

POTENCIAL DE LA AGRIVOLTAICA PARA LA MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA APLICACIÓN A LA VITICULTURA

Natalie Hanrieder¹, Stefan Wilbert¹, Álvaro Fernández Solas¹, Anna Kujawa¹, Rabea Weil², Lucía Garstka³, Claudia Kammann³, Manfred Stoll³, Matthias Meier⁴, M. Carmen Alonso Garcia⁵, Luis Zarzalejo⁵, Isabel Oller Alberola⁶, Estefanía Sánchez Vizcaíno⁷

1 German Aerospace Center (DLR e.V.), Institute of Solar Research, Almería, Spain

2 German Aerospace Center (DLR e.V.), Institute of Networked Energy Systems, Oldenburg, Germany

3 Hochschule Geisenheim University, Geisenheim, Germany

4 Forschungszentrum Jülich, Jülich, Germany

5 CIEMAT, Madrid, Spain

6 CIEMAT Plataforma Solar de Almería, Tabernas, Spain

7 Cortijo El Cura Eco-Bodega, Laujar de Andarax, Spain.



The background of the slide is a photograph of a vineyard. On the left, there is a close-up of a bunch of dark blue grapes. To the right, there are large green grape leaves, some of which show signs of being eaten, with irregular holes and ragged edges. The background is slightly blurred, showing the structure of a greenhouse or covered walkway.

1. INTRODUCCIÓN DE LA PRESENTACIÓN

¿Por qué es importante la viticultura en Europa?

Tradicición

de miles de años en la gastronomía europea



Impacto económico

~45% de las zonas vitivinícolas mundiales se encuentran en la UE



Papel ambiental

3.2 millones de hectáreas de viñedos → configuran los paisajes rurales

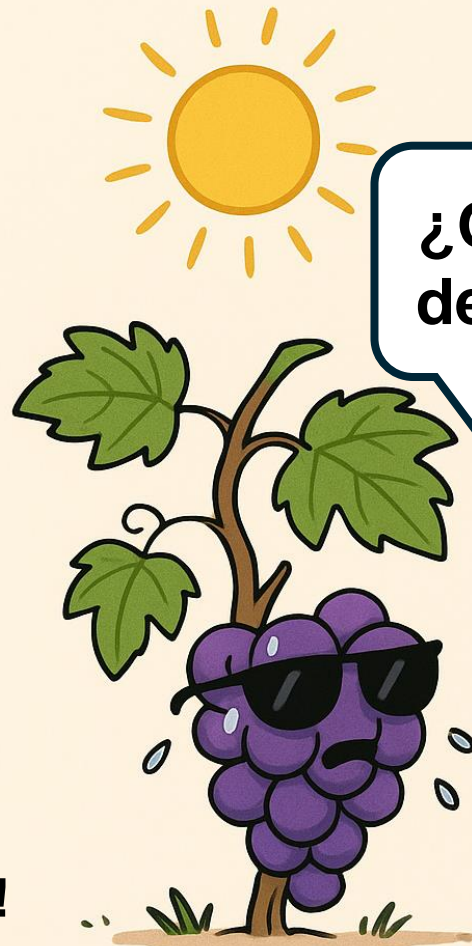


Desafío: cambio climático

Todxs tenemos diferentes maneras de afrontar los desafíos...

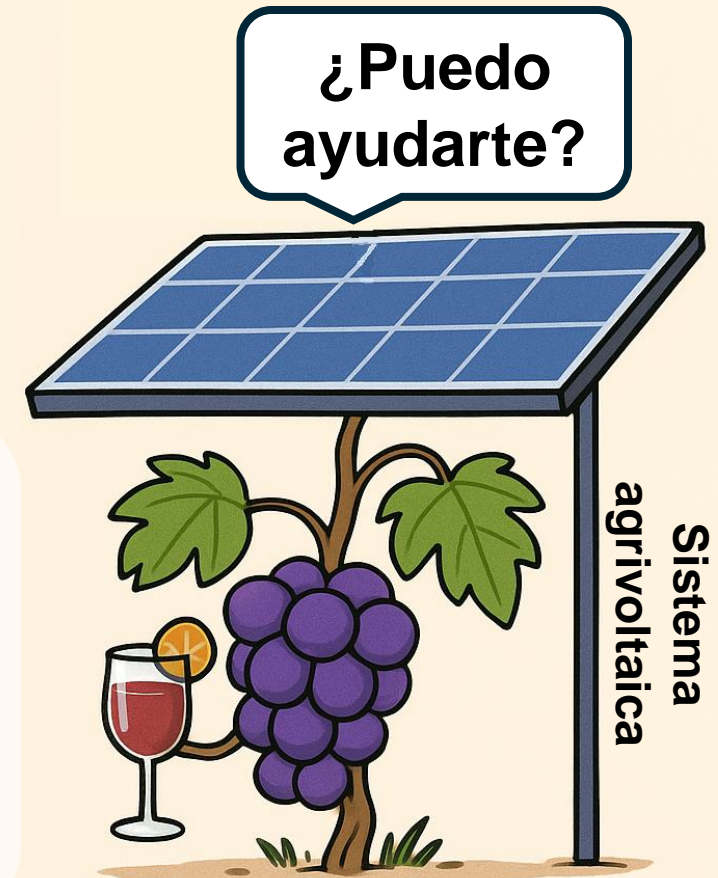


Los viñedos también → ¡son sensibles al cambio climático!



¿Otra ola de calor?

Pregunta de investigación:
¿Puede la agrivoltaica mitigar los impactos del cambio climático en la viticultura?



¿Puedo ayudarte?

Sistema
agrivoltaica

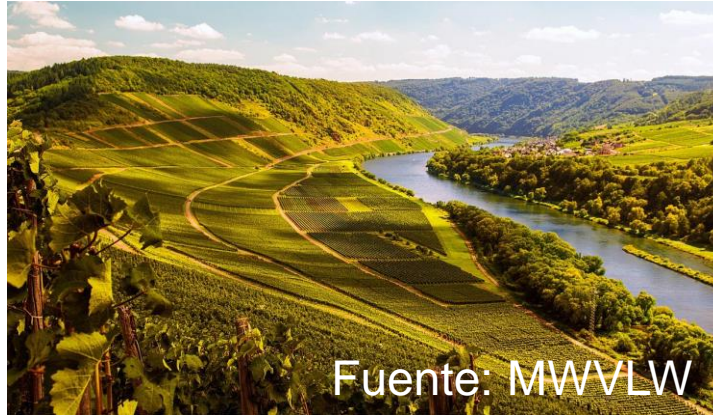
The background of the slide is a close-up photograph of a grapevine. A thick, gnarled, brown trunk of the vine runs diagonally from the bottom left towards the top center. Several clusters of dark, ripe grapes hang from the vine, some in the foreground and others further back. The leaves are green and have a characteristic lobed shape. The lighting is bright, suggesting an outdoor setting during the day.

