



Caracterización climática de las distintas zonas del término municipal de JUMILLA (MURCIA), y proyección de la evolución climática futura para el diseño de estrategias de adaptación del sector vitivinícola local al cambio climático.

12/09/2024



Unión Europea

Fondo Europeo Agrícola
de Desarrollo Rural

Europa invierte en las zonas rurales



Caracterización climática de las distintas zonas del término municipal de JUMILLA (MURCIA), y proyección de la evolución climática futura para el diseño de estrategias de adaptación del sector vitivinícola local al cambio climático.

Para este estudio se ha contado con la ayuda financiera de la Unión Europea, a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco de las ayudas LEADER previstas en la submedida 19.2 del Programa de Desarrollo Rural de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca de la Región de Murcia 2014-2020 (CARM). Y dentro de esta ayuda, la línea de acción de la Estrategia de Desarrollo Local Participativo en la que se enmarca este estudio es la NP43. *Proyectos no productivos que apoyen la transición a una economía 4.0 y la adaptación al cambio climático (Agentes Sociales).*

Informe elaborado por:



Joaquín Cámara Gajate
Doctor Ingeniero Agrónomo
Colegiado nº4677 (COIACC)
DIAGNOTERRA, SL

INDICE

I. INTRODUCCION Y OBJETIVOS	7
I.1. JUMILLA	7
I.2. CLIMA Y VIÑEDO	8
I.3. OBJETIVOS	10
II. MATERIALES Y MÉTODOS	11
II.1. MATERIALES	11
II.2. METODOLOGÍA	11
II.2.1. METODOLOGÍA DE CLIMA	12
II.2.1.1. Origen de los datos climáticos	12
II.2.1.2. Variables climáticas	13
II.2.2. MÉTODOS ESTADÍSTICOS	14
II.2.2.1. Estadística univariante	14
II.2.2.2. Análisis de relaciones bivariante	14
II.2.2.3. Análisis multivariante	14
II.2.2.4. Proyecciones climáticas	15
II.2.3. ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA	15
III. RESULTADOS	17
III.1. CLIMA	17
III.1.1. DESCRIPCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS BIVARIANTE	17
III.1.1.1. Estadística descriptiva de las variables	17
III.1.1.2. Matriz de correlación	18
III.1.2. ANÁLISIS MULTIVARIANTE	20
III.1.2.1. Modelo completo	20
III.1.2.1.1. Clasificación automática	20
III.1.2.1.2. Análisis de Componentes Principales	23
III.1.2.2. Modelo reducido	24
III.1.2.2.1. Clasificación automática	24
III.1.2.2.2. Análisis de Componentes Principales	25
III.1.3. CLASIFICACIÓN DEL CLIMA VITÍCOLA	28
III.1.4. PROYECCIONES CLIMÁTICAS	29
III.1.5. ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO	31
III.2. ZONIFICACIÓN	34
III.2.1. CLIMA	34
III.2.2. VIÑEDO	36
IV. CONCLUSIONES	39
V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización general del término municipal de Jumilla.....	8
Figura 2. Metodología general de la zonificación climática vitícola.....	15
Figura 3. Dendrograma de clasificación de las 26 variables según el método de Ward.	20
Figura 4. Dendrograma de clasificación de los 20 observatorios según el método de Ward.....	21
Figura 5. Representación gráfica de los observatorios sobre los dos primeros componentes de ACP del modelo completo.....	22
Figura 6. Dendrograma de clasificación de los 20 observatorios según el método de Ward con el modelo reducido.....	25
Figura 7. Representación gráfica de los observatorios sobre los componentes principales del modelo reducido.....	27
Figura 8. Evolución de la temperatura media desde 1980 a 2019 en las distintas clases climáticas.....	29
Figura 9. Evolución de la precipitación media desde 1980 a 2019 en las distintas clases climáticas.....	30
Figura 10. Evolución del índice de frescor nocturno desde 1980 a 2019 en las distintas clases climáticas.....	30
Figura 11. Representación gráfica de la Tmed frente a la Altitud de los observatorios, con la recta de regresión correspondiente y la calidad de su ajuste (R2).....	34
Figura 12. Mapa de Zonificación Climática del término municipal de Jumilla.....	35
Figura 13. Mapa de Zonificación Climática del término municipal de Jumilla con la situación del viñedo.....	37
Figura 14. Distribución del viñedo por Zonas Climáticas.....	38

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información general de los observatorios.....	12
Tabla 2. Variables climáticas empleadas en el estudio.....	13
Tabla 3. Estadística descriptiva de las variables climáticas.....	18
Tabla 4. Matriz de correlación de las variables climáticas.....	19
Tabla 5. Valores centrales de las clases climáticas obtenidas con el modelo completo	22
Tabla 6. Autovalores obtenidos en el ACP del modelo completo.....	23
Tabla 7. Coordenadas de las variables en los cinco primeros componentes.....	23
Tabla 8. Valores centrales de las clases climáticas obtenidas con el modelo reducido.	26
Tabla 9. Autovalores y autovectores obtenidos en el ACP con tres variables.....	27
Tabla 10. Clasificación de las clases climáticas según la Geoviticulture MCC System....	28
Tabla 11. Tasa de incremento medio de la temperatura media anual (Tmed), de la precipitación media anual (PPTmed), y del índice de frescor nocturno(IFN) entre los años 1980 y 2019 en los observatorios de las clases estudiadas.....	31

I. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Por zonificación se entiende la investigación del territorio con el fin de repartirlo en zonas relativamente homogéneas. En los últimos años se ha incrementado notablemente el interés por caracterizar el medio ecológico del viñedo, si bien, este interés se viene manifestando desde la antigüedad y, con frecuencia, las regiones vitícolas más importantes del mundo poseen referencias geográficas de sus principales zonas de cultivo.

La necesidad creciente de delimitar y caracterizar con más detalle las diferentes unidades homogéneas de este cultivo ha motivado el auge de estudios que podemos recoger de forma genérica bajo el título de “Zonificación vitícola”. Estos estudios pretenden abordar la vocación vitícola desde numerosos prismas y, en general, de forma sistemática y analítica, de modo que los resultados pueden expresarse de forma cuantitativa, con las consiguientes discusiones comparativas.

En particular, este estudio de zonificación está enfocado en la caracterización climática de una región de reconocida vocación vitícola como es el caso de la Denominación de Origen Protegida Jumilla, y en particular del término municipal de Jumilla (Murcia).

Para este estudio se ha contado con la ayuda financiera de la Unión Europea, a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER) en el marco de las ayudas LEADER previstas en la submedida 19.2 del Programa de Desarrollo Rural de la Consejería de Agua, Agricultura, Ganadería y Pesca de la Región de Murcia 2014-2020 (CARM). Y dentro de esta ayuda, la línea de acción de la Estrategia de Desarrollo Local Participativo en la que se enmarca este estudio es la NP43. Proyectos no productivos que apoyen la transición a una economía 4.0 y la adaptación al cambio climático (Agentes Sociales).

I.1. JUMILLA

El área de estudio de este trabajo se corresponde con el término municipal de Jumilla. Jumilla es un municipio que se localiza en el cuadrante suroriental de la península ibérica, en la Región de Murcia, y más concretamente en la comarca del altiplano (Figura 1). Tiene una superficie de 969 km², que le convierte en el décimo término municipal más extenso de España.

Jumilla cuenta con un reconocido prestigio internacional por su producción vitivinícola, y junto con los municipios albaceteños de Albatana, Fuenteálamo, Hellín, Ontur, Montealegre del Castillo y Tobarra, forma parte de la denominación de origen vitícola que lleva su nombre, la Denominación de Origen Protegida Jumilla.

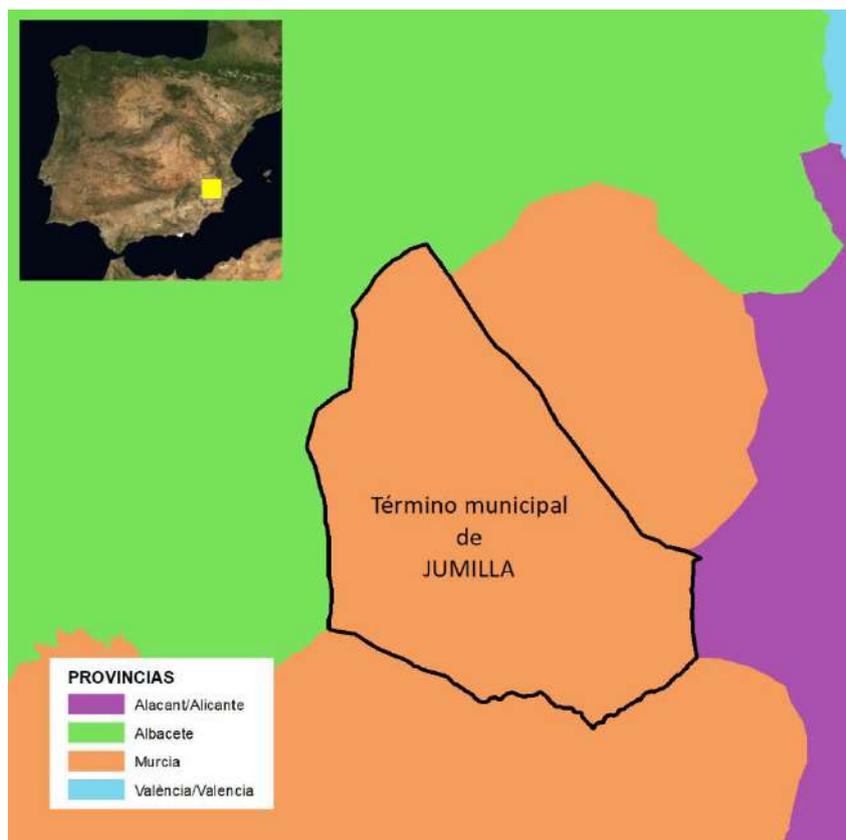


Figura 1. Localización general del término municipal de Jumilla.

Según datos oficiales correspondientes al año 2020, el término municipal de Jumilla cuenta con una superficie de viñedo de 9.972 hectáreas, que representa el 10,3% de su superficie total.

I.2. CLIMA Y VIÑEDO

El clima influye directamente en el desarrollo vegetativo de la planta y en la calidad, resaltando el equilibrio específico de la variedad y permitiendo, en mayor o menor medida, la expresión de sus potencialidades en las características del *bouquet* [1] e influye notablemente en la composición del vino: azúcar, acidez, polifenoles, etc. [2; 3].

Este factor clima manifiesta su influencia a través de sus elementos (insolación, temperatura, precipitación, etc.) y los análisis que lo relacionan con la calidad de la vendimia a diferentes escalas (macroclima [4; 5; 6; 7; 8; 9], mesoclima [10; 11; 12] y microclima [13; 12]), que aunque son muy utilizados, manifiestan problemas de generalización debido principalmente a la dificultad de aislar los verdaderos factores de calidad y por ello tienen una mayor aplicación en la separación de unas zonas vitícolas de otras que no lo son a causa de limitaciones climáticas amplias.

En la mayoría de las regiones vitícolas de nuestro entorno sólo existen limitaciones en condiciones meso y microclimáticas, y por variaciones en los elementos climáticos, que podíamos considerar infrecuentes, que entrañan anomalías interanuales, estacionales o

diarias y que perturban el funcionamiento de la viña, pero de ningún modo limitantes, pero a pequeña escala (macroclima), y de acuerdo con estos índices, las denominaciones consideradas pueden ser consideradas con vocación vitícola sin limitaciones ni diferencias determinantes.

A este respecto, existe un cierto acuerdo en admitir que los elementos del clima que influyen de una forma más determinante en la calidad son la luz/insolación, la temperatura y la precipitación [14; 15], pero a menudo las referencias citan sólo datos cualitativos:

- Uvas expuestas directamente al sol presentan tasas de ácido málico (más sólidos solubles y más fenoles) menos elevadas que las situadas a la sombra.
- La obtención de vinos rojos de color elevado encuentra dificultades en condiciones climáticas frescas o muy cálidas.
- El potencial aromático de numerosas variedades, sobre todo blancas, sólo puede manifestarse bajo clima templado fresco en los que la producción es lenta o prolongada.
- Una sequía extrema durante determinados periodos puede frenar la asimilación y ser perjudicial para una correcta maduración. El estrés se relaciona con más fenoles y antocianos y menos malatos, pero apenas tiene tales efectos cuando comienza el envero, ni durante la maduración, aunque si la retrasa.
- Un exceso de agua en determinados periodos, particularmente durante la maduración, ejerce una influencia negativa sobre la calidad organoléptica de los vinos. El exceso alarga la maduración, aumenta el tamaño de la baya, eleva el potasio y la acidez y reduce el color y los antocianos.

El conocimiento de la influencia de los valores concretos de la temperatura en los parámetros relacionados con la calidad permite la realización de modelos que entran en el detalle de estas variaciones [16]. El cruce de este tipo de información con elementos climáticos concretos permite aplicaciones inmediatas como el análisis de los efectos del riesgo de heladas en una determinada región.

Dentro de la caracterización del medio es imprescindible el estudio del clima. Para ello, en primer lugar, se analiza el conjunto de variables cuantificables procedentes de las estaciones meteorológicas relacionadas con la región, y posteriormente se realiza el análisis estadístico para constituir un modelo que incluya toda la información climática utilizando el número mínimo de variables.

Para algunos autores [17] la estimación de los recursos ambientales y climáticos constituye el primer nivel de aproximación para definir la potencialidad de un ambiente productivo vitícola. Además, las características agroecológicas no quedan tan bien descritas con los factores climáticos como los "índices bioclimáticos" que se obtienen a partir de aquellos y que evidencian aspectos particulares ligados a la ecofisiología del cultivo [17; 18].

