

INTRODUCCIÓN

La Europa Meridional es considerada como uno de los "hotspots" del cambio climático, al producirse sequías cada vez más severas (que pueden conducir a un aumento del riesgo de incendio, pérdida de biodiversidad, reducción de la producción agrícola, etc.); los cambios en el clima futuro de esta región apuntan a condiciones de mayor aridez y cambios en la frecuencia, duración, y / o magnitud de eventos extremos [1] [2] [3]. Para minimizar los riesgos asociados al cambio climático es crucial aplicar medidas de adaptación. La información proporcionada por los modelos climáticos, sin embargo, puede ser limitada en términos de escala espacial, ya que los estudios de impacto generalmente requieren información de alta resolución. Esta ficha informativa describe los resultados ajustados a las condiciones climáticas de "Moncalvo-La Cuesta". Se espera que esta información sea útil para que los propietarios evalúen qué aspectos de la finca podrían verse potencialmente afectados, y así tomar las medidas apropiadas.

El clima de "Moncalvo-La Cuesta" es identificado como Csa según la clasificación climática de Köppen-Geiger, caracterizado, por tanto, por temperaturas cálidas, con veranos calurosos y secos [4].

La radiación interceptada es un factor determinante para el desarrollo de los cultivos. El sur de Portugal, España e Italia tienen la mayor radiación solar de Europa, que puede alcanzar los 2200 kWh/m² por año [5] [6]. Sin embargo, hay que tener en cuenta que parámetros topográficos, como por ejemplo la pendiente y la altitud, conducen a una distribución irregular de la radiación solar global sobre la finca (ver figuras 1, 2, 3 y 4), que puede ser relevante para la planificación del uso del suelo.

TEMPERATURA

La temperatura media anual en la finca se sitúa alrededor de los 13°C, variando entre 5 y 23°C, en enero y en julio/agosto, respectivamente.

En las últimas décadas, las temperaturas medias anuales han seguido una tendencia positiva; por ejemplo, en el oeste de España, los registros de 1961 a 2006 muestran un aumento significativo de alrededor de 0.2°C por década [7].

En el futuro, las proyecciones

obtenidas por los modelos climáticos sugieren un aumento aún más acentuado. Comparado con el período de referencia (1976-2005), las anomalías proyectadas hasta 2075 para la temperatura media anual, varían entre +1.0 y +2.5°C, dependiendo del escenario y del período considerado (ver tabla en la próxima página).

En cuanto a la distribución mensual (figura 5), julio y agosto se mantendrán como los meses más cálidos, con temperaturas máximas de hasta 33°C; por otra parte, se espera que enero se mantenga como el mes más frío (con temperaturas mínimas de ~3°C).

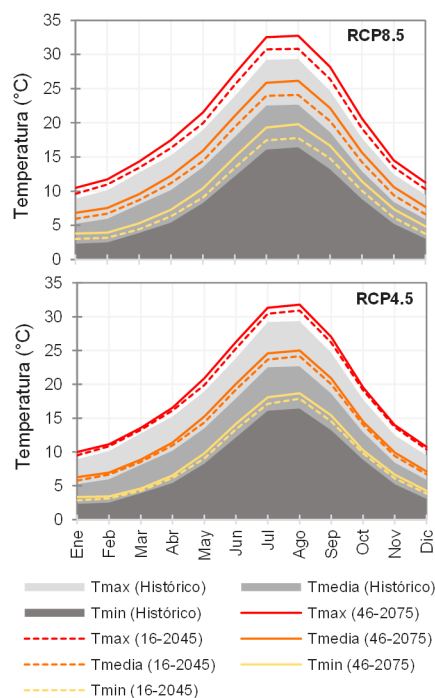


Figura 5 - Temperatura mensual: mínima, media y máxima. Proyecciones según los escenarios RCP4.5 y 8.5, para corto y largo plazo.