2. CONDICIONES METEOROLÓGICAS DURANTE EL ÚLTIMO CICLO

Dos sitios ejemplares en Alemania y España

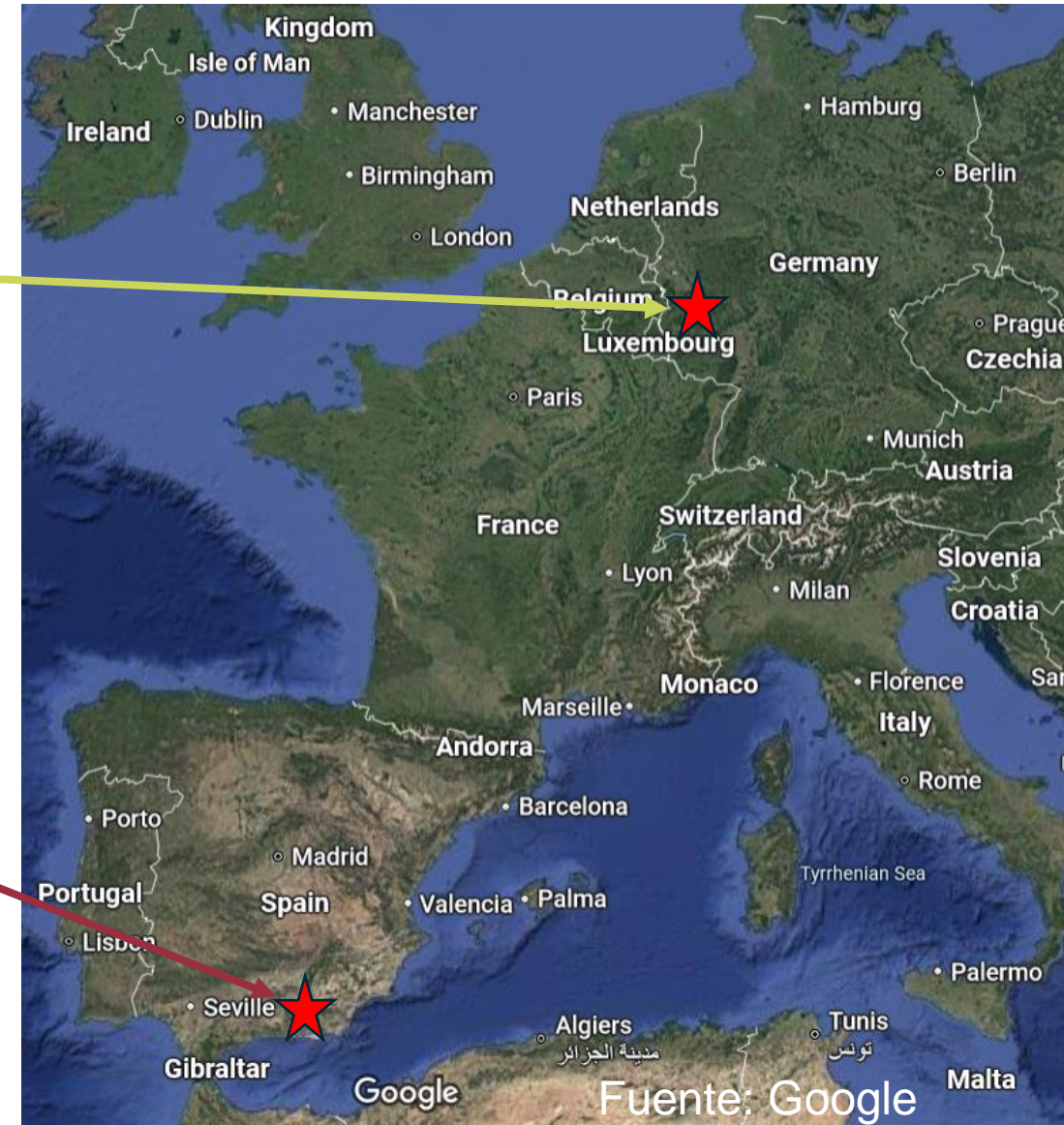
Hatzenport, Río Mosela, Alemania

Clima oceánico templado: inviernos suaves, veranos cálidos, precipitaciones distribuidas a lo largo de todo el año



Laujar, Andalucía, España

Clima mediterráneo de verano caluroso: inviernos suaves y húmedos; veranos calurosos y secos



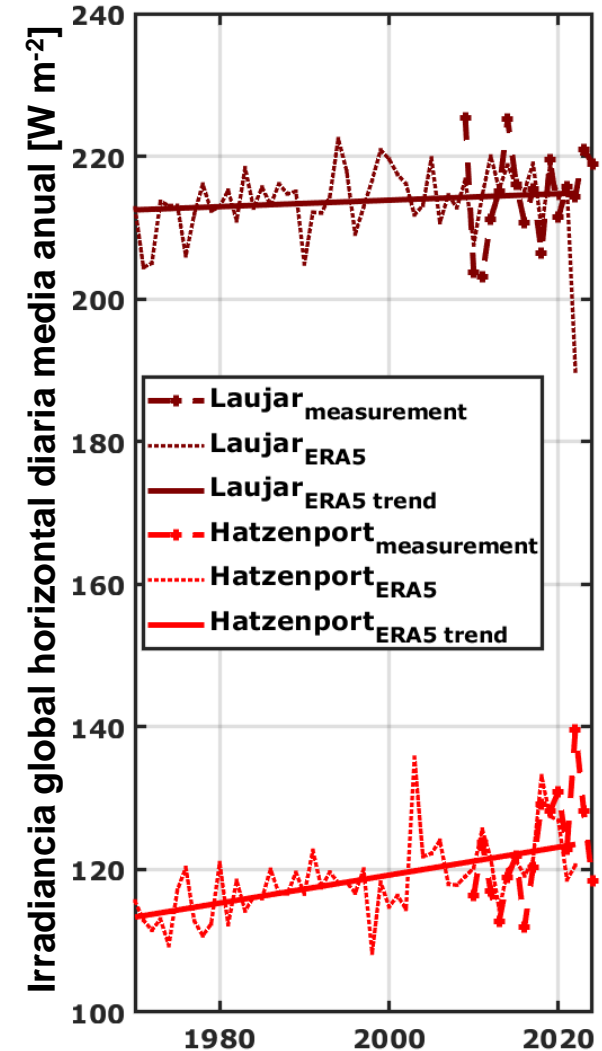
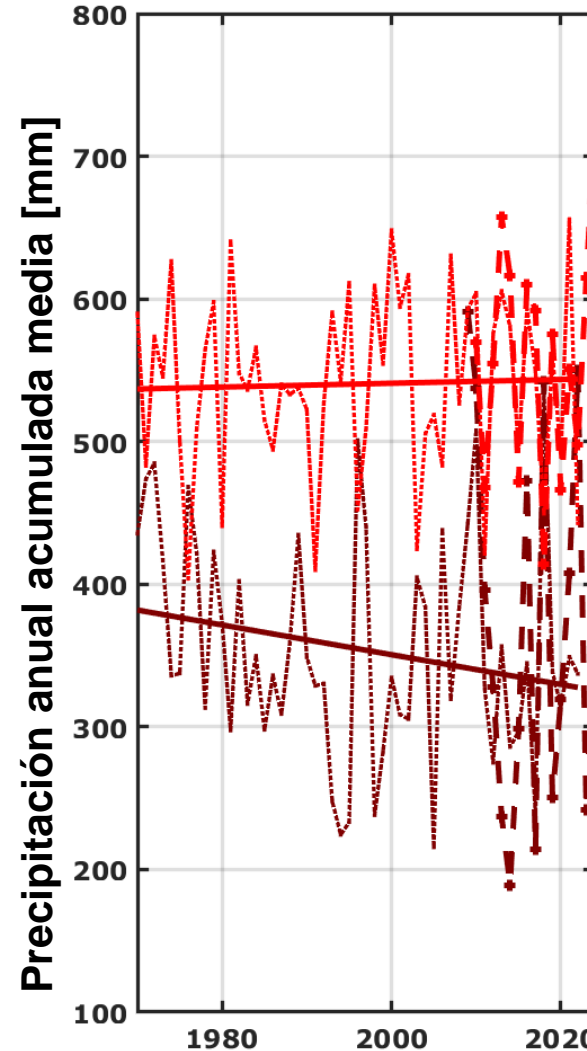
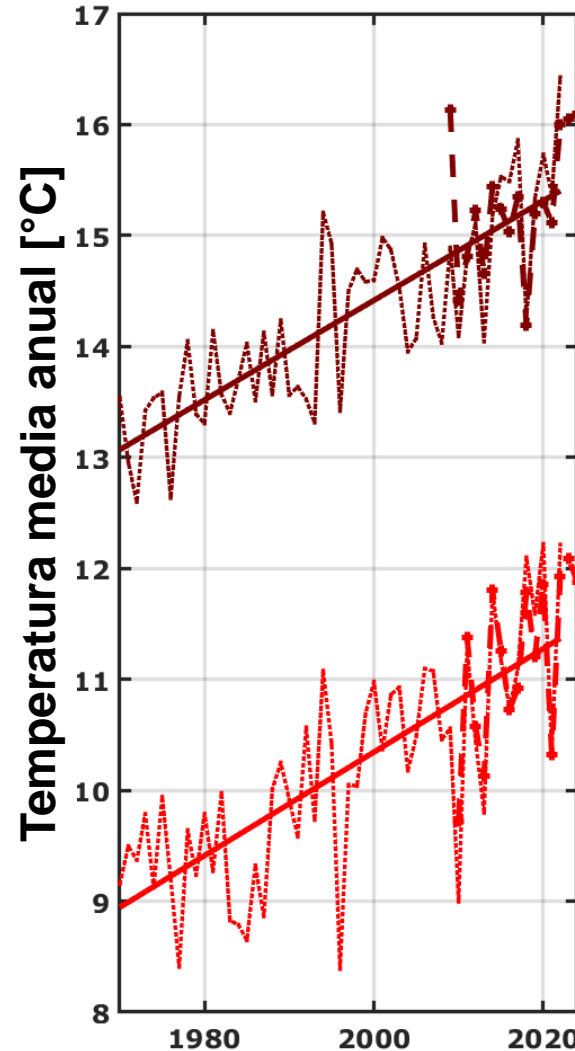
Datos históricos – ERA5 land