Entre los componentes ambientales, los climáticos resultan prioritarios para definir en sentido amplio la vocación vitícola, en particular por la temperatura del aire, la insolación y los recursos hídricos [19]. Entre estos, la mayor importancia debe atribuirse a la temperatura de la zona [5; 7; 8; 20; 21]. En efecto, la temperatura es conocida probablemente como el factor ambiental simple que más influencia tiene en la viticultura en cuanto a la composición y calidad del mosto [20]. No obstante, deben hacerse esfuerzos para cuantificar esta correlación calidad-temperatura [22].

Una vez conocida la influencia de la temperatura sobre el cultivo y la calidad, se ha pretendido describirla o cuantificarla del modo más interesante posible incorporando datos de interés para el cultivo por su importancia fisiológica. Se ha establecido así una serie de índices bioclimáticos que expresan el nivel de concordancia entre las exigencias de una variedad y las posibilidades de su satisfacción en un viñedo [23]. Los índices bioclimáticos más usados en zonificación vitícola se basan principalmente en la temperatura media y demuestran su utilidad en la definición de áreas climáticas en función de los objetivos vitivinícolas [17].

Dada influencia que las condiciones climáticas tienen sobre el cultivo, el contexto actual de cambio climático y la alteración de los patrones climáticos que representa supone una amenaza para el sector vitivinícola. Desde el sector se deben abordar estrategias de adaptación a las nuevas condiciones climáticas, que requieren estudios detallados de caracterización climática para saber cuales son las condiciones presentes y cuáles serán las condiciones que podemos esperar en las próximas décadas.

I.3. OBJETIVOS

Este trabajo se plantea de acuerdo con dos objetivos principales. En primer lugar, caracterizar y delimitar las distintas zonas climáticas presentes en el término municipal de Jumilla identificando los elementos climáticos más relevantes en la discriminación de zonas, y en segundo lugar, analizar la evolución climática de las distintas zonas para el diseño de estrategias de adaptación del sector vitivinícola local al cambio climático.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1. MATERIALES

Los materiales empleados para la realización de este trabajo son fundamentalmente los que se enumeran a continuación:

- **Datos climáticos**: Toda la serie de datos de precipitaciones y datos térmicos mensuales disponible en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de las estaciones 7065 (Molinicos), 7080X (Benizar), 7081 (Socovos), 7096B (Hellín), 7102 (Ontur “Grupo Escolar”), 7103 (Tobarra), 7103Y (Tobarra), 7134 (Cieza “El Picarcho”), 7137B (Jumilla “Fuente del Pino”), 7138B (Jumilla “El Albal”), 7145D (Cieza “Parque de Bomberos”), 7178I (Murcia), 7237 (Fortuna “C.H.S.”), 7247E (Pinoso “IES”), 7247X (Pinoso), 7275 (Yecla “C.H.S.”), 7275C (Yecla), 8008A (Villena), 8175 (Albacete/Los Llanos), y 8178D (Albacete Obs.), para el periodo 1980-2020.
- **Datos vitícolas**: Distribución del viñedo en el término municipal de Jumilla, de acuerdo con la información SIGPAC correspondiente al año 2020.
- **Información topográfica**: Modelo digital del terreno, con una resolución de 5 metros, correspondiente a las Hojas 818, 844, 845, 869, 870, 891 y 892 del Mapa Topográfico Nacional, escala 1:50.000. Información disponible en el Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- **Software específico**: Para el análisis estadístico se ha empleado el software Statgraphic Centurion 19, y para el análisis cartográfico el software QGIS 3.34.

II.2. METODOLOGÍA

En este apartado del informe se describe la metodología seguida durante el estudio. La descripción metodológica se ha dividido en tres apartados: la metodología climática correspondiente a la selección y procesado de los datos climáticos, los métodos estadísticos empleados para la agrupación de los observatorios en clases climáticas, y la metodología de zonificación empleada para la división del área de estudio en las distintas zonas climáticas correspondientes a cada clase climática.

Esta metodología ha sido empleada anteriormente en trabajos de zonificación climática realizados por la Universidad Politécnica de Madrid en distintas regiones vitícolas de la

Península Ibérica [24; 25], y sigue las indicaciones recogidas en el documento “Líneas directrices de la OIV sobre metodologías de zonificación vitivinícola a nivel de suelos y clima” publicadas por la Organización Internacional de la Vid y el Vino en 2012 [26].

II.2.1 METODOLOGÍA DE CLIMA

Para la caracterización climática del municipio de Jumilla se han empleado los datos de observación meteorológica de las estaciones de la AEMET que se encuentran en el propio término municipal, o en sus proximidades. Con los datos de observación de cada observatorio se han calculado distintas variables e índices climáticos.

II.2.1.1. Origen de los datos climáticos

Se han seleccionado aquellas estaciones de la red de AEMET que cuentan con series completas, o prácticamente completas, de datos de temperatura y de precipitación para el periodo de 20 años comprendido entre enero del año 2000 y diciembre de 2019. El número de estaciones meteorológicas seleccionadas ha sido de 20. Nueve estaciones están situadas en la Región de Murcia, ocho en la provincia de Albacete y tres en la provincia de Alicante (Tabla 1).

Tabla 1. Información general de los observatorios seleccionados.

Observatorio	Abrev.	X UTM*	Y UTM*	Provincia	Altitud
Albacete Obs.	A1	598516	4318009	Albacete	676
Albacete/Los Llanos	A2	599093	4312313	Albacete	702
Benizar	BE	588668	4236074	Murcia	955
Cieza Bomberos	C1	641737	4232883	Murcia	265
Cieza Picarcho	C2	631756	4243744	Murcia	340
Fortuna C.H.S.	FO	664208	4226915	Murcia	192
Hellín	HE	613027	4266745	Albacete	646
Jumilla “Fuente del Pino”	J1	649374	4268042	Murcia	660
Jumilla “El Albal”	J2	645247	4258045	Murcia	485
Molinicos	MO	566106	4257581	Albacete	823
Murcia	MU	660598	4207610	Murcia	61
Ontur Grupo Escolar	ON	630156	4274922	Albacete	670
Pinoso	P1	671322	4251990	Alicante	575
Pinoso IES	P2	671322	4251990	Alicante	575
Socovos	SO	588540	4243061	Albacete	750
Tobarra	T1	613674	4272049	Albacete	625
Tobarra II	T2	614141	4271879	Albacete	615
Villena	VI	685931	4271992	Alicante	486
Yecla	Y1	660249	4274181	Murcia	640
Yecla C.H.S.	Y2	665085	4276585	Murcia	605

* Sist. Coord. WGS84 UTM Huso 30N

Lamentablemente, la red de estaciones meteorológicas de la zona con una serie de datos suficientemente larga es escasa, especialmente en lo que se refiere a estaciones termométricas, lo que impide realizar un estudio con mayor resolución. Las estaciones completas de Albacete y Murcia también han sido consideradas en el trabajo.

II.2.1.2. Variables climáticas

Con las series de datos mensuales de observación termo-pluviométricos de las 20 estaciones seleccionadas se han calculado 26 variables climáticas de uso vitícola o agronómico en general (Tabla 2).

Tabla 2. Variables climáticas empleadas en el estudio.

Abreviatura	Variable
Tmed	Temperatura media de medias mensuales en °C
Tmax	Temperatura media de la media de máximas mensuales en °C
Tmin	Temperatura media de la media de mínimas mensuales en °C
PPTmed	Precipitación anual en mm
ETP_tw	Evapotranspiración potencial de Thornwaite
ETP_pm	Evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith
IAM	Índice de aridez de Martonne
IAE	Índice de aridez de Emberger
ISE	Índice de sequía estival de Emberger
ICG	Índice de continentalidad de Gorcynski
ITR	Índice de termicidad de Rivas Martínez
IMR1	Índice de mediterraneidad de Rivas Martínez (julio)
IMR2	Índice de mediterraneidad de Rivas Martínez (julio, agosto)
IMR3	Índice de mediterraneidad de Rivas Martínez (junio, julio, agosto)
ITE	Integral térmica eficaz de Winkler
IPH	Índice de posibilidades heliotérmicas de Huglin
PHB	Producto heliotérmico de Branas
IBH	Índice bioclimático de Hidalgo
IFN	Índice de frescor nocturno
IS	Índice de sequía
IPA	Inicio del periodo activo de la vid (día del año)
FPA	Final del periodo activo de la vid (día del año)
DPA	Duración del periodo activo de la vid en días
FHP	Final del periodo de heladas probables (día del año)
ILH	Inicio del periodo libre de heladas (día del año)
DRH	Días entre el inicio del periodo activo de la vid y el libre de heladas

Los periodos de heladas probables (FHP), y libres de heladas (ILH) se han calculado a partir de los datos termométricos con las fórmulas propuestas por Emberger.

II.2.2 MÉTODOS ESTADÍSTICOS

A continuación, se describen los métodos utilizados para el tratamiento estadístico de los datos climáticos a lo largo de todo el proceso hasta agrupar los observatorios en distintas zonas climáticas. En primer lugar, se ha realizado la caracterización global de las distintas unidades estadísticas (estaciones meteorológicas) con el uso de la estadística descriptiva univariante. Posteriormente, se han estudiado las relaciones entre variables, dos a dos, con las matrices de correlaciones y finalmente, se ha realizado un estudio completo de las observaciones con el uso de múltiples variables de forma simultánea, de forma que se han podido establecer las relaciones entre ellas.

II.2.2.1. Estadística univariante

Se persigue la descripción cuantitativa de las observaciones para cada una de las variables. Se ha considerado de interés el uso de la media aritmética como medida de posición. Como medida de dispersión más relevantes se han calculado la desviación estándar, el valor máximo y mínimo, el rango y el coeficiente de variación de Pearson.

II.2.2.2. Análisis de relaciones bivariantes

Se ha obtenido la matriz de correlación (coeficientes de correlación lineal de Pearson) con los coeficientes de correlación lineal parciales para estimar el nivel de relación de las variables dos a dos.

II.2.2.3. Análisis multivariante

Se ha estudiado la relación entre las distintas observaciones (estaciones meteorológicas) con el uso de todas las variables. Los análisis multivariantes realizados han sido la clasificación automática, y el análisis de componentes principales.

La clasificación automática se ha realizado por el método de Ward (o del momento de orden dos), en el cual se define la distancia entre dos clases como el incremento de la suma de las desviaciones cuadradas alrededor de la media de la clase que se produciría si las dos clases se unieran.

La técnica del análisis de componentes principales está diseñada para extraer un número reducido de ejes o componentes principales de un conjunto de variables cuantitativas. Los componentes principales se definen como el conjunto de combinaciones lineales ortogonales de las variables que tienen la máxima varianza. Cuando las variables están altamente correlacionadas se necesitan pocos componentes para describir la mayor parte de la variabilidad presente. Esta reducción de un espacio p -dimensional a otro de menos dimensiones, en general 2 o 3, permite la observación visual de las relaciones espaciales entre variables y estaciones. Es de singular interés la interpretación del significado intrínseco de cada uno de los componentes o ejes obtenidos.

II.2.2.4. Proyecciones climáticas

Para estimar la evolución climática de las últimas décadas y estimar la evolución futura, se han seleccionado aquellos observatorios con las series más largas y completas de cada clase climática. Las 26 variables e índices climáticos han sido calculados para periodos de 5 años lo que ha permitido analizar la evolución de la serie.

II.2.3 ZONIFICACIÓN CLIMÁTICA

La metodología seguida se expone en la Figura 2. El proceso comienza con la adecuada selección de observatorios y variables climáticas.

A partir de la matriz de datos climáticos de los distintos observatorios se aplican técnicas de estadística multivariante para comprobar la existencia de agrupaciones de observatorios que se comportan de forma similar y, en definitiva, representan subzonas geográficamente diferenciadas.

Con el fin de reducir la información redundante, ya que la mayor parte de las variables iniciales se generan por combinación de datos de temperatura y precipitación, se procede a una reducción de las variables menos representativas hasta obtener la misma clasificación original con la mínima cantidad de variables, una adecuada estabilidad en el proceso y conclusiones agronómicas.

