no estivales. Como análisis final de la tabla podemos inferir que las temperaturas mínimas registradas y las provenientes de MERRA-2 no presentan diferencias significativas y en cambio éstas son notables en el caso de las temperaturas máximas.

Tabla 3. Valores extremos de temperaturas diarias máximas y mínimas registradas y de MERRA-2 para la estación correspondiente a la localidad de La Rioja por año. Entre paréntesis se indica el mes donde se produjeron.

Año		Temp. Mínima		Temp. Máxima	
		Menor valor (°C)	Mayor valor (°C)	Menor valor (°C)	Mayor valor (°C)
2015	Registrada	-1,0 (jul)	27,8 (ene)	9,9 (ago)	42,8 (ene)
	MERRA-2	1,0 (jun)	24,8 (ene)	11,2 (ago)	38,0 (dic)
2016	Registrada	-1,0 (jun)	28 (ene)	8,8 (jun)	45,5 (dic)
	MERRA-2	1,0 (sep)	25,7 (feb)	8,8 (jun)	41,8 (dic)
2017	Registrada	-5,2 (jul)	29,5 (ene)	10,8 (jul)	45,0 (ene)
	MERRA-2	-0,5 (jul)	26,6 (ene)	8,4 (jul)	42,1 (ene)
2018	Registrada	-3,0 (jun)	27,0 (dic)	7,7 (jul)	42,4 (dic)
	MERRA-2	-0,8 (jun)	25,6 (ene)	10,6 (jun)	40,2 (dic)
2019	Registrada	-1,7 (jun)	28,4 (feb)	9,8 (jul)	42,6 (ene)
	MERRA-2	0,8 (jun)	26,1 (ene)	11,6 (jun)	38,5 (feb)

Para la estación La Rioja, excepto para el año 2016, donde también el dato satelital registró el pico en septiembre, los menores registros de temperatura mínima ocurrieron en los meses de junio y julio (Tabla 3). Las diferencias entre las temperaturas de ambos registros no son considerables para el caso de las temperaturas mínimas (excepto junio de 2017) y para las temperaturas máximas se observaron dos años donde se presentan hasta 4°C de diferencia.

Tabla 4. Valores extremos de temperaturas diarias máximas y mínimas registradas y de MERRA-2 para la estación correspondiente a la localidad de Chamental por año. Entre paréntesis se indica el mes donde se produjeron.

Año		Temp. Mínima		Temp. Máxima	
		Menor valor (°C)	Mayor valor (°C)	Menor valor (°C)	Mayor valor (°C)
2015	Registrada	-2,5 (jul)	27,0 (ene)	10,8 (ago)	41,6 (ene)
	MERRA-2	0,1 (jul)	24,8 (dic)	12,4 (jun)	38,2 (ene)
2016	Registrada	-2,4 (sep)	26,5 (ene)	8,5 (jun)	43,4 (dic)
	MERRA-2	0,1 (jun)	24,7 (feb)	7,2 (jun)	41,3 (dic)
2017	Registrada	-8,3 (jul)	28,0 (ene)	10,5 (jul)	44,0 (ene)
	MERRA-2	-2,7 (jul)	25,3 (ene)	9,2 (jul)	43,3 (ene)
2018	Registrada	-4,0 (jul)	26,0 (dic)	6,4 (jul)	41,2 (dic)
	MERRA-2	-2,9 (jun)	25,0 (dic)	8,2 (jul)	39,9 (ene)
2019	Registrada	-2,1 (ago)	27,9 (ene)	10,0 (jul)	42,0 (ene)
	MERRA-2	-1,9 (jun)	26,1 (ene)	10,9 (jun)	39,5 (feb)

En Chamental, para el año 2016, el menor registro anual de la temperatura mínima se dio para el mes de septiembre mientras que los datos satelitales informaron el menor valor anual en junio

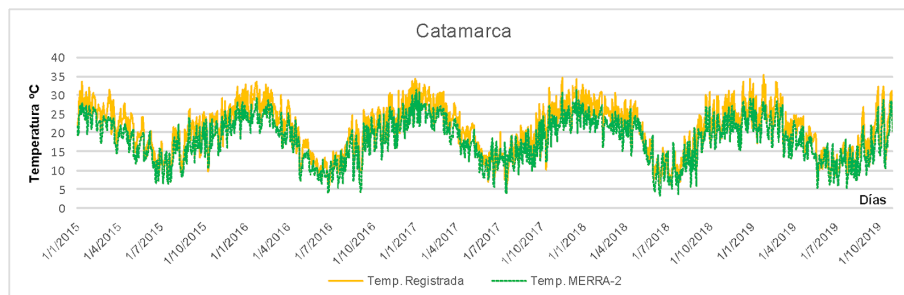
Para el caso de los registros máximos de las temperaturas mínimas, no se observó por parte de los datos provenientes de satélites un comportamiento uniforme para todas las estaciones.