Análisis de ERA5 land re-analysis (1970-2024, ECMWF, resolución 9km)¹ y mediciones in situ (2009-2024)^{2,3}

- Aumento de la temperatura de ~2,5 °C desde 1970
- Incremento de la irradiancia horizontal global (GHI) menos pronunciado
- Laujar: disminución de las precipitaciones
- Hatzenport: ligero aumento de las precipitaciones
- Se observan fuertes fluctuaciones interanuales de precipitación

→ ¡El cambio climático ya es notable en ambos sitios desde 1970!



The background image shows a wide landscape of a vineyard. In the foreground, rows of grapevines are visible, some with bare, dormant branches and others with green leaves. The middle ground features a valley with a small cluster of white buildings and a utility pole. In the background, there are rolling hills and mountains under a sky filled with large, grey, dramatic clouds. A yellow banner is overlaid at the bottom of the image, containing the title text.

3. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO PASADO EN LA VITICULTURA

Datos históricos – Desarrollo de las etapas fenológicas

Análisis del desarrollo de las etapas fenológicas* del Riesling en Eltville, Alemania (~70km de Hatzenport)

Brotación



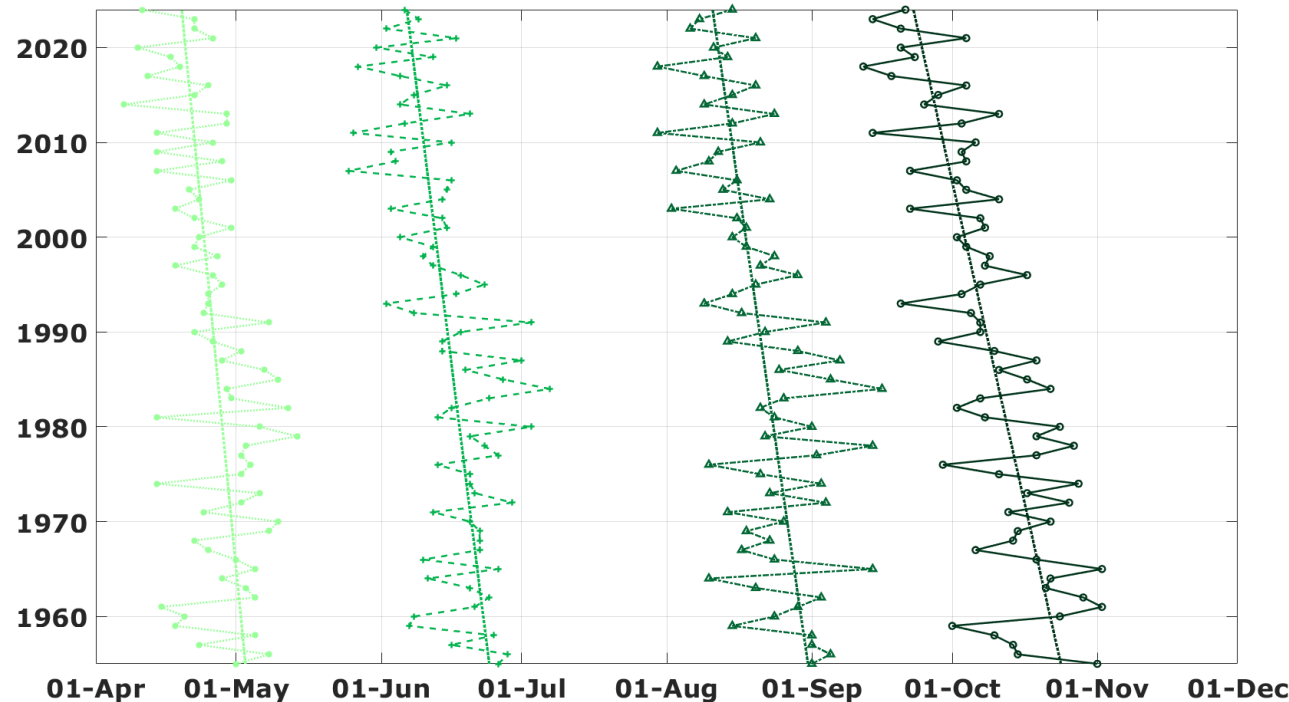
Floración



Envero



Cosecha



Etapa fenológica	Diferencia 1955-2024 [días]
Brotación	14
Floración	18
Envero	20
Cosecha	31
Duración de la temporada de crecimiento	17