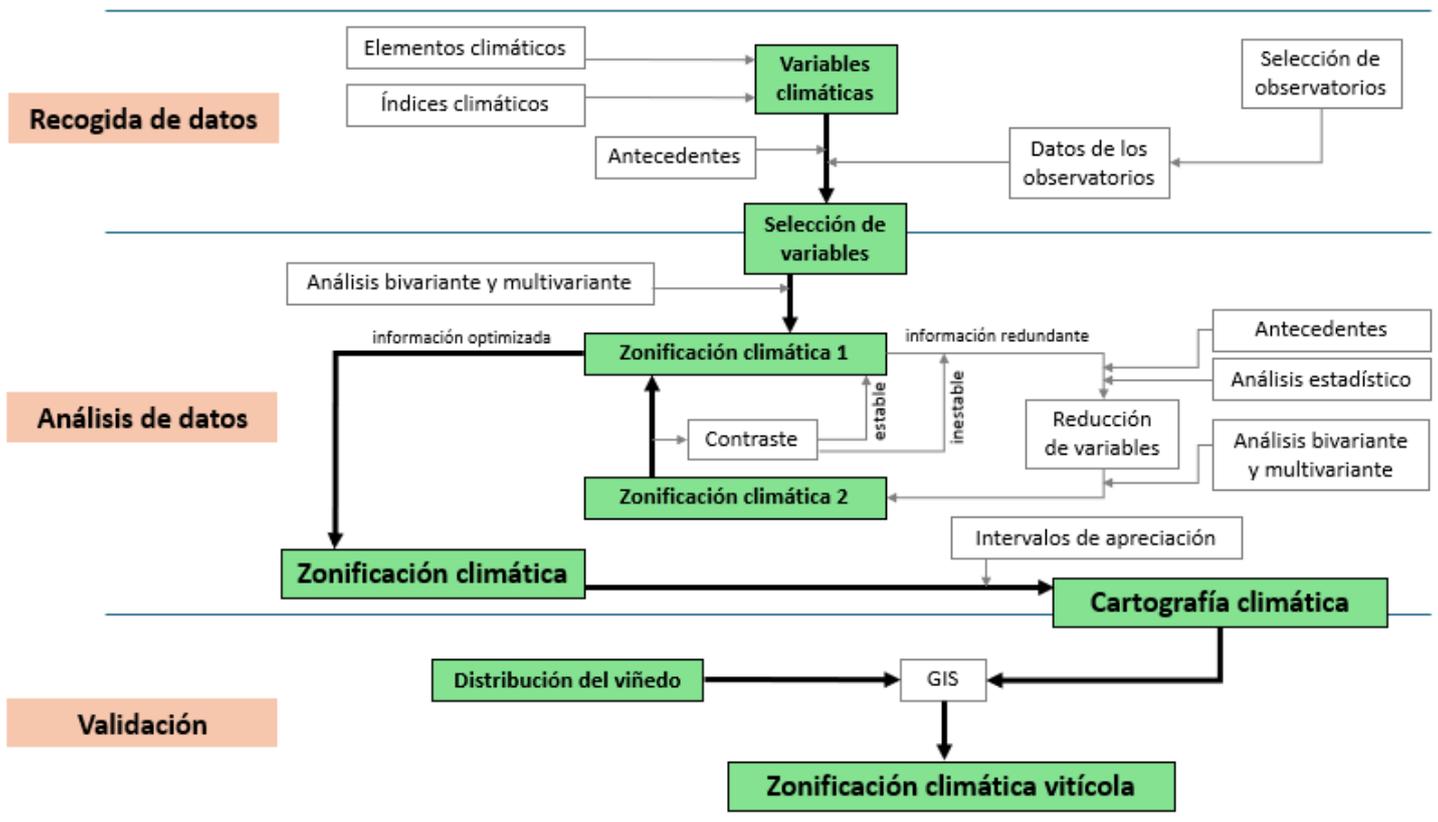


Figura 2. Metodología general de la zonificación climática vitícola.

Dado el marcado gradiente de la temperatura con la altitud, y debido a la importancia que la temperatura tiene en el medio ecológico del viñedo, se ha introducido la variable altimétrica para delimitar las distintas zonas climáticas definidas para cada una de las clases resultantes del análisis estadístico.

La distribución diferencial del viñedo en las áreas delimitadas por las curvas de nivel elegidas permite extraer las correspondientes conclusiones climáticas.

III. RESULTADOS

III.1. CLIMA

Los resultados del análisis climático se han agrupado en 5 apartados. En primer lugar, en el primer apartado se muestra la caracterización de los resultados obtenidos para cada variable estudiada y su correlación con el resto de las variables. En el segundo apartado se presentan los resultados del análisis multivariante tanto del modelo completo como del modelo reducido. En el tercer apartado se muestran los resultados de los índices climáticos calculados para los 20 observatorios y para cada clase climática identificada. En el cuarto punto se analizan las tendencias climáticas, y en el último punto se describen con carácter general algunas de las medidas de adaptación al cambio climático con las que cuenta el sector vitivinícola para hacer frente a los escenarios previstos.

III.1.1 DESCRIPCIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS BIVARIANTE

Los resultados obtenidos para cada variable tras el análisis de las series de 20 años de las estaciones meteorológicas se muestran en este apartado.

III.1.1.1. Estadística descriptiva de las variables

En la Tabla 3 se muestra la estadística descriptiva univariante de las 26 variables consideradas para el conjunto de las observaciones ($n=20$), y en concreto, los valores máximos y mínimos, la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de Pearson.

El 46% de las variables analizadas presentan un coeficiente de variación de Pearson inferior de 20 lo que refleja cierta homogeneidad en los observatorios estudiados, mientras que el 11% de ellas presentan un elevado coeficiente de variación, superior a 40, que manifiesta una irregularidad que posibilita la existencia de diferencias internas a efectos macro y mesoclimáticos que permiten dividir el área de estudio en distintas zonas climáticas.

También es interesante destacar las diferencias que existen en las variables térmicas. Aunque el coeficiente de variación en este caso es bajo, se observan variaciones de hasta 4,6 °C que manifiestan contrastes térmicos bruscos entre zonas. En el caso de la temperatura media de mínimas esta diferencia entre observatorios llega hasta los 6,3 °C. Estas diferencias térmicas también se reflejan en la duración del periodo activo de la vid y en el periodo libre de heladas, destacando el rango de 86 días de diferencia entre la fecha del inicio del periodo libre de heladas, lo que supone casi tres meses de diferencia entre algunos de los observatorios analizados.

Tabla 3. Estadística descriptiva de las variables climáticas.

Variable	Mínimo	Máximo	Media	Rango	DS	CV
Tmed	14,7	19,3	16,1	4,6	1,4	8,4
Tmax	19,7	25,4	22,3	5,7	1,4	6,2
Tmin	7,6	13,9	9,9	6,3	1,6	15,9
PPTmed	269,5	541,0	344,0	271,5	76,6	22,3
ETP_tw	784,9	1029,9	859,7	245,0	68,1	7,9
ETP_pm	1062,7	1302,0	1215,6	239,3	62,4	5,1
IAM	9,8	21,6	13,3	11,8	3,4	25,7
IAE	30,2	62,0	38,1	31,7	8,6	22,5
ISE	0,8	2,1	1,1	1,4	0,3	26,3
ICG	25,0	34,2	29,2	9,2	2,9	9,9
ITR	260,6	421,0	319,3	160,5	45,0	14,1
IMR1	18,4	171,3	63,8	152,9	48,4	75,8
IMR2	6,6	28,1	16,0	21,5	5,7	35,5
IMR3	6,1	19,9	12,4	13,7	3,5	28,6
ITE	1969	3406	2423	1437	400	16,5
IPH	2322	3175	2727	853	207	7,6
PHB	5,1	7,6	6,0	2,5	0,7	11,5
IBH	10,0	26,3	18,4	16,2	4,6	25,2
IFN	13,2	19,5	15,4	6,3	1,6	10,7
IS	-129,6	-19,4	-99,4	110,1	26,1	-26,2
IPA	0	77	57	77	23,1	40,8
FPA	0	360	297	360	102,2	34,4
DPA	240	360	276	120	37,0	13,4
FHP	0	70	34	70	29,2	86,7
ILH	32	118	92	86	20,5	22,3
DRH	22	55	35	33	8,7	24,6

III.1.1.2. Matriz de correlación

En la Tabla 4 se muestra la matriz de correlación entre variables. Se han identificado con el color rojo los valores del coeficiente de correlación de aquellas parejas de variables cuyas correlaciones son significativamente diferentes de cero, con un nivel de confianza del 95%.

Se observa que la mayor parte de las variables mantienen altas correlaciones entre sí,, debido a que casi todas las variables contienen información térmica, pluviométrica o una combinación mas o menos compleja de ambas. Cabe destacar el caso de la temperatura media de máximas (Tmax) y del índice bioclimático de Hidalgo (IBH), que están significativamente correlacionadas con el resto de variables.

Tabla 4. Matriz de correlación de las variables climáticas ($p = 26$ variables, $n = 20$ observaciones).

Variable	Tmed	Tmax	Tmin	PPTmed	ETPtw	ETPpm	IAM	IAE	ISE	ICG	ITR	IMR1	IMR2	IMR3	ITE	IPH	PHB	IBH	IFN	IS	IPA	FPA	DPA	FHP	ILH	DRH
Tmed	1																									
Tmax	0,906	1																								
Tmin	0,929	0,689	1																							
PPTmed	-0,529	-0,647	-0,338	1																						
ETPtw	0,990	0,880	0,934	-0,471	1																					
ETPpm	0,336	0,696	-0,026	-0,515	0,303	1																				
IAM	-0,639	-0,733	-0,454	0,990	-0,585	-0,528	1																			
IAE	-0,420	-0,622	-0,176	0,961	-0,374	-0,661	0,941	1																		
ISE	-0,660	-0,754	-0,494	0,705	-0,635	-0,547	0,745	0,730	1																	
ICG	-0,504	-0,500	-0,426	0,450	-0,409	-0,162	0,483	0,264	0,265	1																
ITR	0,980	0,890	0,909	-0,526	0,949	0,315	-0,632	-0,389	-0,618	-0,656	1															
IMR1	0,711	0,678	0,632	-0,502	0,685	0,236	-0,561	-0,385	-0,501	-0,647	0,748	1														
IMR2	0,699	0,688	0,615	-0,543	0,699	0,312	-0,597	-0,510	-0,759	-0,244	0,632	0,635	1													
IMR3	0,870	0,827	0,786	-0,617	0,858	0,347	-0,693	-0,545	-0,878	-0,419	0,835	0,658	0,861	1												
ITE	0,992	0,887	0,931	-0,487	1,000	0,313	-0,599	-0,389	-0,645	-0,424	0,954	0,701	0,706	0,863	1											
IPH	0,930	0,925	0,795	-0,524	0,941	0,535	-0,628	-0,511	-0,719	-0,227	0,856	0,563	0,693	0,823	0,940	1										
PHB	0,983	0,884	0,919	-0,490	0,992	0,339	-0,603	-0,413	-0,658	-0,337	0,928	0,639	0,703	0,853	0,991	0,967	1									
IBH	0,864	0,886	0,711	-0,867	0,826	0,494	-0,922	-0,789	-0,799	-0,531	0,846	0,707	0,752	0,878	0,837	0,825	0,833	1								
IFN	0,951	0,743	0,989	-0,362	0,961	0,058	-0,478	-0,224	-0,557	-0,391	0,917	0,663	0,681	0,835	0,959	0,847	0,950	0,747	1							
IS	-0,299	-0,632	0,037	0,619	-0,275	-0,941	0,617	0,784	0,636	-0,005	-0,241	-0,149	-0,360	-0,370	-0,285	-0,540	-0,335	-0,534	-0,045	1						
IPA	-0,974	-0,881	-0,907	0,531	-0,967	-0,296	0,633	0,406	0,651	0,567	-0,963	-0,810	-0,761	-0,888	-0,971	-0,869	-0,940	-0,862	-0,934	0,238	1					
FPA	-0,716	-0,577	-0,723	0,177	-0,772	-0,038	0,268	0,067	0,343	0,360	-0,698	-0,631	-0,467	-0,604	-0,770	-0,607	-0,702	-0,494	-0,745	-0,050	0,775	1				
DPA	0,977	0,899	0,897	-0,555	0,952	0,334	-0,656	-0,427	-0,657	-0,619	0,981	0,809	0,741	0,880	0,958	0,865	0,931	0,877	0,919	-0,269	-0,990	-0,698	1			
FHP	-0,719	-0,476	-0,820	0,205	-0,681	0,129	0,301	0,018	0,177	0,475	-0,742	-0,384	-0,369	-0,510	-0,676	-0,544	-0,680	-0,511	-0,775	-0,179	0,667	0,321	-0,710	1		
ILH	-0,937	-0,716	-0,989	0,390	-0,938	-0,007	0,501	0,227	0,514	0,477	-0,922	-0,672	-0,651	-0,795	-0,938	-0,795	-0,917	-0,746	-0,980	-0,005	0,926	0,756	-0,913	0,781	1	
DRH	0,376	0,649	0,077	-0,488	0,354	0,767	-0,497	-0,541	-0,516	-0,380	0,381	0,564	0,482	0,479	0,365	0,431	0,331	0,526	0,169	-0,641	-0,468	-0,275	0,472	0,069	-0,101	1

Los valores en rojo son aquellas parejas de variables cuyas correlaciones son significativamente diferentes de 0, con un nivel de confianza del 95%

Por otra parte, algunas variables no guardan relación con gran número de variables. Es el caso del índice de sequía (IS) que no guarda relación con otras 16 variables, de la evapotranspiración de referencia de Penman-Monteith (15 variables), del índice de continentalidad de Gorcynski (14 variables), o del índice de aridez de Emberger (13 variables).

III.1.2 ANÁLISIS MULTIVARIANTE

En este apartado se muestran los resultados de la clasificación automática y del análisis de componentes principales tanto del modelo completo (26 variables) como del modelo reducido (3 variables).

III.1.2.1. Modelo completo

En el caso del modelo completo se ha realizado la clasificación automática de las variables y de las observaciones, así como el análisis de componentes principales de las observaciones.

III.1.2.1.1. Clasificación automática

En la clasificación automática de las variables se refleja la alta correlación que se apreciaba en la matriz de correlación de la página anterior. En el dendrograma de la Figura 3 se aprecia la existencia de 4 clases.

La primera clase agrupa variables predominantemente térmicas (Tmed, ETPtw, ITE, PHB, ITR, DPA, Tmin, IFN, Tmax, IPH, IMR1, IMR2, IMR3, e IBH).