El estrés térmico por calor puede tener efectos particularmente nefastos cuando las altas temperaturas ocurren durante los períodos críticos de crecimiento de los cultivos. Una mayor atención se ha dedicado al análisis de eventos extremos; en España, algunos estudios, que consideran tendencias históricas y proyecciones futuras, muestran un aumento en los eventos extremos de temperatura [8] [9]. A escala de la finca, también es posible identificar algunas tendencias, como un aumento drástico del nº de días con temperaturas máximas extremas (Tmax > 35°C), se estima que de hasta +18 días.

LOCALIZACIÓN

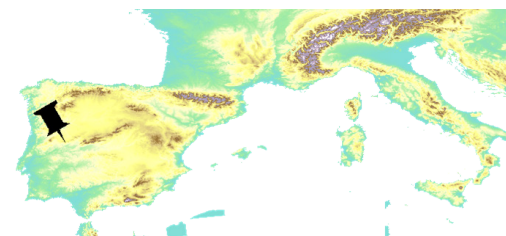


Figura 1 - Localización de "Moncalvo-La Cuesta".

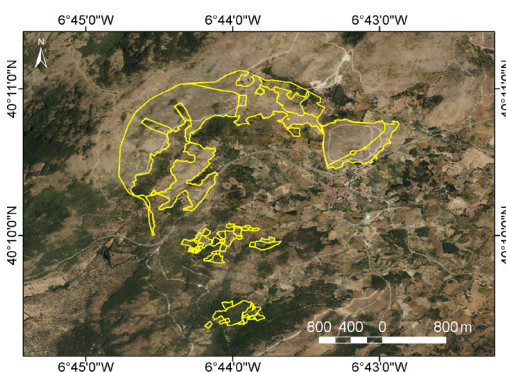


Figura 2 - Ortofotomapa.

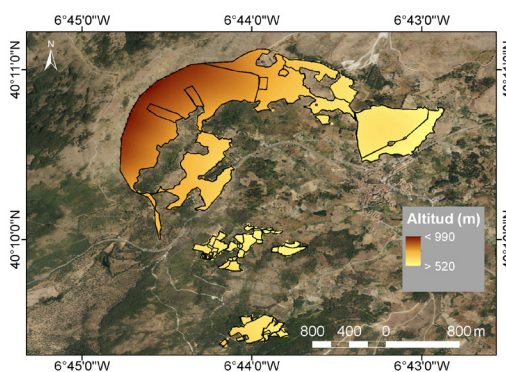


Figura 3 - Mapa orográfico.

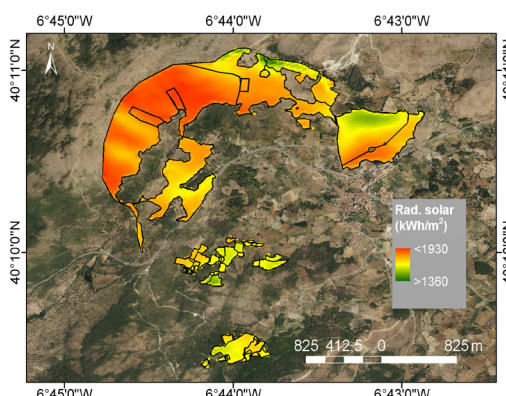


Figura 4 - Mapa de irradiancia global media anual.

PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Variables climáticas	Histórico (1976-2005)	Escenarios	Intervalo de tiempo	
			2016-2045	2046-2075
Temperatura media (°C)	12.7	RCP4.5	+1.0	+1.6
		RCP8.5	+1.1	+2.5
Temperatura máxima (°C)	17.8	RCP4.5	+1.1	+1.7
		RCP8.5	+1.2	+2.6
Temperatura mínima (°C)	8.2	RCP4.5	+0.9	+1.5
		RCP8.5	+1.0	+2.3
Nº de días con temperaturas máximas extremas (Tmax. >= 35°C)	5	RCP4.5	+5	+9
		RCP8.5	+6	+18
Evapotranspiración de referencia (mm/day)	3.0	RCP4.5	+0.0	+0.1
		RCP8.5	+0.0	+0.2
Precipitación total (mm)	1204	RCP4.5	-61	-59
		RCP8.5	-57	-117
Nº de días con precipitación (Pr > 1mm)	108	RCP4.5	-8	-9
		RCP8.5	-7	-14
Humedad relativa (%)	66	RCP4.5	-1	-2
		RCP8.5	-1	-3
Índice de aridez	1.13	RCP4.5	-0.09	-0.13
		RCP8.5	-0.10	-0.21