- Cosecha durante épocas más cálidas del año
- Condiciones cálidas aceleran la propagación de enfermedades fúngicas
- Menos noches frías ponen en riesgo el desarrollo del aroma afrutado del Riesling

*: Datos proporcionados por la Universidad de Geisenheim

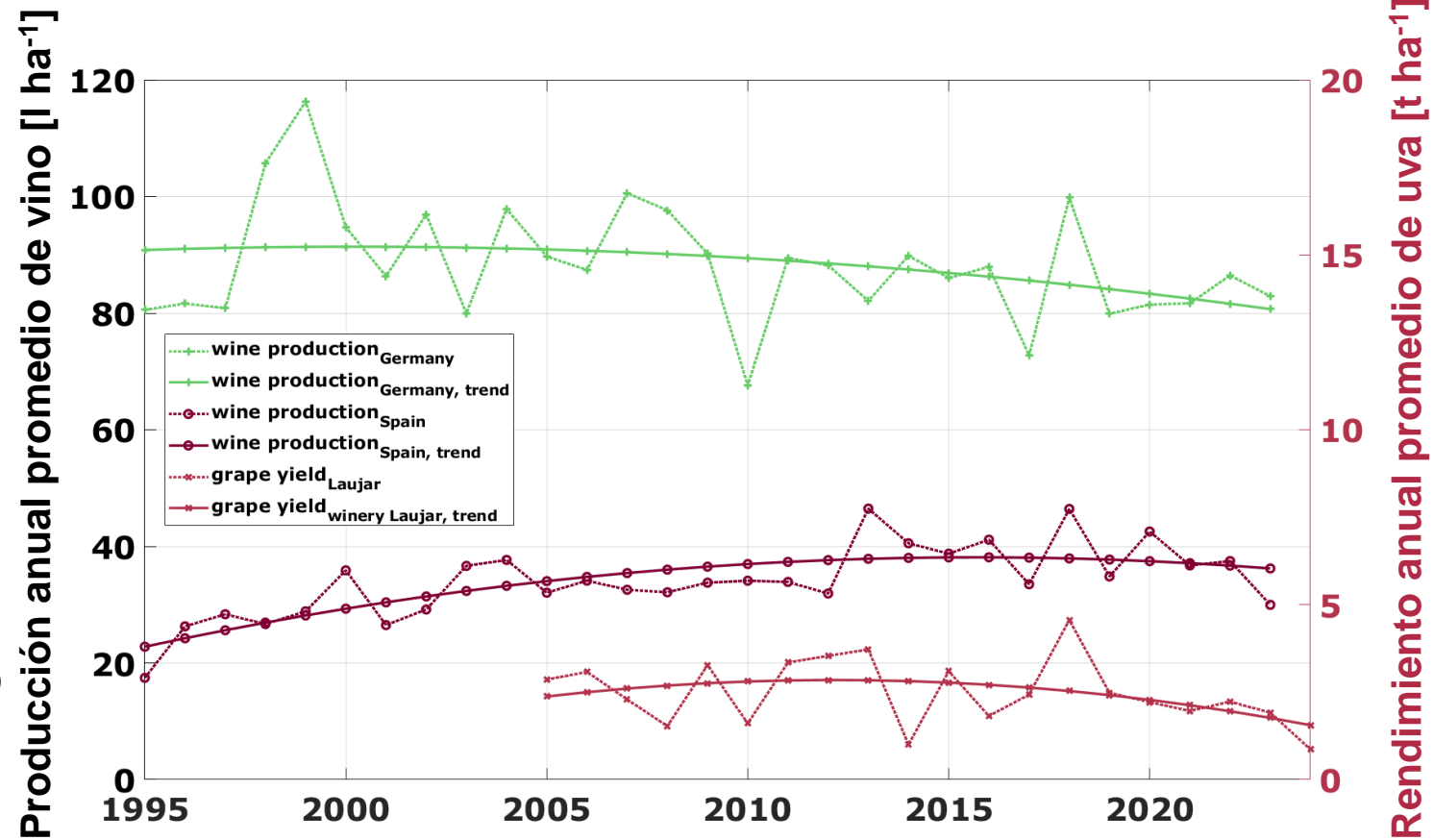
Datos históricos – Rendimiento de vino y uva



Análisis del vino producido (l/ha) en Alemania y España⁴

Y del rendimiento de uva (kg/ha) en el viñedo de Laujar (Cortijo el Cura)⁵ → media móvil de 5 años

- Ya se observan fluctuaciones anuales y tendencias a la baja en la producción de vino y en el rendimiento de uva por hectárea
- Posibles causas:
 1. Prácticas de gestión/agricultura, por ejemplo
 - Poda para mejorar la calidad → menores rendimientos/ha
 - Cambio en la filosofía de cultivo → más variedades de uva con rendimientos más bajos → adecuado para vinos de mayor calidad
 2. Condiciones climáticas: Temporadas de crecimiento más cortas, disponibilidad de agua etc.



Rendimiento anual promedio de uva [t ha⁻¹]

Producción anual promedio de vino [l ha⁻¹]

The background image shows a vineyard with rows of grapevines. In the foreground, a bunch of dark purple grapes is in sharp focus. In the background, a metal trellis system supports solar panels, suggesting a combined agricultural and energy production setup. The sky is clear and bright.