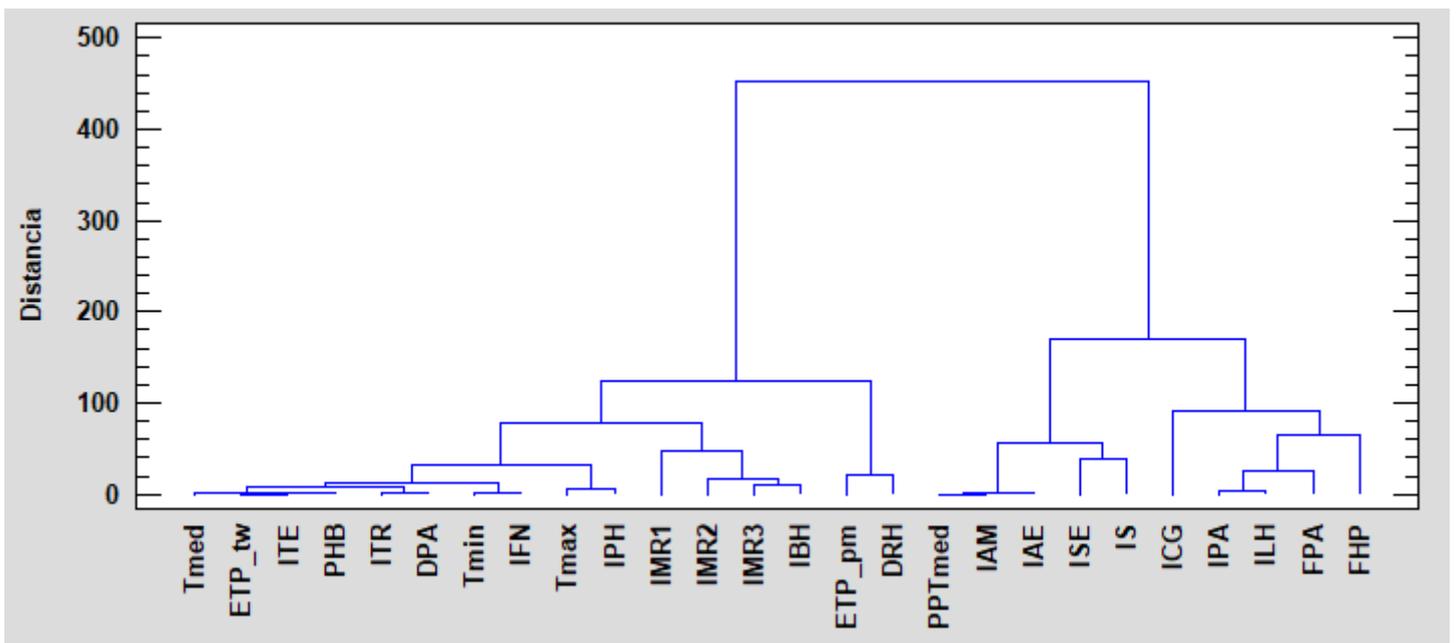


Figura 3. Dendrograma de clasificación de las 26 variables según el método de Ward

La segunda clase agrupa también dos variables con un marcado componente térmico (ETPpm y DRH). La tercera clase incluye variables relacionadas con la precipitación anual y su relación con el balance hídrico (PPTmed, IAM, IAE, ISE, IS). La cuarta clase agrupa principalmente variables relacionada con el periodo activo de la vid, con el periodo de heladas y al índice de continentalidad de Gorcynski que se calcula a partir de la amplitud térmica (ICG, IPA, ILH, FPA, y FHP).

Esta agrupación facilita la reducción de variables, necesaria para eliminar información redundante y, de este modo, llegar a una definición más precisa de la zona de estudio que no le dé más peso a un tipo de variables frente a otras.

Por su parte, la clasificación automática de las estaciones genera un dendrograma que refleja un elevado número de clases compactas.

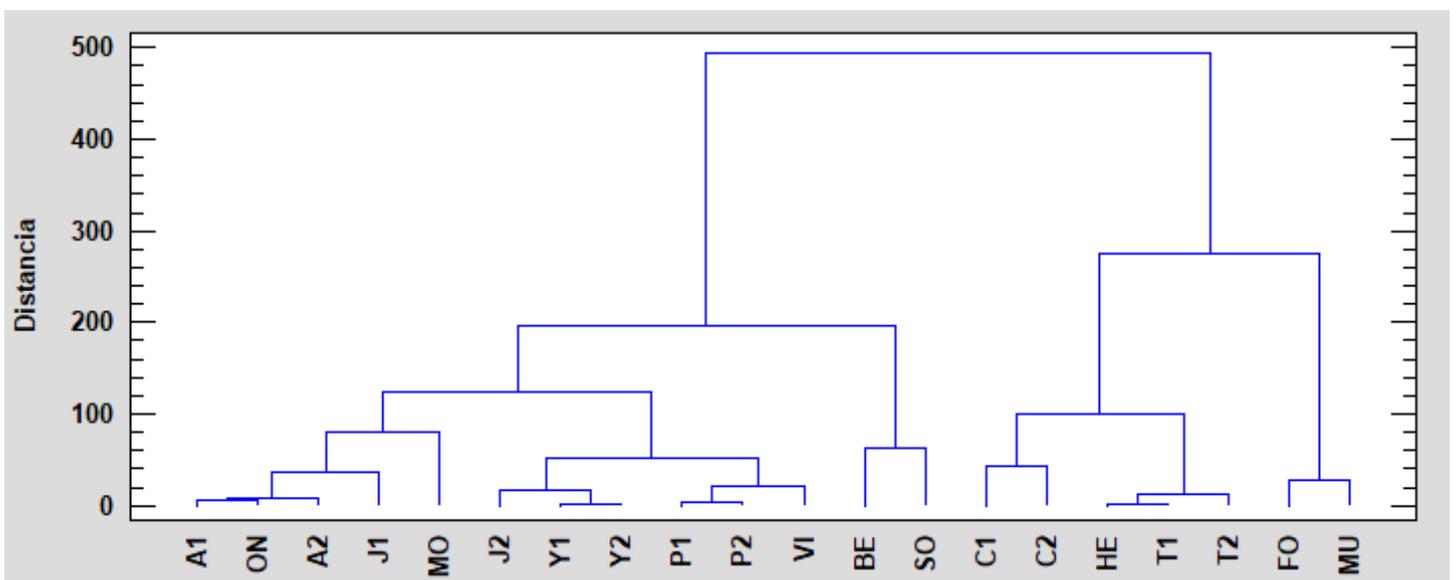


Figura 4. Dendrograma de clasificación de los 20 observatorios según el método de Ward

Se han definido las siguientes 8 clases que han sido numeradas atendiendo a la altitud media de los observatorios que las definen:

- Clase 1: MU, FO
- Clase 2: C1, C2
- Clase 3: J2, P1, P2, VI, Y1, Y2
- Clase 4: HE, T1, T2
- Clase 5: A1, A2, ON, J1
- Clase 6: SO
- Clase 7: MO
- Clase 8: BE

La agrupación de los observatorios parece ser coherente, y al mismo tiempo permite establecer diferencias en el término de Jumilla, al ubicar los dos observatorios locales en clases distintas.

En la Tabla 5 se muestran los valores medios de las 8 clases climáticas en las que se han agrupado los 20 observatorios analizados. Al numerar las clases de acuerdo con la altitud media de los observatorios que las componen se aprecia con claridad el descenso de los valores de las variables térmicas con el incremento de altitud, así como el incremento de las precipitaciones.

Estas tendencias no son tan manifiestas en algunas variables como las correspondientes a la evapotranspiración o el inicio del periodo libre de heladas (ILH) que reflejan un comportamiento más heterogéneo entre clases.

Tabla 5. Valores centrales de las clases climáticas obtenidas con el modelo completo

Variable	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8
Altitud	127	303	561	629	677	750	823	955
Tmed	19,2	17,3	15,5	16,9	15,4	14,8	15,0	14,7
Tmax	24,9	23,5	22,2	23,0	21,5	19,9	22,0	19,7
Tmin	13,5	11,1	8,8	10,8	9,3	9,6	8,3	9,5
PPTmed	291	270	306	332	351	473	541	508
ETP_tw	1025	907	822	891	831	807	811	785
ETP_pm	1231	1242	1244	1234	1198	1078	1268	1063
IAM	9,9	9,9	12,0	12,4	13,8	19,1	21,6	20,6
IAE	35,1	30,5	33,6	37,0	37,1	53,2	54,8	62,0
ISE	0,8	0,8	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	2,1
ICG	25,7	28,0	27,7	28,6	33,0	33,2	32,0	27,4
ITR	421	354	305	345	283	270	282	285
IMR1	160,5	104,2	66,2	47,3	30,4	45,0	23,2	18,4
IMR2	24,7	26,3	13,6	13,9	15,9	12,3	12,9	6,6
IMR3	19,2	17,8	11,3	11,9	10,8	10,0	10,0	6,1
ITE	3391	2710	2213	2600	2246	2105	2132	1969
IPH	3131	2890	2620	2851	2686	2491	2661	2322
PHB	7,6	6,6	5,6	6,4	5,8	5,5	5,5	5,1
IBH	26,1	24,4	18,4	19,4	16,6	11,6	10,2	10,0
IFN	19,3	16,9	14,2	16,1	14,7	15,1	14,0	14,4
IS	-98,9	-113,0	-109,8	-108,9	-100,5	-50,6	-106,8	-19,4
IPA	0	35	65	52	71	77	77	77
FPA	0	352	329	341	320	316	321	321
DPA	360	316	264	289	249	240	244	245
FHP	0	0	57	0	52	52	70	0
ILH	43	78	105	83	101	101	114	99
DRH	43	42	40	31	31	25	37	22

III.1.2.1.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se ha realizado el análisis con los datos centrados y reducidos de las 26 variables. A través del proceso de diagonalización se obtienen los autovalores o valores propios, que son las varianzas de las nuevas componentes (Tabla 6).

Tabla 6. Autovalores obtenidos en el ACP del modelo completo

	Autovalores		
	Valores propios	% Varianza	% Acumulado
Componente 1	17,18	66,08	66,08
Componente 2	4,21	16,18	82,26
Componente 3	1,37	5,28	87,54
Componente 4	1,19	4,60	92,14
Componente 5	0,86	3,30	95,44

Como se observa en la Tabla 6 los primeros cinco componentes principales explican el 95,44% de la inercia total de los datos, los dos primeros explican el 82,26% y los tres primeros el 87,54%.

También se han obtenido en el análisis los correspondientes autovectores, que son las coordenadas de las variables en los ejes o componente principales (Tabla7). Se han destacado para cada componente principal las cuatro variables que mayor peso tienen sobre él.

Tabla 7. Coordenadas de las variables en los cinco primeros componentes

	Tmed	Tmax	Tmin	PPTmed	ETP_tw	ETP_pm	IAM	IAE	ISE	ICG	ITR	IMR1	IMR2
Comp. 1	0,236	0,226	0,209	-0,160	0,231	0,103	-0,183	-0,138	-0,184	-0,128	0,231	0,185	0,188
Comp. 2	0,082	-0,107	0,234	0,271	0,101	-0,372	0,235	0,357	0,197	-0,028	0,092	0,020	-0,053
Comp. 3	0,058	0,090	0,029	0,290	0,139	0,201	0,247	0,135	-0,108	0,624	-0,076	-0,288	0,087
Comp. 4	0,004	0,143	-0,119	0,291	0,020	0,260	0,269	0,268	0,145	-0,251	0,063	0,308	-0,059
Comp. 5	0,113	0,192	0,014	0,043	0,052	0,326	0,007	0,047	0,291	-0,211	0,176	-0,251	-0,465
	IMR3	ITE	IPH	PHB	IBH	IFN	IS	IPA	FPA	DPA	FHP	ILH	DRH
Comp.1	0,222	0,233	0,222	0,230	0,226	0,217	-0,098	-0,235	-0,165	0,236	-0,151	-0,214	0,120
Comp. 2	-0,020	0,094	-0,020	0,079	-0,117	0,200	0,407	-0,083	-0,182	0,068	-0,259	-0,213	-0,282
Comp.3	0,051	0,125	0,305	0,192	-0,124	0,086	-0,255	0,025	-0,079	-0,065	0,135	0,010	-0,043
Comp.4	-0,073	0,022	-0,029	-0,051	-0,151	-0,076	-0,008	-0,106	-0,319	0,088	0,218	0,100	0,516
Comp. 5	-0,262	0,046	0,141	0,088	-0,013	-0,035	-0,203	0,046	0,281	0,048	-0,410	0,023	-0,070

Esta información, junto con la extraída de la matriz de correlación, permite seleccionar aquellas variables que sin estar correlacionadas entre sí mejor explican la variabilidad del conjunto de datos.

En la Figura 5 se muestra la distribución de los observatorios sobre los dos primeros componentes principales.

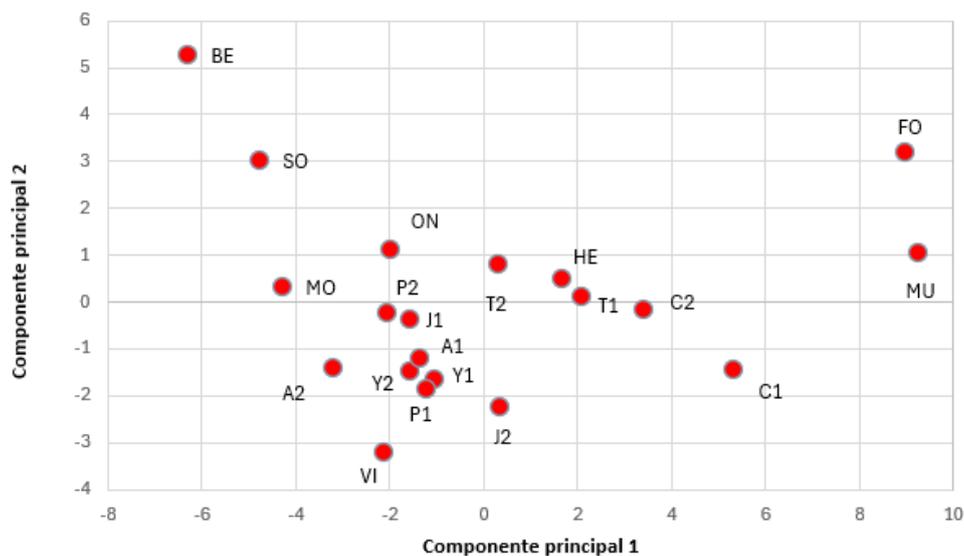


Figura 5. Representación gráfica de los observatorios sobre los dos primeros componentes de ACP del modelo completo.