Anomalías

Tabla - Anomalías medias anuales calculadas sobre el período de referencia (1976-2005), para períodos de 30 años, a corto plazo (2016-2045) y a largo plazo (2046- 2075), según los escenarios RCP4.5 y 8.5.

💡 **Proyecciones climáticas** | Respuestas simuladas del sistema climático para escenarios futuros de emisiones o de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, generalmente obtenidos a partir de modelos climáticos [1].

💡 **Escenarios climáticos** | Representación plausible y simplificada del clima en el futuro, teniendo como base un conjunto internamente consistente de relaciones climatológicas. Estos se han desarrollado explícitamente para su uso en la investigación de las consecuencias del cambio climático antropogénico [1].

Este estudio utilizó dos *Representative Concentration Pathways* (RCPs) (trayectorias plausibles basadas en series temporales de emisiones

y concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles, gases químicamente activos, así como usos del suelo): RCP4.5 – trayectoria intermedia de estabilización en la cual la fuerza radiactiva se estabiliza aproximadamente en 4.5 W/m²; RCP8.5 – trayectoria de elevada fuerza radiactiva que alcanza valores superiores a 8.5 W/m² en 2100 y continúa aumentando durante un cierto período de tiempo [10].

💡 **Anomalías** | Diferencia entre el clima en el futuro (ej. 2046-2075) en comparación con un período de referencia, en este caso, 1976-2005.

💡 **Evapotranspiración de referencia** | Estima la tasa de evapotranspiración de un cultivo de referencia hipotético, un campo césped, de altura uniforme, cubriendo totalmente el suelo y bien

abastecido de agua. La formulación usada es la de FAO-56 Penman-Monteith, que es una función de la velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa, y temperatura [11] [12].

💡 **Índice de aridez** | Utilizado como indicador para identificar áreas susceptibles a la desertificación. Según la UNEP (1992), el índice de aridez se define como la razón entre la precipitación anual y la evapotranspiración potencial anual [13]; este último aquí considerado equivalente a la evapotranspiración de referencia.

El clima se clasifica como hiperárido (<0.03), árido (0.03-0.2), semiárido (0.2-0.5), subhúmedo seco (0.5-0.65), y húmedo (> 0.65).

PRECIPITACIÓN

La precipitación en el clima mediterráneo se caracteriza por una variabilidad intra-anual, con alrededor del 70 a 80% de la precipitación entre octubre y marzo [14] [15]. En la finca, la precipitación media anual es de aproximadamente 1200 mm (ver tabla en la página anterior), ocurriendo la mayoría en diciembre (~172 mm), y en menor cantidad en julio (~18 mm).

En las últimas décadas, una disminución de la precipitación media anual ha sido registrada en todo el país con excepción del norte [16]. En cuanto a las tendencias mensuales, varios estudios muestran un patrón común en la Península Ibérica: en primavera, especialmente en marzo, una disminución significativa de la precipitación es evidente [17] [18]; mientras que en octubre una tendencia positiva es observada, a pesar de ser menos marcada [19] [20].