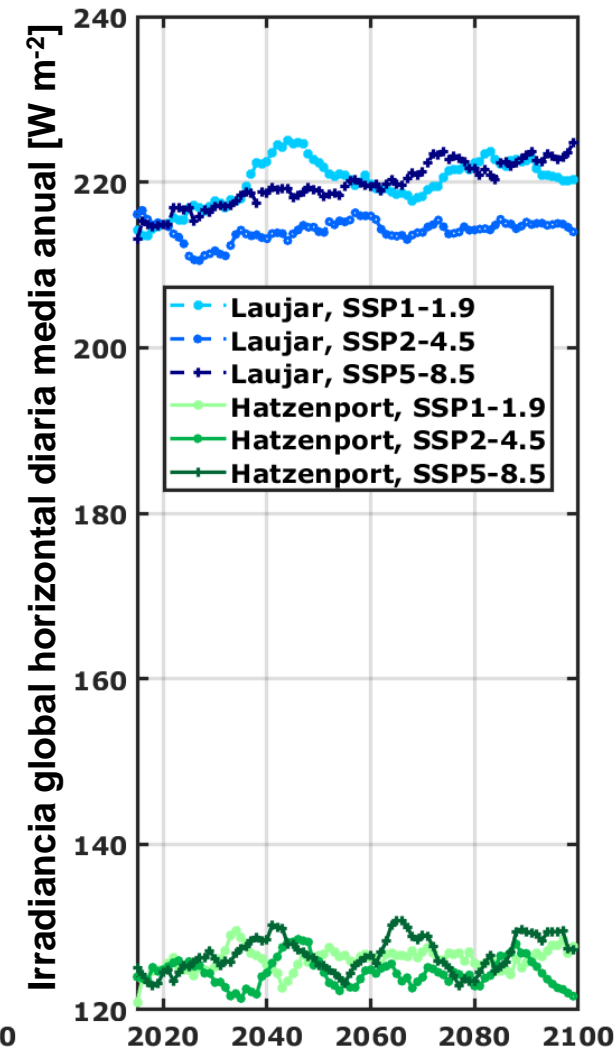
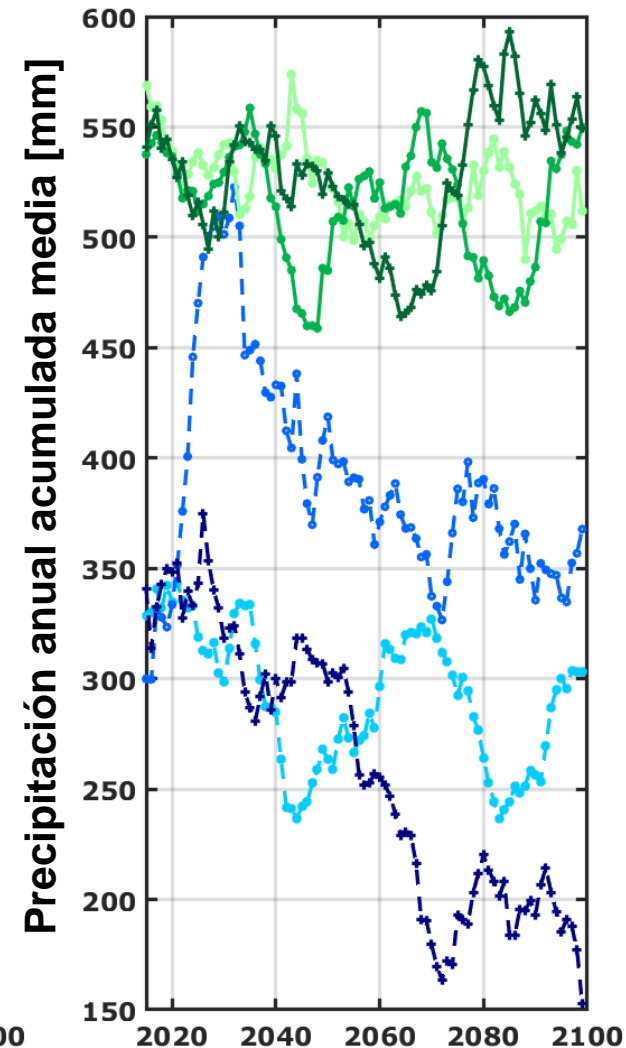
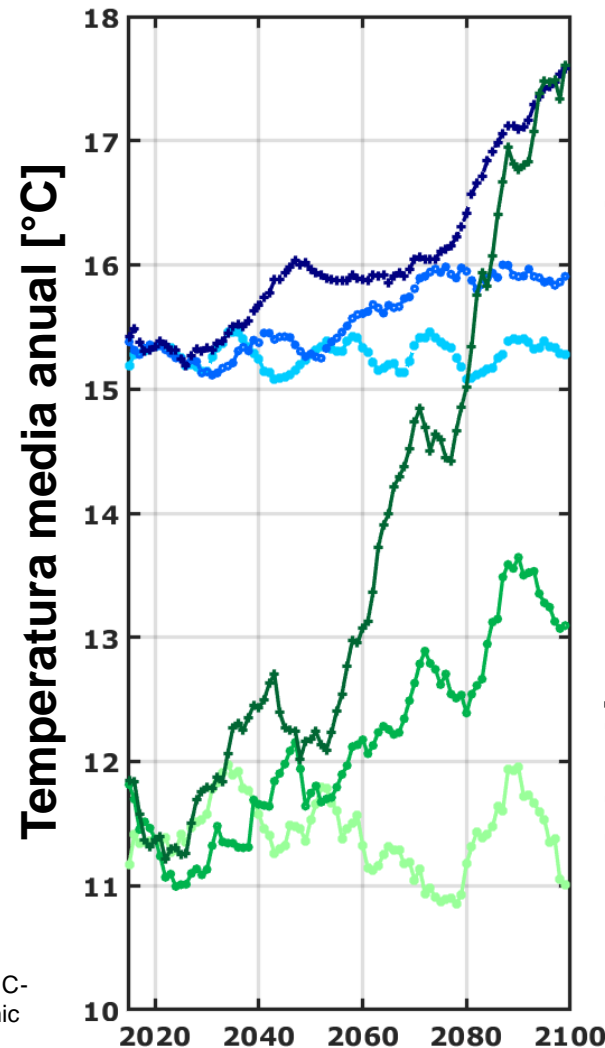
4. ESCENARIO DE CAMBIO CLIMÁTICO HASTA 2100

Futuro cambio climático – 3 escenarios hasta 2100



Análisis de los escenarios de proyección climática (forzamientos radiativos bajos, medios y altos: SSP1-1.9, SSP2-4.5, SSP5-8.5, 2015-2100) del modelo CMIP6 (EC-Earth3-Veg-LR model)*,10-13, media móvil de 10 años

- Niveles de GHI permanecen casi constante
- Hatzenport: niveles de precipitación se mantienen similares
- Laujar: disminución de precipitación para SSP1-1.9 y SSP5-8.5
- Ambos sitios: aumento continuo de temperatura hasta 2100
- Escenario SSP5-8.5: temperatura en Hatzenport se eleva hasta niveles similares a Laujar para 2100