III.1.2.2. Modelo reducido

Se ha procedido a reducir de forma progresiva el número de variables. Para ello se ha tenido en cuenta la importancia de cada una de ellas en cuanto a su interés para evaluar las potencialidades vitícolas y su peso estadístico en los análisis realizados.

Finalmente se han utilizado 3 variables: la integral térmica eficaz (ITE), el índice de aridez de Emberger (IAE), y el índice de continentalidad de Gorcynski (ICG).

El resultado ha sido muy satisfactorio ya que en los análisis del modelo reducido se han llegado a clasificaciones y conclusiones muy semejantes a las extraídas del modelo completo, que incluso cuentan con mayor capacidad de discriminación entre los observatorios más próximos al término municipal de Jumilla.

III.1.2.2.1. Clasificación automática

Con la estrategia de Ward, y empleando únicamente las variables ITE, IAE, e ICG, se obtiene un dendrograma que define adecuadamente las clases climáticas (Figura 6).

Al igual que en el caso de Jumilla, hay dos observatorios en los municipios de Albacete, Cieza, Pinoso, Tobarra y Yecla. A excepción del caso de Jumilla cuyos observatorios están dispersos por el término municipal, estos pares de observatorios están muy próximos en el espacio. La clasificación automática obtenida con el modelo reducido, al igual que sucedía con el modelo completo, agrupa en las mismas clases todos estos observatorios.

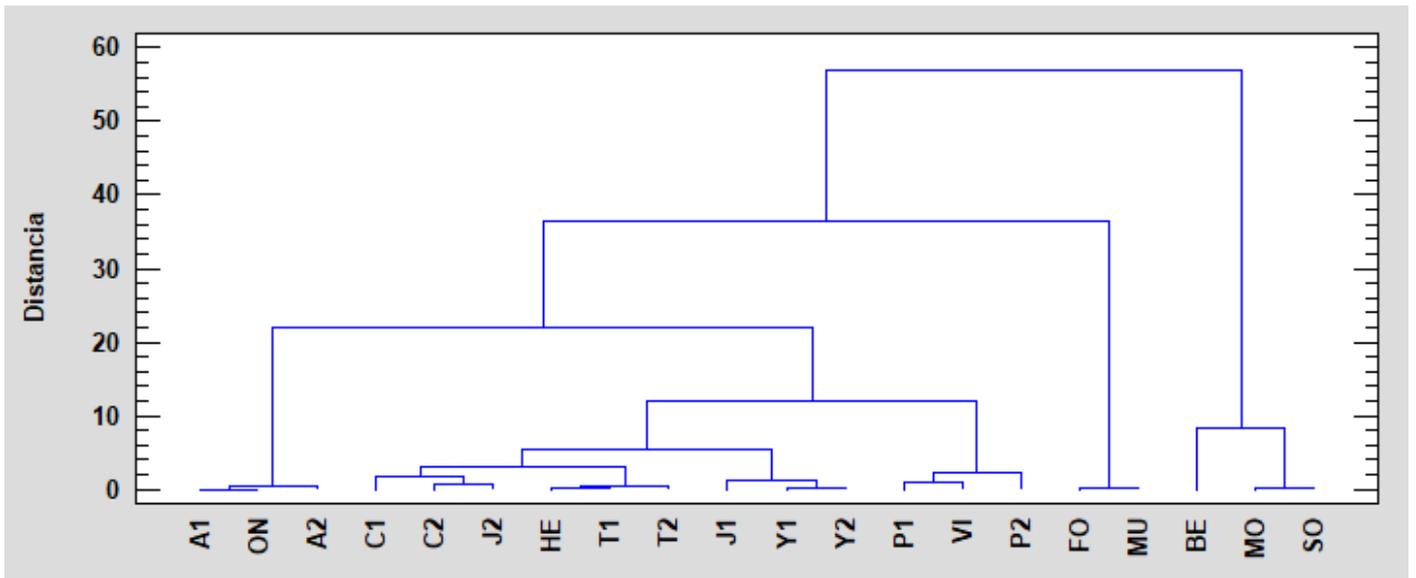


Figura 6. Dendrograma de clasificación de los 20 observatorios según el método de Ward con el modelo reducido

Se han definido las siguientes 8 clases que igual que con el modelo completo han sido numeradas de menos a mayor atendiendo a la altitud media de los observatorios que las definen:

- Clase 1: MU, FO
- Clase 2: C1, C2, J2
- Clase 3: P1, P2, VI
- Clase 4: HE, T1, T2
- Clase 5: J1, Y1, Y2
- Clase 6: A1, A2, ON,
- Clase 7: MO, SO
- Clase 8: BE

La agrupación de los observatorios parece ser coherente, y al mismo tiempo permite establecer diferencias en el término de Jumilla, al ubicar los dos observatorios locales en clases distintas.

El observatorio de Jumilla “El Albal” se agrupa con las estaciones de Cieza, mientras que el observatorio de Jumilla “Fuente del Pino” se agrupa con las de Yecla. Las tres estaciones alicantinas también se agrupan, así como las de Hellín con las de Tobarra y las de Albacete con la de Ontur.

En la Tabla 8 se muestran los valores medios de las 26 variables para las nuevas clases propuestas.

Tabla 8. Valores centrales de las clases climáticas obtenidas con el modelo reducido.

Variable	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5	Clase 6	Clase 7	Clase 8
Altitud	127	363	545	629	635	683	787	955
Tmed	19,2	16,9	15,3	16,9	15,5	15,3	14,9	14,7
Tmax	24,9	23,4	21,9	23,0	21,8	21,6	21,0	19,7
Tmin	13,5	10,5	8,6	10,8	9,3	9,0	8,9	9,5
PPTmed	291	279	302	332	330	349	507	508
ETP_tw	1025	892	807	891	825	833	809	785
ETP_pm	1231	1262	1227	1234	1210	1214	1173	1063
IAM	9,9	10,4	12,0	12,4	12,9	13,8	20,4	20,6
IAE	35,1	30,8	33,9	37,0	36,2	36,1	54,0	62,0
ISE	0,8	0,9	1,2	1,2	1,1	1,3	1,3	2,1
ICG	25,7	28,3	26,2	28,6	29,7	33,9	32,6	27,4
ITR	420,8	344,2	301,9	345,1	301,2	276,5	276,1	285,0
IMR1	160,5	87,8	90,7	47,3	31,8	32,1	34,1	18,4
IMR2	24,7	21,0	14,4	13,9	14,1	16,4	12,6	6,6
IMR3	19,2	15,6	10,9	11,9	12,0	10,5	10,0	6,1
ITE	3391	2621	2126	2600	2226	2255	2118	1969
IPH	3131	2866	2533	2851	2641	2708	2576	2322
PHB	7,6	6,4	5,4	6,4	5,7	5,8	5,5	5,1
IBH	26,1	23,2	18,0	19,4	17,3	16,7	10,9	10,0
IFN	19,3	16,2	13,9	16,1	14,6	14,6	14,5	14,4
IS	-98,9	-118,5	-100,8	-108,9	-100,3	-109,4	-78,7	-19,4
IPA	0	43	66	52	68	71	77	77
FPA	0	346	328	341	327	318	319	321
DPA	360	302	263	289	258	247	242	245
FHP	0	17	58	0	50	58	61	0
ILH	43	85	107	83	100	104	108	99
DRH	43	42	41	31	32	33	31	22

III.1.2.2.2. Análisis de Componentes Principales (ACP)

Se ha realizado el análisis con los datos de las 3 variables centrados y reducidos. Tras el proceso de diagonalización se han obtenido los autovalores, que son las varianzas explicadas por las nuevas componentes y los autovectores, que son las coordenadas de las variables en las nuevas componentes (Tabla 9).

Al ser sólo tres variables, el conjunto de los 3 primeros componentes explica la totalidad de la inercia de los datos. Los 2 primeros componentes explican el 82% de la varianza de los datos, por lo que se considera que el análisis de estos dos primeros componentes es suficiente para la interpretación de los datos.

Tabla 9. Autovalores y autovectores obtenidos en el ACP con tres variables

	Autovalores			Autovectores		
	Valores propios	% Varianza	% Acumulado	ITE	IAE	ICG
Componente 1	1,722	57,40	57,40	-0,623	0,542	0,569
Componente 2	0,738	24,59	81,99	0,067	0,755	-0,652
Componente 3	0,540	18,01	100,00	0,780	0,368	0,507

De acuerdo con los resultados que se muestran en la Tabla 9, el primer componente se asocia a valores bajos de ITE y a valores altos de continentalidad (ICG) y del índice de aridez (IAE). El segundo componente está asociado principalmente a valores altos del índice de aridez (IAE) y valores bajos de continentalidad (ICG).

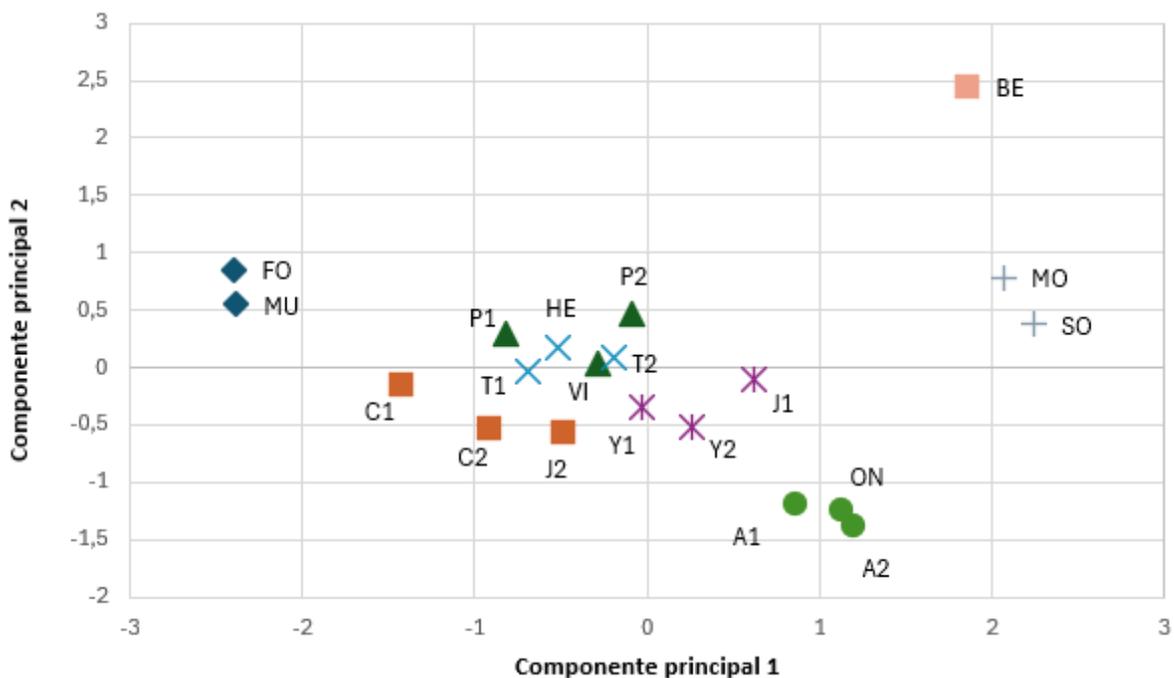


Figura 7. Representación gráfica de los observatorios sobre los componentes principales del modelo reducido.

En la Figura 7 se muestra la representación de las estaciones meteorológicas analizadas en el estudio sobre los componentes principales resultantes del ACP del modelo de 3 variables. Los observatorios de una misma clase han sido representados por el mismo marcador.

En la figura se aprecian detalles interesantes como la posición aislada de la estación de Benizar, que justifica su presencia en solitario en una clase. También cabe destacar la capacidad del modelo para discriminar las estaciones de la Clase 1 (FO, MU), las de la Clase 6 (A1, A2, ON) y las de la Clase 7 (MO, SO). Por el contrario, las estaciones de la Clase 3 (P1, P2, VI) y las de la Clase 4 (HE, T1, T2) se representan entremezcladas en el modelo. Por su parte, las estaciones de la Clase 2 (C1, C2, J2) y la Clase 5 (J1, Y1, Y2) aparecen agrupadas, en posiciones periféricas sobre las estaciones de las Clases 3 y 4.

III.1.3 CLASIFICACIÓN DEL CLIMA VITÍCOLA

A continuación, en la Tabla 10, se muestran los resultados de la clasificación de las clases climáticas resultantes según la Geoviticulture Multicriteria Climatic Classification System propuesta por Tonieto y Carbonneau [27].

Tabla 10. Clasificación de las clases climáticas según la Geoviticulture MCC System.