Para el futuro, los modelos climáticos

también estiman una reducción en la precipitación anual. La reducción puede alcanzar cerca de 120 mm, y menos de 14 días de precipitación al año. Las anomalías negativas se estiman para la mayoría de los meses, aunque el descenso no será en la misma proporción (figura 6). Estos cambios en la distribución de la precipitación estacional tienden a amplificar los impactos negativos en la disponibilidad de agua, así como un aumento en la concentración de la precipitación en invierno (o sea, en el período más húmedo).

Las condiciones de mayor aridez se esperan a finales del siglo XXI en el sur de Europa [20] [21]. De acuerdo con los valores medios del índice de aridez a largo plazo, la finca se mantendrá bajo un clima húmedo (>0.65), aunque esta condición tenderá a intensificarse.

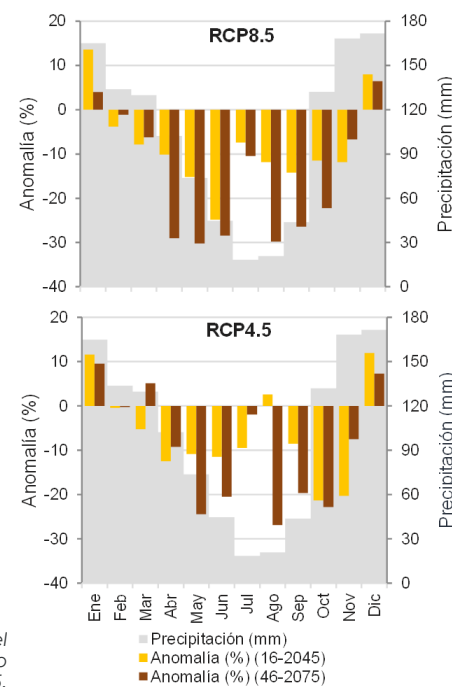


Figura 6 - Precipitación media mensual para el período histórico; Anomalías para corto y largo plazo, según los escenarios RCP4.5 y 8.5.

Esta ficha informativa sintetiza las posibles alteraciones en el clima de "Moncalvo-La Cuesta". Las proyecciones cubren el período temporal de 2016 a 2075, considerando, sin embargo, promedios de 30 años, para identificar el signo del cambio climático, y no la variabilidad natural del clima. Las anomalías se calculan con relación al período de referencia de 1976 a 2005.

La información se basa en las simulaciones actualmente disponibles de los Modelos Climáticos Regionales (RCMs) (a saber, CLMcom-CCLM4-8-17, CNRM-ALADIN53, SMHI-RCA4, DMI-HIRHAM5, KNMI-RACMO22E, IPSL-INERIS-WRF331F, MPI-CSC-REMO2009), que se utilizaron en el Quinto Informe de Evaluación (IE5) del IPCC. Estos RCMs fueron forzados por diferentes Modelos Climáticos Globales (GCMs) (concretamente, CNRM-CERFACS-CNRM-CM5, ICHEC-EC-EARTH, IPSL-IPSL-CM5A-MR, MPI-M-MPI-ESM-LR, NCC-NorESM1-M). Las proyecciones fueron obtenidas a partir de un *amplio ensemble* (doce combinaciones de RCM-GCM) integrando así una variedad de instituciones, parámetros, y sensibilidad climática. La resolución espacial de las simulaciones es de 0.11° x 0.11° (~12.5 km). Para más información sobre los modelos climáticos, por favor visite <http://www.cordex.org>.

En este estudio, cada RCM y escenario RCP es considerado igualmente probable, ya que no existe una forma clara e incontestable de evaluar su desempeño en un clima que aún no ha ocurrido.