La Tabla 5 muestra los estadísticos de ajuste entre las temperaturas máxima y mínima registradas y las provenientes de MERRA-2 para las tres localidades consideradas. Los valores del coeficiente de determinación indican una muy buena adecuación de los datos provenientes de satélite a los de superficie, siendo mejor para la temperatura máxima. La RECM nos asegura además que el mayor error podría ser de aproximadamente 3 °C siendo menor en Chamental y mayor en Catamarca.

Tabla 5. Estadísticos de validación para el ajuste entre las temperaturas máximas y mínimas diarias registradas y las provenientes de MERRA-2.

Localidad	Temp. Máximas		Temp. Mínimas	
	R ²	RECM (°C)	R ²	RECM (°C)
Catamarca	0,84	3,47	0,76	4,23
La Rioja	0,89	2,53	0,85	2,73
Chamental	0,90	2,33	0,89	2,32

Para el análisis de las temperaturas medias se presentan los gráficos de evolución temporal para las estaciones consideradas (Figura 3), correspondientes al período considerado, para ambas fuentes de datos.



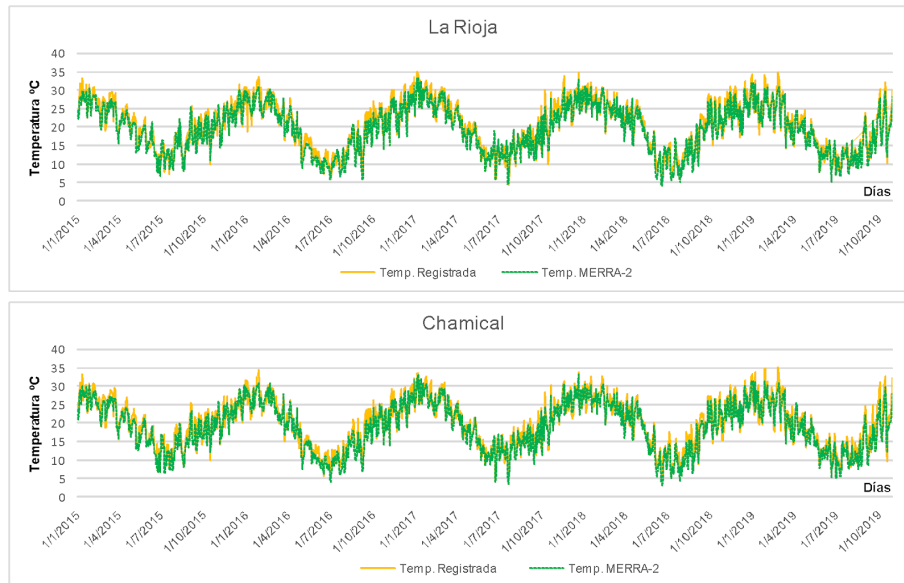


Fig. 3. Temperaturas medias registradas y provenientes de MERRA-2 para el período 2015-2019 y las estaciones consideradas

Se observa que los datos de MERRA-2 reproducen el mismo patrón que la temperatura media registrada, si bien en el caso de Catamarca verifican una marcada subestimación. Esto se confirma con el valor obtenido para RECM que duplica al de las otras localidades (Tabla 6). Sanatamaria-Artigas [7] obtuvieron para Estados Unidos y Ucrania, valores de R^2 de 0,98 para ambos países y RECM 1,73°C y 1,6°C para temperaturas medias diarias con datos de 1901 y 167 estaciones respectivamente.

Tabla 6. Estadísticos de validación para el ajuste entre la temperatura media registrada y la proveniente de MERRA-2.

Localidad	Temperaturas Medias	
	R^2	RECM (°C)
Catamarca	0,89	3,50
La Rioja	0,92	1,76
Chamental	0,94	1,72

Considerando los ajustes obtenidos se elaboraron modelos regionales de la forma $y = ax + b$, utilizando los registros de las tres localidades, que permitirán estimar las

temperaturas máxima, mínima y media para la zona nogalera considerada, a partir de los datos provenientes de MERRA-2. Se muestran los resultados en la Tabla 7.