	Índice de Huglin (IH)		Índice de frescor nocturno (IFN)		Índice de sequía (IS)	
Clase 1	3131	Muy cálido	19,3	Noches cálidas	-98,9	Sequía moderada
Clase 2	2866	Cálido	16,2	Noches templadas	-118,5	Sequía fuerte
Clase 3	2533	Cálido	13,9	Noches frías	-100,8	Sequía fuerte
Clase 4	2851	Cálido	16,1	Noches templadas	-108,9	Sequía fuerte
Clase 5	2641	Cálido	14,6	Noches templadas	-100,3	Sequía fuerte
Clase 6	2708	Cálido	14,6	Noches templadas	-109,4	Sequía fuerte
Clase 7	2576	Cálido	14,5	Noches templadas	-78,7	Sequía moderada
Clase 8	2322	Templado cálido	14,4	Noches templadas	-19,4	Sequía moderada

Según la clasificación climática geovitícola de Tonieto y Carbonneau la Clase 1 presenta un clima muy cálido de noches cálidas durante maduración y sequía moderada, semejante al de la región de Petrolina en Brasil.

Por su parte, las Clases 2, 4, 5 y 6 presentan un clima vitícola cálido de noches templadas y sequía fuerte, semejante al de Jerez o al de la región de Toulon en Francia.

La Clase 3 presenta un clima cálido de noches frías y sequía fuerte, similar al de las regiones portuguesas de Evora y Lisboa.

El clima vitícola de la Clase 7 se clasifica como cálido, de noches templadas y sequía moderada, que la propia publicación de la clasificación [27] identifica como el clima de las zonas vitícolas de la Región de Murcia en España.

Por último, la Clase 8 se clasifica como clima templado cálido, de noches templadas y sequía moderada, como el de las regiones de Montpellier (Francia), Rávena (Italia) y Tarragona (España).

De acuerdo con los resultados obtenidos es interesante destacar que el límite entre la sequía fuerte y la sequía moderada se sitúa en los -100 m, y que 5 de las 8 clases climáticas definidas en el estudio presentan valores en un rango de 10 mm sobre ese umbral.

III.1.4 PROYECCIONES CLIMÁTICAS

La clasificación climática realizada se ha llevado a cabo con la serie de datos de los 20 años comprendidos entre enero del año 2000 y diciembre de 2019. Para evaluar la tendencia climática en las clases se han seleccionado aquellos observatorios pertenecientes a las clases que presentaban más completa la serie de datos de los 40 años comprendidos entre 1980 y 2019. Lamentablemente, de los observatorios estudiados muy poco tienen una serie con suficientes datos.

Se ha estudiado la tendencia de la temperatura media, la precipitación media y del índice de frescor nocturno, de aquellas clases que en el siguiente capítulo definirán Zonas Climáticas dentro del término municipal de Jumilla que concretamente son la Clase 2 (C1, C2, J2), la Clase 3 (P1, P2, VI), la Clase 5 (J1, Y1, Y2), la Clase 6 (A1, A2, ON) y la Clase 7 (MO, SO).

Para analizar las tendencias de la Clase 2 se ha usado la serie de datos de la estación de Cieza Picarcho (C2), para la Clase 3 la estación de Villena, para la Clase 5 la estación de Yecla CHS, para la Clase 6 la estación de Albacete Obs., y para la Clase 7 la estación de Socovos.

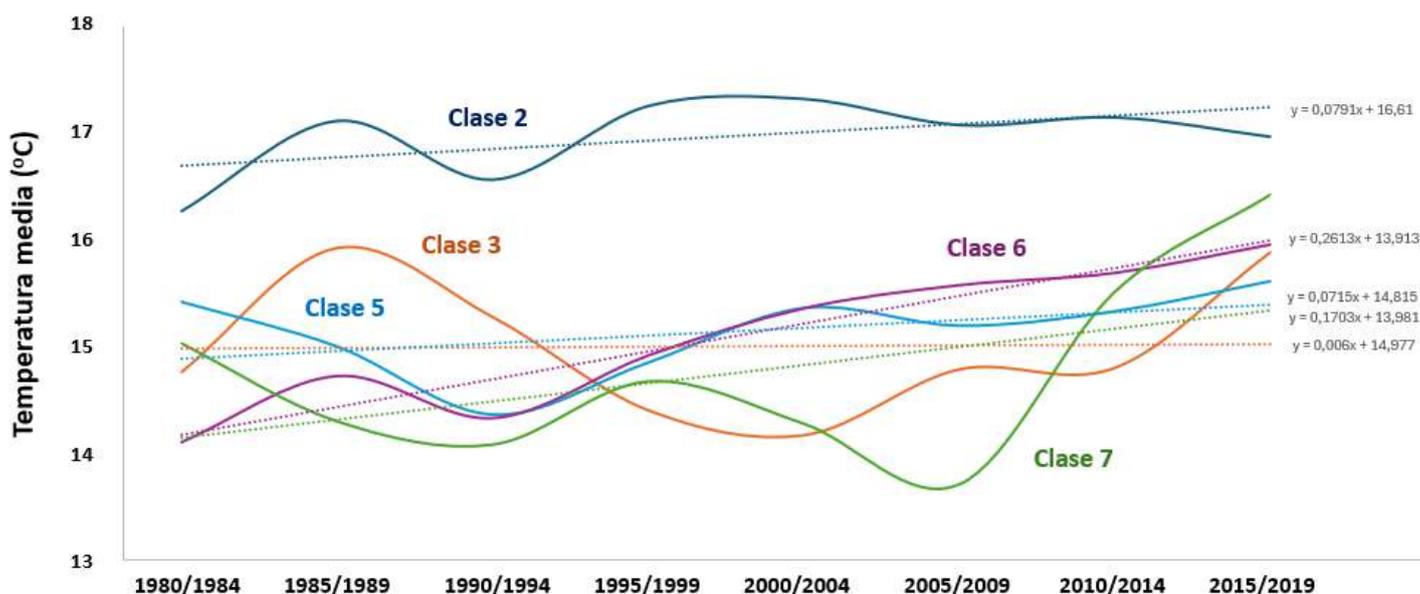


Figura 8. Evolución de la temperatura media desde 1980 a 2019 en las distintas clases climáticas.

En la Figura 8 se observa que la evolución de la temperatura media durante el periodo estudiado no es homogénea entre las clases climáticas definidas, sino que por el contrario cada una lleva una dinámica particular.

Esta irregularidad también se observa en la Figura 9 y en la Figura 10, donde se representan la evolución de la precipitación media y del índice de frescor nocturno respectivamente.

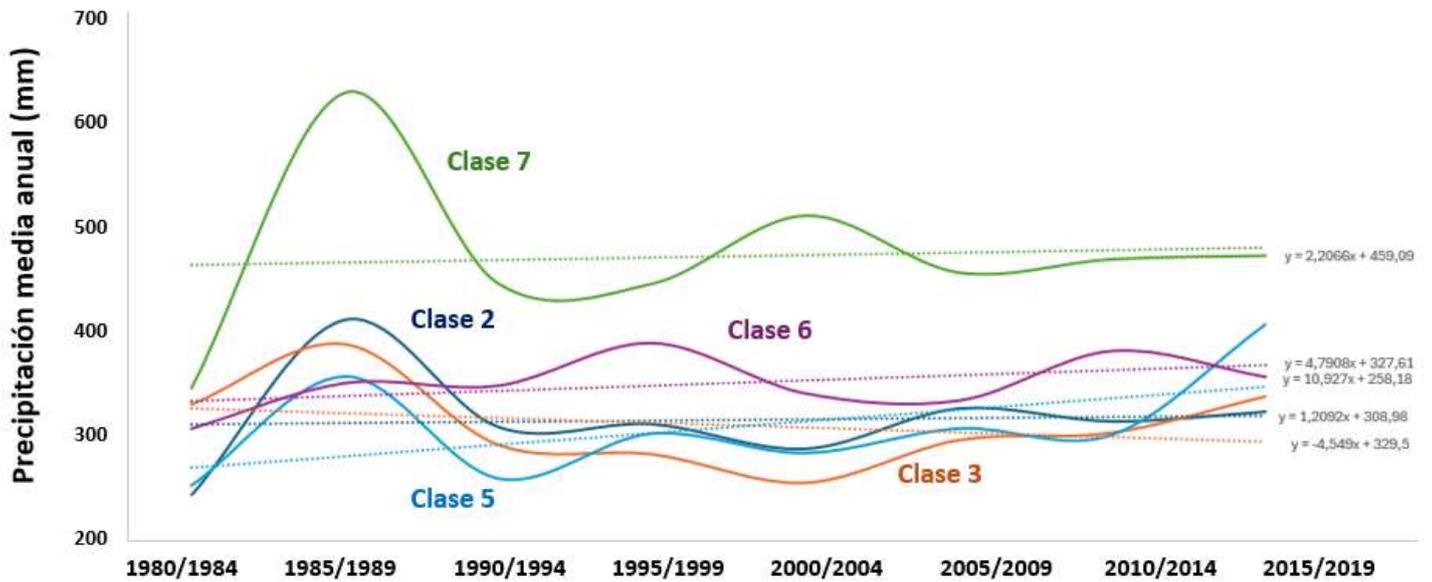


Figura 9. Evolución de la precipitación media desde 1980 a 2019 en las distintas clases climáticas.

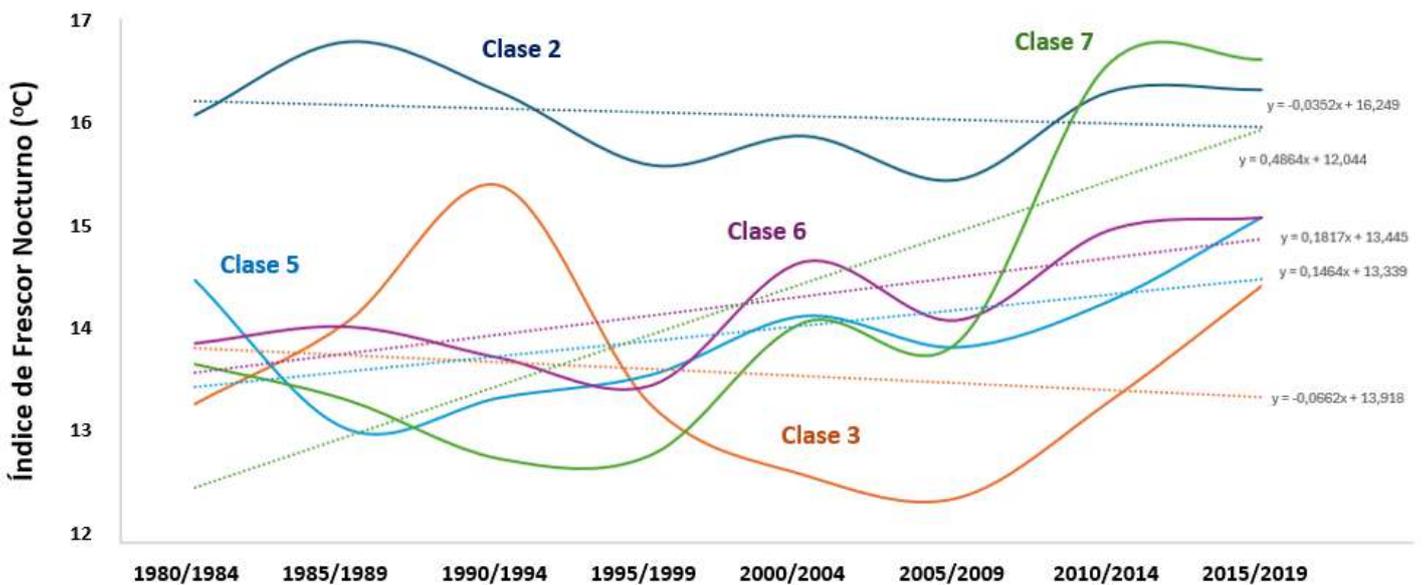


Figura 10. Evolución del índice de frescor nocturno desde 1980 a 2019 en las distintas clases climáticas.

Para cada una de las curvas representadas en las figuras anteriores se ha calculado la línea de tendencia que se corresponde con la recta de regresión lineal. La pendiente de esas rectas representa la tasa de incremento de las distintas variables para cada periodo de 5 años. Con estos valores se ha calculado la tasa de incremento de la temperatura, la precipitación y del índice de frescor nocturno en las cuatro décadas comprendidas entre 1980 y 2019.

Tabla 11. Tasa de incremento medio de la temperatura media anual (Tmed), de la precipitación media anual (PPTmed), y del índice de frescor nocturno(IFN) entre los años 1980 y 2019 en los observatorios de las clases estudiadas.

	Tmed °C/decada	PPTmed mm/década	IFN °C/decada
Clase 2	0,16	2,40	-0,07
Clase 3	0,01	-9,00	-0,13
Clase 5	0,14	21,80	0,29
Clase 6	0,52	9,60	0,36
Clase 7	0,34	4,40	0,97

El análisis de los resultados que se muestran en la Tabla 11 evidencia un claro incremento térmico en los observatorios que se encuentran a mayor altitud, lo cual es preocupante ya que significa que las zonas más frescas están calentándose a mayor ritmo.

En lo que se refiere a las precipitaciones anuales la magnitud de las variaciones observadas no supone una amenaza para el cultivo.

III.1.5 ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

Desde los años 90 del siglo XX la mayoría de los científicos han admitido la realidad del cambio climático provocado por la actividad humana [28], y en particular por el incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Ante esta realidad, y dado que el clima es un factor clave de la producción vitivinícola, numerosos trabajos [29;30] han abordado tanto los efectos del cambio climático en viticultura como las estrategias de adaptación al mismo.

Los factores ambientales que más inciden sobre el desarrollo de la viña y la calidad del producto son la temperatura, el estado hídrico y la radiación.