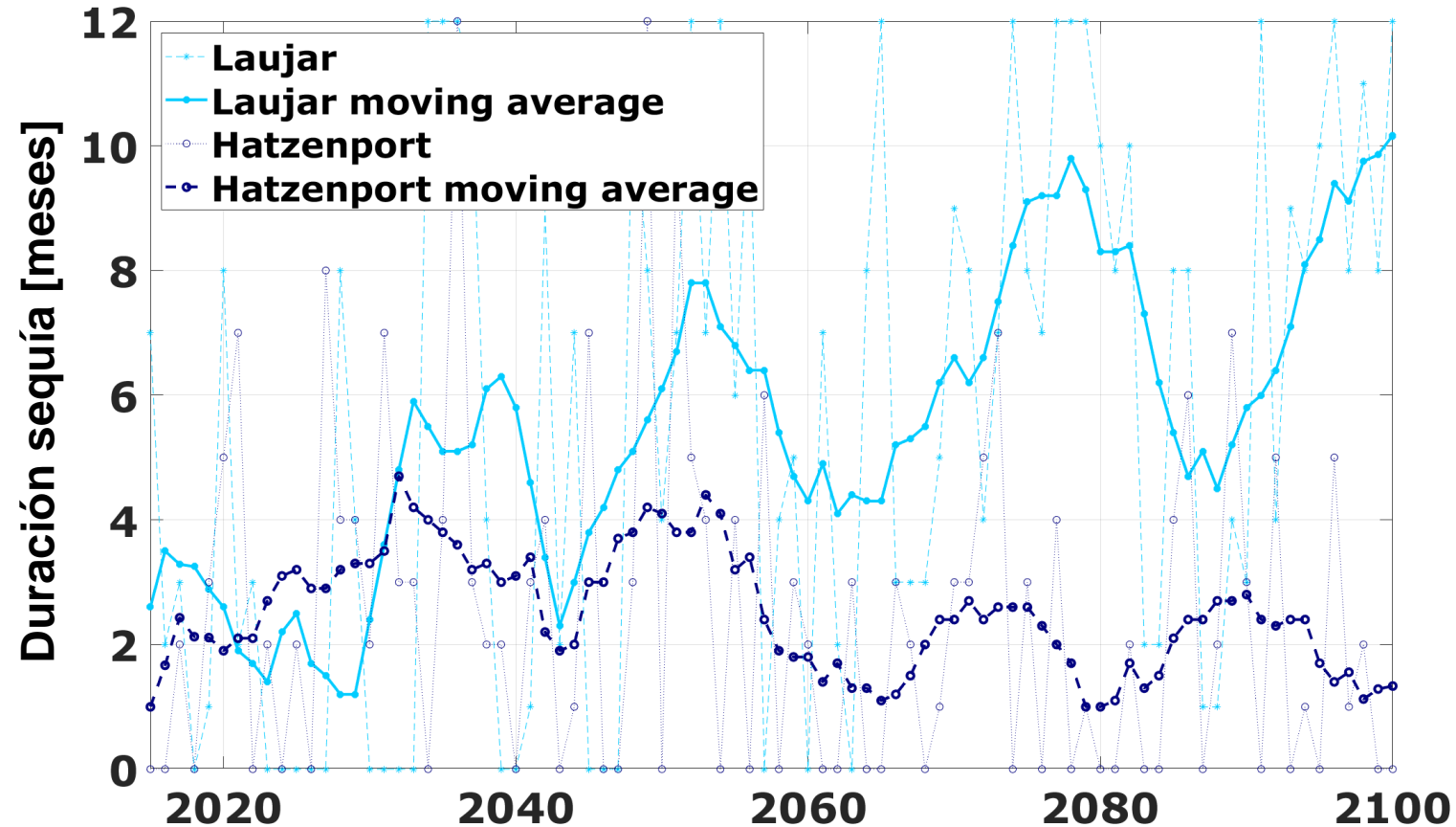
* CMIP6: 6.phase of Coupled Model Intercomparison Project; EC-Earth3-Veg-LR model: 250km resolution; Shared Socioeconomic Pathway (SSP): radiative forcing of 1.9, 4.5 and 8.5 Wm⁻²

Futuro cambio climático – Duración de la sequía



Análisis de la duración de las sequías para el escenario de alto forzamiento radiativo según el modelo EURO-CORDEX model¹⁵, medias móviles de 10 años

- Hatzenport: fuertes fluctuaciones, ligera disminución hasta 2100
- Laujar: Fuertes fluctuaciones, aumento de la duración de la sequía hasta 2100
- → El estrés hídrico se convertirá en el factor limitante clave para la viticultura en Laujar en el futuro¹⁷



* Precipitaciones anómalamente bajas en comparación con 1981-2010

The background of the slide is a photograph showing a hand holding a bunch of dark blue grapes in the foreground. In the background, there is a solar panel array with a white metal frame, suggesting a connection between agriculture and renewable energy. A yellow banner at the bottom contains the main title.

5. POTENCIAL DE APV PARA MITIGAR LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VITICULTURA

Qué parámetros son relevantes para el crecimiento de la vid:

- Microclima: temperatura ambiente, radiación, humedad relativa, precipitación, viento, etc.
- Pero también temperatura y humedad del suelo, calidad del suelo, disponibilidad de agua, etc.

El efecto de los sistemas APV sobre el microclima depende de:

- Flujo de aire por debajo de módulos y procesos de convección → altura y distancia de los módulos,...
- Niveles de radiación bajo los módulos → transparencia y densidad de los módulos fotovoltaicos
- Área cubierta por APV → efectos en los límites del sistema
- ...

Pregunta de investigación:

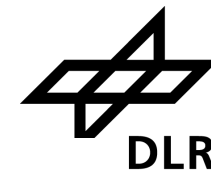
¿Puede la agrivoltaica mitigar los impactos del cambio climático en la viticultura?



→ Para esta presentación, nos centramos en uno de los diversos parámetros: el efecto de la temperatura en verano

(Spoiler: la temperatura bajo los módulos fotovoltaicos generalmente disminuye en verano)

Potencial de APV para mitigar los efectos del cambio climático en la viticultura



Varias instalaciones pioneras de APV en viñedos ya están instaladas en Europa



Fuente: HS Geisenheim

Pregunta de investigación:
¿Puede la agrivoltaica mitigar los impactos del cambio climático en la viticultura?



Fuente: Svolta



Fuente:



Caviro

Pero:

1. Los diseños de APV son muy diferentes
2. Los datos de microclima no siempre se miden o se comparten

(pero analizamos algunos de ellos)



Fuente:



larwine

Potencial de APV para mitigar los efectos del cambio climático en la viticultura



Calculado para el escenario de alto forzamiento radiativo (SSP5-8.5) temperatura media de mayo a julio para 3 períodos: años 2030, años 2060, años 2090

→ Se deriva el incremento proyectado de temperatura en verano ΔT respecto al año de referencia 2024

Hatzenport (Alemania)