Tabla 7. Coeficientes de los modelos lineales y estadísticos de ajuste

	<i>a</i>	<i>b</i>	R ²	RECM (°C)
Temperaturas máximas	0,99	0,98	0,86	2,69
Temperaturas mínimas	1,05	0,44	0,82	2,97
Temperaturas medias	0,98	1,78	0,91	1,44

a y *b* son la pendiente y la ordenada al origen de cada modelo.

Los resultados de la Tabla 7 permitirían, en el caso de no contar con datos registrados, estimar la temperatura con buena precisión sobre todo en el caso de las temperaturas medias.

En cuanto a temperaturas mínimas se observa el mayor valor de error RECM, lo cual indicaría, en algún año en particular, que este modelo estimaría errores que podrían afectar las decisiones con respecto al nogal. Si bien esta situación como se observó en las Tablas 2,3 y 4 de diferencias entre valores menores de temperatura mínima registradas y provenientes de MERRA-2 siempre conservaron igual signo negativo. En cuanto a la influencia de los errores en la estimación de la temperatura mínima como éstas se registran en el mes de junio, no afectará la producción nogalera ya que en esta fecha la planta no está en etapa de floración.

Conclusiones

Los resultados conseguidos en este trabajo muestran que la temperatura diaria proveniente de MERRA-2 permite estimar, de manera confiable, la temperatura de superficie en el área nogalera de las provincias de Catamarca y La Rioja en caso de no contar con registros.

A partir del muy buen ajuste de los datos para localidades de la región se puede obtener, mediante un modelo lineal, una estimación de la temperatura, que es extrapolable a la zona y válida muy bien los datos de Catamarca, La Rioja y Chamental.

Los valores de los ajustes obtenidos permiten utilizar los datos de temperatura provenientes de MERRA-2 en diversidad de aplicaciones, en particular en modelos de

simulación de cultivos, teniendo en cuenta además que los datos son de acceso gratuito.

Referencias

1. Iannamico, L. Cultivo de Nogal. Ediciones INTA. (2015).
2. Rodriguez, A. B., Benitez Piccini, J. E., y Muñoz, A. R. Tolerancia a las heladas por superenfriamiento en cultivares de nogal (*Juglans regia*) y almendro (*Prunus amygdalus*). RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias [online], 44(1), 101-110 (2018).
3. Villaseca, S. El Nogal, una especie exigente en suelo y clima. Tierra Adentro. Santiago, Chile. (2007).
4. Ovando, G., Sayago, S., and Bocco, M. Evaluating accuracy of DSSAT model for soybean yield estimation using satellite weather data. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 138, 208-217. (2018).
5. Bosilovich, M., and Cullather, R. The Climate Data Guide: NASA's MERRA2 Reanalysis. (2019).
6. Cullather, R. I., Nowicki, S. M., Zhao, B., and Suarez, M. J. Evaluation of the surface representation of the Greenland Ice Sheet in a general circulation model. Journal of Climate, 27(13), 4835-4856. (2014).
7. Santamaría-Artigas, A. E., Franch, B., Guillevic, P., Roger, J. C., Vermote, E. F., and Skakun, S. Evaluation of Near-Surface Air Temperature from Reanalysis Over the United States and Ukraine: Application to Winter Wheat Yield Forecasting. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 12(7), 2260-2269. (2019).
8. Ovando, G., Sayago, S., Salvagiotti, F., y Bocco, M. Estimación del rendimiento de soja con datos de radiación solar de CERES. En IX Congreso Argentino de AgroInformática (CAI 2017)-JAIIO 46-CLEI 43 (Córdoba, 2017).
9. Ovando, G., Sayago, S., Bellini Saibene, Y., y Bocco, M. Evaluación del desempeño de productos satelitales para estimar precipitación en Córdoba (Argentina). En X Congreso de AgroInformática (CAI)-JAIIO 47 (CABA, 2018).
10. Nolasco, M., Sayago, S., Ovando, G., Bellini Saibene, Y., Belmonte, M. L., y Bocco, M. Evaluación del desempeño de productos satelitales para estimar evapotranspiración en la región pampeana (Argentina). En XI Congreso de AgroInformática (CAI)-JAIIO 48 (Salta, 2019).