Las fechas de brotación, floración y envero están controladas por la temperatura hasta tal punto que se pueden predecir con modelos basados únicamente en la temperatura. Ésta también afecta a la maduración de la uva aumentando la acumulación de azúcares, reduciendo el contenido en antocianos y disminuyendo la acidez de la uva.

El estado hídrico de la planta depende de factores edafológicos, de la precipitación, de la evapotranspiración y del área foliar. El déficit hídrico afecta a la fotosíntesis, al crecimiento de los pámpanos, reduce el tamaño de la uva e incrementa el contenido en taninos y antocianos. Un déficit hídrico excesivo provoca daños en las hojas y detiene la maduración de la uva.

El efecto de la radiación es menos conocido porque es difícil de evaluar separadamente del efecto de la temperatura, aunque algunos trabajos [31] han mostrado que el contenido en antocianos en la uva aumenta con la intensidad de la luz.

Los resultados obtenidos al analizar la evolución climática en el término municipal de Jumilla entre los años 1980 y 2019 evidencian un aumento de las temperaturas que en algunas zonas del término municipal alcanzan los 0,5 °C/década. Este incremento de las temperaturas supone un adelanto en los estados fenológicos de la planta y una vendimia más temprana, que complica la producción de vinos de calidad debido a los desequilibrios crecientes entre la madurez alcohólica y la madurez fenólica en la uva.

Aunque los resultados no evidencian una disminución significativa de las precipitaciones en el término municipal de Jumilla, el incremento de las temperaturas supone un incremento de la evapotranspiración que, a igualdad de precipitaciones, supone un aumento del estrés hídrico de la planta. En regiones vitícolas mediterráneas donde el clima ya es seco o muy seco, el aumento del déficit hídrico, además de reducir el tamaño de la uva y los rendimientos, puede alterar la fotosíntesis y producir necrosis foliar [29].

Las estrategias de adaptación se pueden llevar a cabo a nivel de bodega o a nivel de viñedo. Cada estrategia de adaptación tiene un nivel de efectividad, unos costes, un tiempo de implantación, y una serie de condicionantes socioeconómicos para su implantación.

Las primeras son relativamente más fáciles, menos costosas y su impacto es más inmediato, aunque no representan una solución sostenible a medio y largo plazo. Estas medidas a nivel de bodega hacen referencia a modificaciones de las prácticas enológicas [32], que pueden ser interpretadas como medidas paliativas de los efectos adversos que el incremento de las temperaturas y del estrés hídrico produce en la composición de la uva y el mosto para mantener la calidad del vino.

Las estrategias a nivel de viñedo plantean más dificultades de tipo socioeconómico, pero al mismo tiempo representan una solución sostenible a medio y largo plazo [33]. A continuación, se enumeran una serie de medidas a nivel de viñedo para la adaptación a escenarios de elevadas temperaturas y de incremento del estrés hídrico que son aplicables en el término municipal de Jumilla.

- **Elección del material vegetal**: Para evitar la pérdida de calidad producida por las altas temperaturas durante la maduración hay que procurar retrasar la fenología de la planta. En este sentido se pueden emplear portainjertos que inducen un ciclo más largo, para retrasar la maduración de 7 a 10 días, o variedades de maduración tardía. Igualmente hay portainjertos muy resistentes a la sequía, como 140 Ruggeri y 110 Richter, y variedades mejor adaptadas al déficit hídrico. En este sentido, variedades mediterráneas como Monastrell y Garnacha, presentan una resistencia mucho mayor a la sequía que variedades atlánticas como Sauvignon Blanc o Merlot.

- **Sistemas de conducción:** Los troncos más elevados reducen la temperatura en la zona del racimo y limitan las temperaturas máximas en suelos secos y con elevada pedregosidad superficial. No obstante, la conducción tradicional en vaso está perfectamente adaptada frente a la sequía y al estrés hídrico. Este sistema limita el uso de agua combinando una baja área foliar (menos transpiración) y rendimientos bajos (menos necesidad de fotosíntesis). También son recomendables los sistemas desparramados como el tipo “sprawl”, ya que evitan una excesiva exposición a la radiación y reducen el riesgo de sobremaduración [34]. Los sistemas en vaso plantean muchos problemas para la mecanización, mientras que los sistemas desparramados si que permiten la vendimia mecánica.

- **Poda tardía:** Realizar la poda a finales de febrero o marzo retrasa la brotación y, consecuentemente, el resto de los estados fenológicos.

- **Ubicación del viñedo:** En regiones vitícolas con relieves montañosos se pueden establecer nuevos viñedos en cotas más elevadas, ya que debido al gradiente altimétrico las temperaturas medias descienden 0,65°C por cada 100 metros de elevación. En regiones vitícolas áridas o expuestas a condiciones de sequía, el establecimiento de viñedos en suelos con, al menos, una capacidad de retención de agua del suelo moderada puede paliar los efectos del déficit hídrico. En el caso concreto de Jumilla, sería recomendable establecer los nuevos viñedos en las umbrías de los relieves montañosos que atraviesas el término municipal.

- **Manejo del suelo:** El uso de cubiertas vegetales o la implantación de técnicas de mínimo laboreo ayudan a reducir la radiación de calor del suelo lo que reduce la temperatura en la zona de los racimos y previene la erosión del suelo en episodios de lluvias fuertes [35]. No obstante, la cubierta vegetal consume recursos hídricos que en esta zona son necesarios para el desarrollo del viñedo. El uso de cubiertas inertes, como el mulch de paja, puede reducir la evapotranspiración y aumentar el contenido de carbono orgánico del suelo [36].

- **Riego:** El riego es otra medida para evitar los daños causados por un estrés hídrico excesivo. No obstante, este no debe ser la primera opción para adaptar un viñedo a un déficit hídrico creciente. Además, el riego puede incrementar la salinidad del suelo cuando la lluvia invernal no es suficiente para lavar las sales acumuladas a través del riego. Las viñas son muy sensibles a la salinidad por lo que su acumulación puede hacer los suelos inviables para la producción de uva. Cuando el riego es la única opción para mantener el viñedo se deben implementar técnicas de riego deficitario para, al mismo tiempo, ahorrar agua y optimizar el potencial de calidad de la uva [29; 37].

III.2. ZONIFICACIÓN

En este apartado se muestran los resultados de la zonificación del clima y de la zonificación del viñedo.

III.2.1 CLIMA

Como ya se introdujo en el apartado 2.3 del Capítulo MATERIALES Y MÉTODOS, el gradiente de temperaturas con la altitud se manifiesta muy claramente en los observatorios analizados. De hecho, si se comparan los valores de la temperatura media anual de cada clase con la altitud media de los observatorios que definen la clase se observa una tendencia lineal muy evidente con un coeficiente de correlación entre ambas variables $R^2 = 0,7987$.

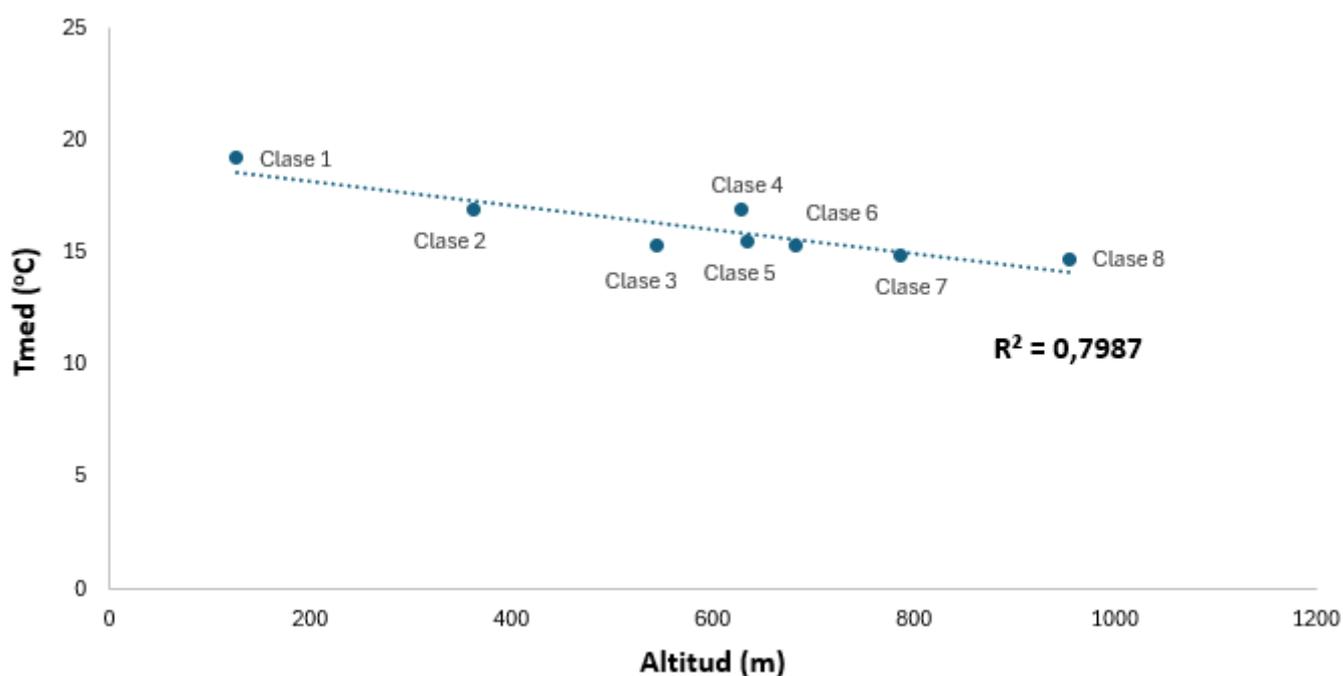


Figura 11. Representación gráfica de la Tmed frente a la Altitud de los observatorios, con la recta de regresión correspondiente y la calidad de su ajuste (R^2).

Para delimitar cartográficamente las zonas propuestas se ha establecido como criterio que la altitud representativa media de dos zonas contiguas es el límite entre ambas zonas.

No obstante, la Clase 4 (HE, T1, T2) y la Clase 5 (J1, Y1, Y2) tienen prácticamente la misma altitud representativa. Dado que la estación de Jumilla “Fuente del Pino” está en la Clase 5, se ha considerado que la clase contigua de la Clase 3 es la Clase 5, extrayendo la Clase 4 de la representación gráfica de las zonas climáticas presentes en el término municipal de Jumilla.

De manera análoga, la Clase 7 (MO, SO) y la Clase 8 (BE) tienen una temperatura media anual semejante pese a presentar una diferencia de altitud superior a 150m. Por este motivo se ha extraído la Clase 8 de la representación gráfica de las zonas climáticas presentes en el término municipal de Jumilla, extendiendo la representación de la Clase 7 hasta 50 m por encima del límite del viñedo en Jumilla que se sitúa en los 920 m.

Con las premisas anteriormente descritas se ha elaborado el Mapa de Zonificación Climática del término municipal de Jumilla (Figura 12).

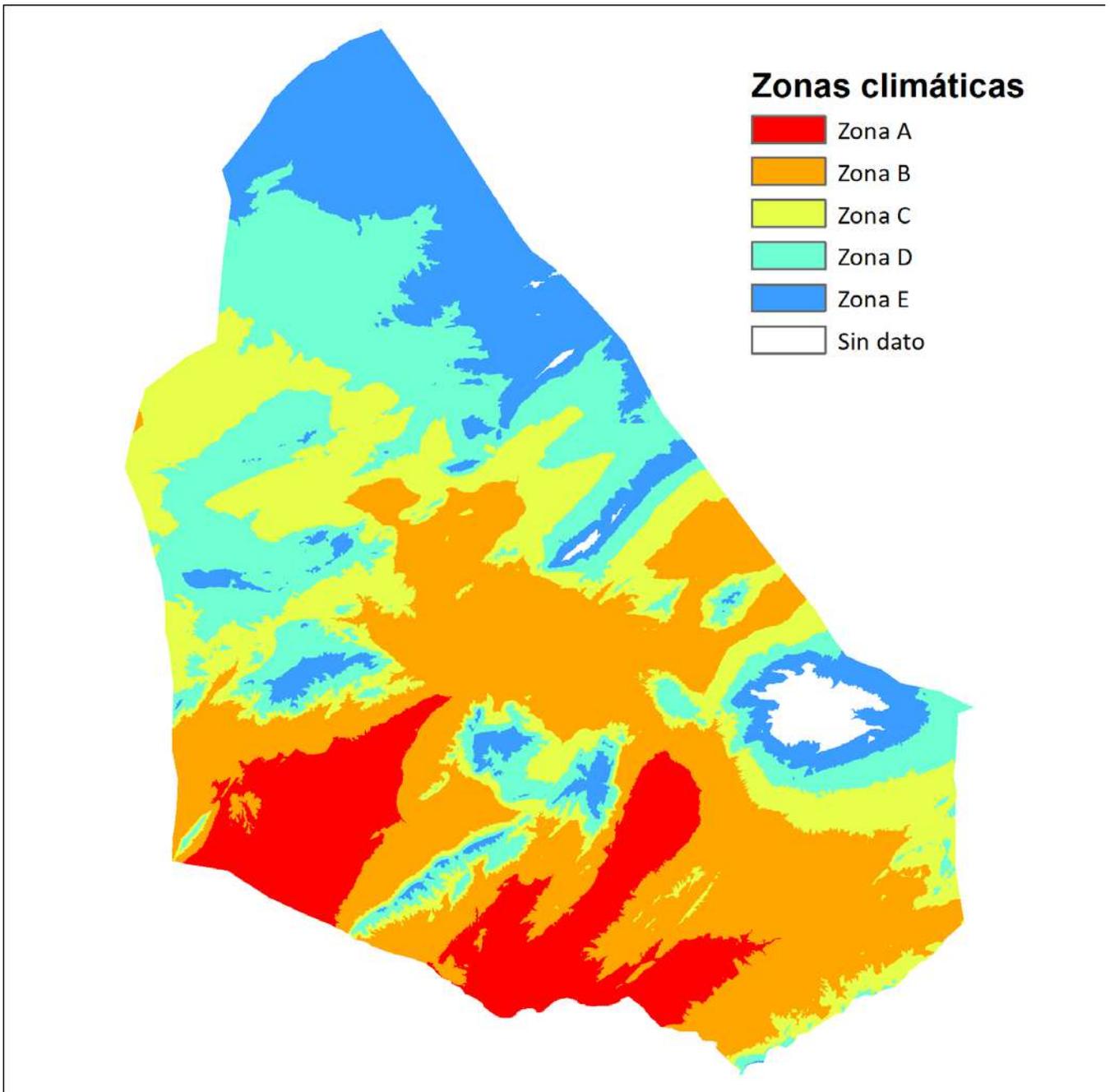


Figura 12. Mapa de Zonificación Climática del término municipal de Jumilla.