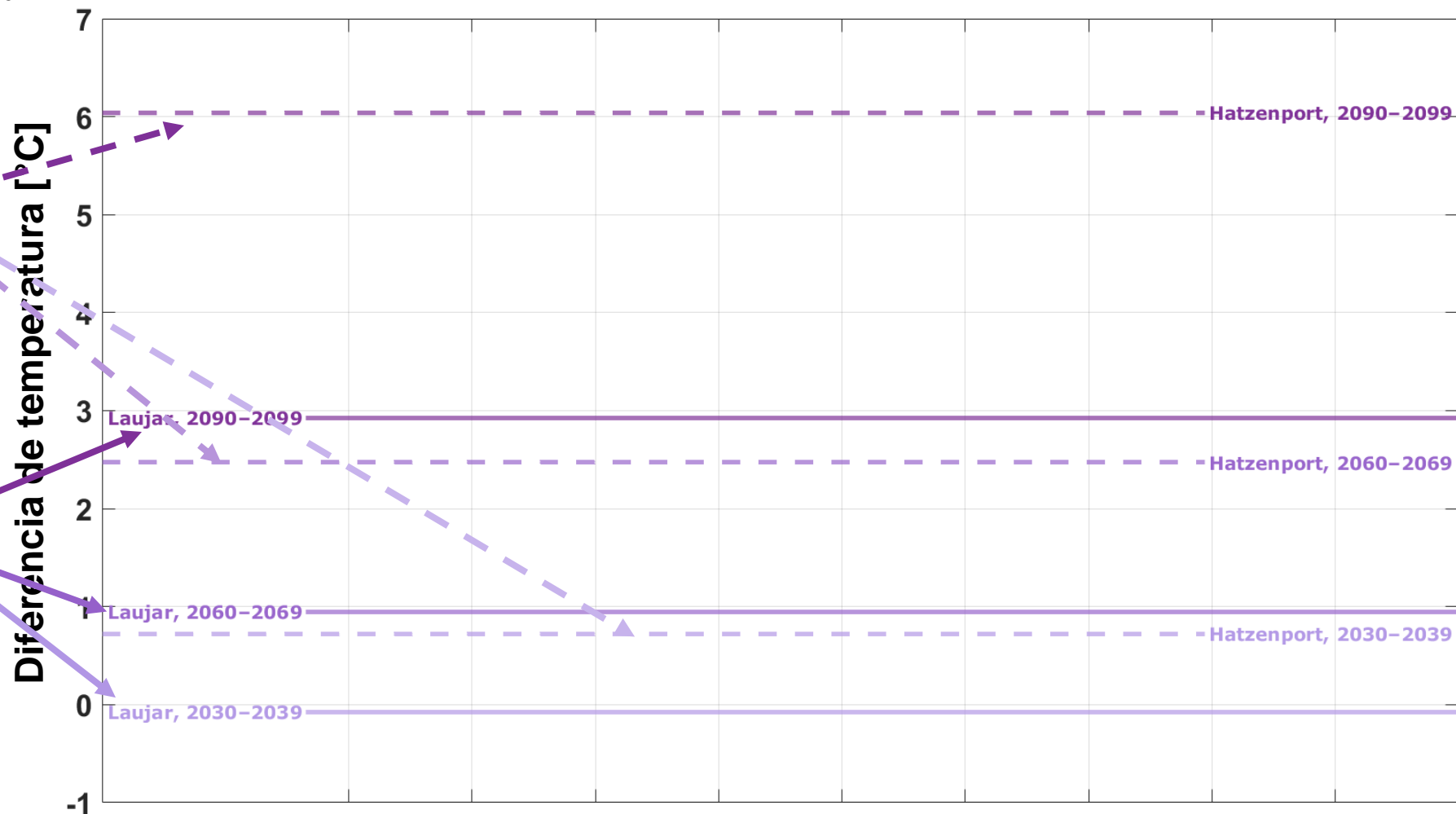
ΔT : +0.72°C, +2.47°C, +6.04°C

→ calentamiento fuerte

Laujar (España)

ΔT : -0.08°C, +0.95°C, +2.92°C

→ calentamiento moderado



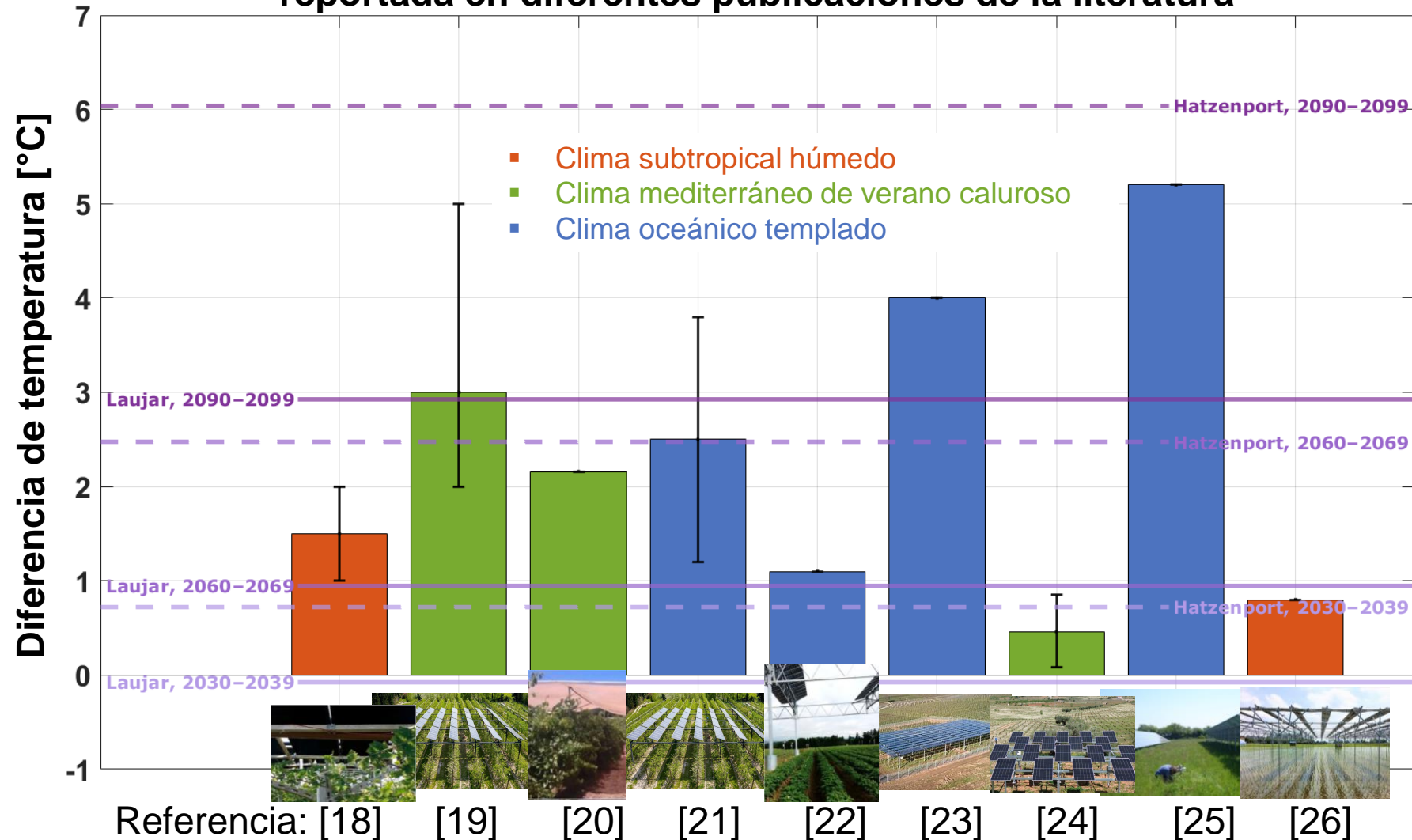
Potencial de APV para mitigar los efectos del cambio climático en la viticultura

Fuentes de datos no estandarizadas en la literatura:
→ Gran variedad de diseños de APV
→ Los índices de reducción de temperatura no son los mismos en los distintos estudios → no son directamente comparables (temperaturas máximas diarias durante el verano, temperaturas ambientales generales, temperaturas diarias >35 °C, temperatura media diaria del aire, temperaturas ± 2 °C alrededor del mediodía solar,...)