El mapa de distribución de la irradiancia global media anual se creó utilizando la herramienta de análisis de la radiación solar integrada en el software ArcGIS 10.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IPCC, "Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, 2013.
- [2] IPCC, "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change." Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY, 2014.
- [3] N. S. Diffenbaugh and F. Giorgi, "Climate change hotspots in the CMIP5 global climate model ensemble," *Clim. Change*, vol. 114, pp. 813–822, 2012.
- [4] F. Rubel and M. Kottek, "Observed and projected climate shifts 1901–2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification," *Meteorol. Zeitschrift*, vol. 19, no. 2, pp. 135–141, 2010.
- [5] C. Perpiñá Castillo, F. Batista e Silva, and C. Laval, "An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28," *Energy Policy*, vol. 88, pp. 86–99, 2016.
- [6] S. Rodrigues, M. B. Coelho, and P. Cabral, "Suitability Analysis of Solar Photovoltaic farms: A Portuguese Case Study," *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 7, pp. 243–254, 2017.
- [7] S. del Río, L. Herrero, C. Pinto-Gomes, A. Penas, "Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961–2006," *Glob. Planet. Change*, vol. 78, pp. 65–75, 2011.
- [8] A. Merino, M. L. Martín, S. Fernández-González, J. L. Sánchez, and F. Valero, "Extreme maximum temperature events and their relationships with large-scale modes: potential hazard on the Iberian Peninsula," *Theor. Appl. Climatol.*, pp. 1–20, 2017.
- [9] M. Beniston, D. B. Stephenson, O. B. Christensen, C. A. T. Ferro, C. Frei, S. Goyette, K. Halsnaes, T. Holt, K. Jylhä, B. Koffi, J. Palutikof, R. Schöll, T. Semmler, K. Woth, "Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections," *Clim. Change*, vol. 81, pp. 71–95, 2007.
- [10] R. Moss, M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J. F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P. Runci, R. Stouffer, D. van Vuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J. P. van Ypersele, and M. Zurek, "Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts and Response Strategies," Technical Summary. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, p. 25, 2008.
- [11] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith, "Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements—FAO Irrigation and drainage." FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1998.
- [12] D. Guo, S. Westra, and H. R. Maier, "An R package for modelling actual, potential and reference evapotranspiration," *Environ. Model. Softw.*, vol. 78, pp. 216–224, 2016.
- [13] UNEP, "World Atlas of Desertification." Edward Arnold, p. 69, 1992.
- [14] E. Xoplaki, J. F. González-Rouco, J. Luterbacher, and H. Wanner, "Wet season Mediterranean precipitation variability: influence of large-scale dynamics and trends," *Clim. Dyn.*, vol. 23, pp. 63–78, 2004.
- [15] P. Zdruli, "Land resources of the Mediterranean: Status, pressures, trends and impacts on future regional development," *L. Degrad. Dev.*, vol. 25, no. 4, pp. 373–384, 2014.
- [16] M. J. Esteban-Parra, F. S. Rodrigo, Y. Castro-Diez, "Spatial and temporal patterns of precipitation in Spain for the period 1880–1992," *Int. J. Climatol.*, vol. 18, pp. 1557–1574, 1998.
- [17] A. Serrano, V. L. Mateos, J. A. García, "Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921–1995," *Phys. Chem. Earth*, vol. 24, pp. 85–90, 1999.
- [18] J. C. González-Hidalgo, M. Brunetti, M. De Luis, "Precipitation trends in Spanish Hydrological Divisions, 1946–2005," *Clim. Res.*, vol. 43, pp. 215–228, 2010.
- [19] G. Sumner, V. Homar, C. Ramis, "Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain," *Int. J. Climatol.*, vol. 21, pp. 219–247, 2001.
- [20] J. C. González-Hidalgo, M. Brunetti, M. de Luis, "A new tool for monthly precipitation analysis in Spain: MOPREDAS database (monthly precipitation trends December 1945–November 2005)," *Int. J. Climatol.*, vol. 31, pp. 715–731, 2011.
- [21] J. Huang, H. Yu, X. Guan, G. Wang, and R. Guo, "Accelerated dryland expansion under climate change," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 6, no. 2, pp. 166–171, 2016.
- [22] A. Dai, "Increasing drought under global warming in observations and models," *Nat. Clim. Chang.*, vol. 3, no. 1, pp. 52–58, 2013.