Laujar: algunos estudios sugieren que APV podrían compensar el aumento proyectado de temperatura

Hatzenport: es poco probable que los sistemas APV compensen completamente el aumento proyectado de temperatura hasta finales de siglo

Reducción de temperatura bajo los sistemas APV durante el verano reportada en diferentes publicaciones de la literatura



6. CONCLUSIONES CLAVES

Conclusiones claves

- El cambio climático ya afecta a la viticultura y sus efectos serán aún más fuertes en el futuro
- La gestión de la temperatura y del agua en los viñedos será cada vez más importante
- ¿APV como solución?
 - Los sistemas APV pueden ayudar a manejar el estrés térmico y las sequías (España) y las lluvias intensas (Alemania)
 - Los sistemas APV podrían cubrir parcialmente las estrategias de mitigación necesarias que deben implementarse en la agricultura
- Però: el potencial de mitigación de APV varía según el sitio, el diseño y la variedad de uva → las generalizaciones son limitadas debido a la escasez de datos
- Aun así, APV pueden crear microclimas favorables y proteger las vides de los extremos, especialmente en regiones cálidas y secas

Lagunas de investigación

Faltan estudios sistemáticos a largo plazo con bases de datos estandarizadas y comparables sobre factores de cultivo, microclima y eficiencia en el uso del agua

→ **Clave para establecer APV como estrategia sostenible de adaptación al cambio climático**



¡Muchas gracias por su atención!

Para preguntas, comentarios o recomendaciones de vino, por favor póngase en contacto conmigo:

Natalie.Hanrieder@dlr.de



LinkedIn



Dr. rer. nat. Natalie Hanrieder

Scientific Researcher at German Aerospace Center (DLR) - Agrivoltaics, Solar Energy Mete..

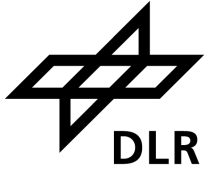


Referencias



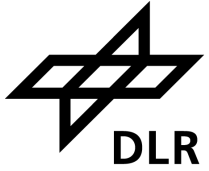
- [1] Muñoz-Sabater J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., , et al, „ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications“, Earth Syst. Sci. Data, 13, 4349–4383, 2021. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>.
- [2] Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural, Junta de Andalucía, “Red de Estaciones Agrometeorológicas de Andalucía”, <https://ws142.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/fit/clima/info.estacion.do?id=81>
- [3] Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz and Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum Mosel, <https://www.wetter.rlp.de/>, accessed Jan 23, 2025
- [4] Cortijo el Cura, Laujar (Spain), <https://cortijoelcura.com/>
- [5] International Organization of Vine and Wine, Intergovernmental Organization, <https://www.oiv.int/>, accessed Jan 23, 2025
- [6] Urhausen S., Brienens S., Kapala A., Simmer C., 2011, “Climate conditions and their impact on viticulture in the Upper Moselle region”, Climatic Change (2011) 109:349–373, <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0059-z>
- [7] Irimia, L.M.; Patriche, C.V., Petitjean, T., Tissot, C., Santesteban, L.G., Neethling, E., Foss, C., et al., 2024, “Structural and Spatial Shifts in the Viticulture Potential of Main European Wine Regions as an Effect of Climate Change.”, Horticulturae, 10, 413, <https://doi.org/10.3390/horticulturae10040413>
- [8] van Leeuwen, C., Sgubin, G., Bois, B., Ollat, N., Swingedouw, D., Zito, S., et al., 2024, „Climate change impacts and adaptations of wine production“, Nat. Rev. Earth Environ. 5, 258–275. <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00521-5>
- [9] Schultz H.R, 2022, „Water in a warmer world – is atmospheric evaporative demand changing in viticultural areas?“, BIO Web of Conferences 12, 01011 (2019), 41st World Congress of Vine and Wine, <https://doi.org/10.1051/bioconf/20191201011>
- [10] Eyring V., Bony S., Meehl G.A., Senior C.A., Stevens B., Stouffer B.J., Taylor K.E., “Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization”, Geosci. Model Dev., 9, 1937–1958, <https://gmd.copernicus.org/articles/9/1937/2016/>
- [11] Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store, (2021): CMIP6 climate projections. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). <https://doi.org/10.24381/cds.c866074c>, accessed on 23-Jan-2025
- [12] Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS), (2024): Climate indicators for Europe from 1940 to 2100 derived from reanalysis and climate projections, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), accessed on accessed Jan 23, 2025

References



- [13] Crespi A., Terzi S., Cocuccioni S., Zebisch M., Berckmans J., Füssel H.-M., 2020, “Climate-related hazard indices for Europe”. European Topic Centre on Climate Change impacts, Vulnerability and Adaptation (ETC/CCA) Technical Paper2020/1, https://doi.org/10.25424/cmcc/climate_related_hazard_indices_europe_2020; Chosen dataset model configuration: MPI-ESM-LR (MPI, Germany), regional model CSCREMO2009 (MPI, Germany), RCP4.5, RCP8.5, ensemble member r1i1p1, hydrological model E_HYPE, gridded
- [14] Beck, H.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N. et al. High-resolution (1 km) Köppen-Geiger maps for 1901–2099 based on constrained CMIP6 projections. *Sci Data* 10, 724 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02549-6> and <https://koppen.earth/>
- [15] Copernicus Climate Change Service (C3S), Climate Data Store (CDS), (2024): Climate indicators for Europe from 1940 to 2100 derived from reanalysis and climate projections, Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS), accessed on accessed Jan 23, 2025
- [17] Fraga, H., Santos J.A., 2017, “Daily prediction of seasonal grapevine production in the Douro wine region based on favourable meteorological conditions”, *J. Grape Wine R.* 2017, 23, 296–304.
- [18] Ferrara G., Boselli M., Palasciano M., Mazzeo A., “Effect of shading determined by photovoltaic panels installed above the vines on the performance of cv. Corvina (*Vitis vinifera* L.)”, *Scientia Horticulturae* 308 (2023) 111595, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111595>
- [19] SunAgri, 2025a, <https://sunagri.fr/en/project/the-la-pugere-experimental-station/>, accessed on 7. August 2025
- [20] Caravia, L., Collins, C., Petrie, P.R., Tyerman, S.D., 2016. Application of shade treatments during Shiraz berry ripening to reduce the impact of high temperature. *Aust. J. Grape Wine Res.* 22, 422–437. <https://doi.org/10.1111/ajgw.12248>
- [21] Juillion, P., Lopez, G., Fumey, D., Lesniak, V., Génard, M., Vercambre, G., 2022. Shading apple trees with an agrivoltaic system: impact on water relations, leaf morphophysiological characteristics and yield determinants. *Sci. Hortic.* 306, 111434 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111434>

References



- [22] Weselek, A., Bauerle, A., Hartung, J. et al. Agrivoltaic system impacts on microclimate and yield of different crops within an organic crop rotation in a temperate climate. *Agron. Sustain. Dev.* 41, 59 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00714-y>
- [23] Garstka L., Kammann C. and Stoll M., 2024, “Agri-photovoltaics: first experience above Riesling vines”, 45th OIV Congress, France 2024.
- [24] Fernández Solas Á., Sánchez Vizcaíno E., Castillo A., Kujawa A., Landes M., Hanrieder N., Wilbert S., “Exploring Agrivoltaics in Viticulture: Opportunities for Southern Spain”, AgriVoltaics Conference, Freiburg Germany, 2025
- [25] Armstrong A., Ostle N.J., Whitaker J., 2016, “Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling”, *Environ. Res. Lett.* 11 (2016) 074016, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/7/074016>
- [26] Thum C.H., Okada K., Yamasaki Y., Kato Y., 2025, “Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, grain yield, and quality of lowland rice under a temperate climate”, *Field Crops Research* 326 (2025) 109877, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109877>