La **Zona climática A** se sitúa entre los 245 y los 454 m, ocupa una superficie de 11.015 hectáreas y está caracterizada por la Clase 2 (C1, C2, J2). El clima vitícola de esta Zona A se define como cálido, de noches templadas, y sequía fuerte. Según el índice de continentalidad de Gorcynski presenta clima continental y según el índice de aridez Emberger es semiárido. Atendiendo a los valores de la integral térmica eficaz [20] esta Zona A se encuentra en la región V (Muy cálida).

La **Zona climática B** se sitúa entre los 454 y los 587 m, ocupa una superficie de 28.993 hectáreas y está caracterizada por la Clase 3 (P1, P2, VI). El clima vitícola de esta Zona B se define como cálido, de noches frías, y sequía fuerte. Según el índice de continentalidad de Gorcynski presenta clima continental y según el índice de aridez Emberger es semiárido. Atendiendo a los valores de la integral térmica eficaz [20] esta Zona B se encuentra en la región IV (Cálida).

La **Zona climática C** se sitúa entre los 587 y los 658 m, ocupa una superficie de 19.332 hectáreas y está caracterizada por la Clase 5 (J1, Y1, Y2). El clima vitícola de esta Zona C se define como cálido, de noches templadas, y sequía fuerte. Según el índice de continentalidad de Gorcynski presenta clima continental y según el índice de aridez Emberger es semiárido. Atendiendo a los valores de la integral térmica eficaz [20] esta Zona C se encuentra en la región V (Muy cálida).

La **Zona climática D** se sitúa entre los 658 y los 763 m, ocupa una superficie de 21.516 hectáreas y está caracterizada por la Clase 6 (A1, A2, ON). El clima vitícola de esta Zona D se define como cálido, de noches templadas, y sequía fuerte. Según el índice de continentalidad de Gorcynski presenta clima muy continental y según el índice de aridez Emberger es semiárido. Atendiendo a los valores de la integral térmica eficaz [20] esta Zona D se encuentra en la región V (Muy cálida).

La **Zona climática E** se sitúa entre los 763 y los 970 m, ocupa una superficie de 14.731 hectáreas y está caracterizada por la Clase 7 (MO, SO). El clima vitícola de esta Zona E se define como cálido, de noches templadas, y sequía moderada. Según el índice de continentalidad de Gorcynski presenta clima muy continental y según el índice de aridez Emberger es subhúmedo. Atendiendo a los valores de la integral térmica eficaz [20] esta Zona E se encuentra en la región IV (Cálida).

Por encima de los 970 m no se dispone de datos representativos para caracterizar el clima.

III.2.2 VIÑEDO

Según los datos de viñedo de 2020 empleados en este trabajo, la superficie total de viñedo en el término municipal de Jumilla es de 9.973 hectáreas, lo que representa el 10,3% de la superficie total del término municipal.

La Figura 13 refleja la localización de las parcelas de viñedo dentro del término municipal de Jumilla. Como se puede observar

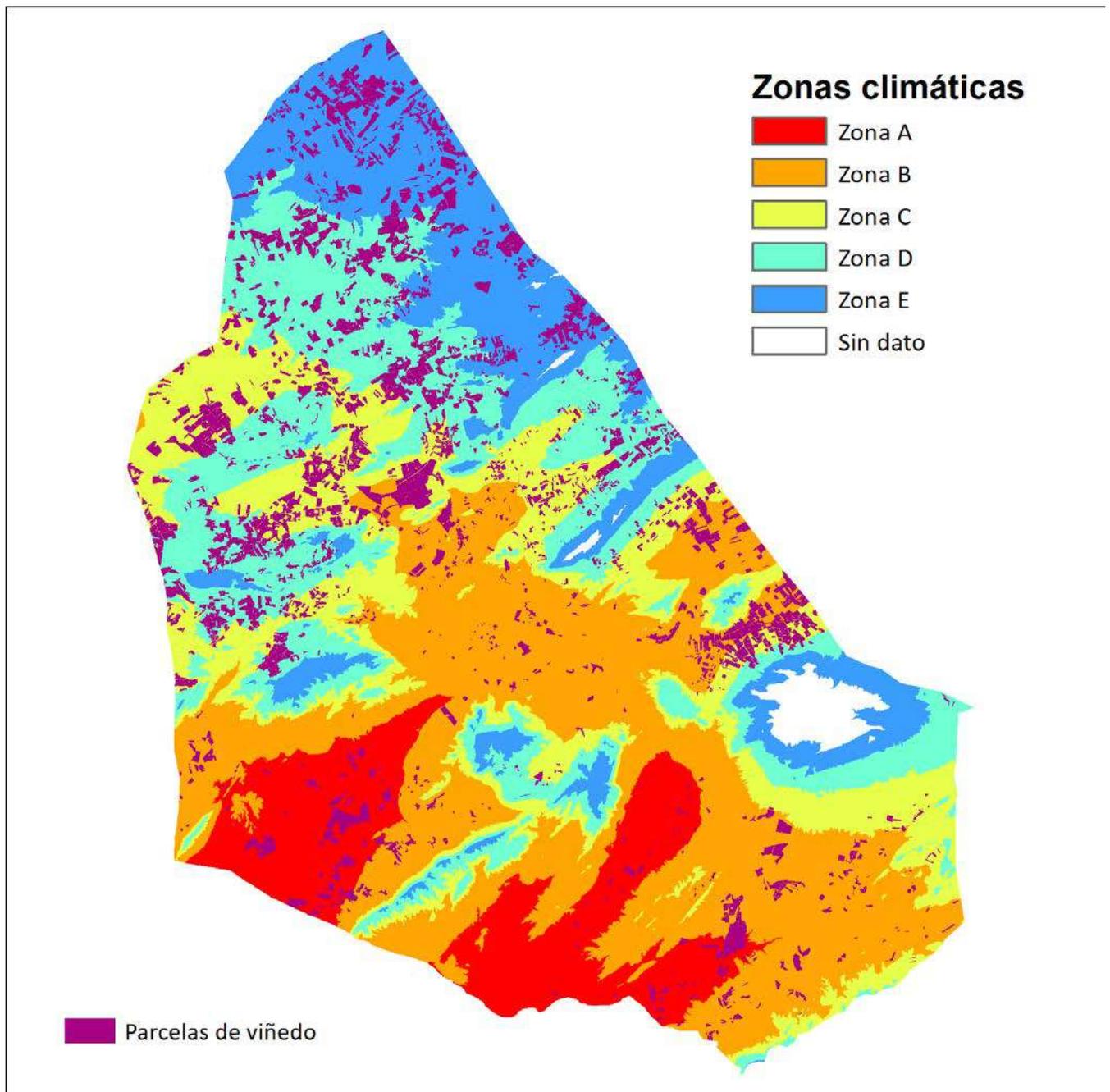


Figura 13. Mapa de Zonificación Climática del término municipal de Jumilla con la situación del viñedo.

El análisis de la distribución diferencial de este viñedo en las Zonas establecidas (Figura 14) permite extraer las correspondientes conclusiones climáticas. Se ha calculado un índice de ocupación para conocer el área relativa de cada zona climática que está ocupada por viñedo. Los resultados de la distribución del viñedo, representados en la Figura 14, presentan una situación bien definida.

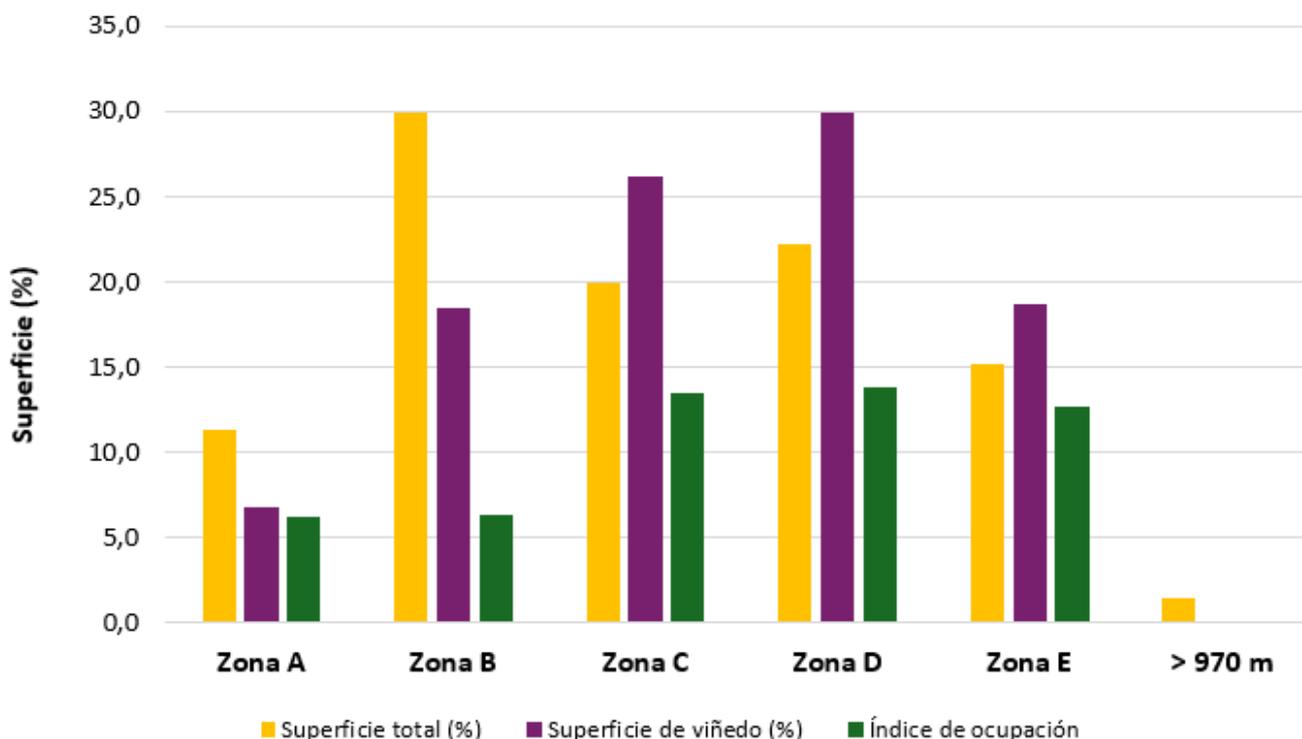


Figura 14. Distribución del viñedo por Zonas Climáticas.

En todas las zonas climáticas definidas hay presencia de viñedo, lo que viene a corroborar la aptitud de toda la superficie del término municipal de Jumilla situada por debajo de los 920 m sobre el nivel del mar para el cultivo de la vid. Sin embargo, la distribución del viñedo no es equitativa entre las zonas climáticas.

Las Zonas C, D y E presenta un índice de ocupación que duplica al de la Zonas A y B. La Zona A y la Zona B comprenden el 41,3% de la superficie total del término municipal de Jumilla, y en ellas se ubica el 24,3% del viñedo. Por el contrario, en el 57,3% del término incluido en las Zonas C, D, y E se localiza el 75,7% del viñedo. El índice de ocupación en las Zonas C, D, y E es bastante parejo, presentando unos valores del 13,48%, el 13,86% y el 12,64% respectivamente.

IV. CONCLUSIONES

La red de estaciones meteorológicas de la AEMET ubicadas en el área de estudio es escasa (2), por lo que se han incluido en el análisis 18 estaciones meteorológicas con datos termoplumiométricos ubicadas fuera del término municipal de Jumilla. Además de la escasez de estaciones, salvo pocas excepciones las que hay cuentan con unas series de datos bastante incompletas.

El análisis estadístico de los datos climáticos manifiesta que los observatorios de la zona se agrupan de manera estable entre sí. Basado en los resultados del análisis del modelo estadístico completo de 26 variables climáticas y del modelo estadístico reducido de 3 variables se han agrupado los observatorios estudiados en 8 clases climáticas.

La elevada correlación entre la altitud de los observatorios y las variables térmicas se ha podido dividir en función de sus alturas el término municipal de Jumilla en 5 Zonas climáticas caracterizadas y en un área residual de la que no se dispone de observaciones meteorológicas.

Estas 5 Zonas (A, B, C, D, y E) en las que se ha dividido el área de estudio corresponden con las Clases (2, 3, 5, 6 y 7 respectivamente) obtenidas en los análisis estadísticos.

La Zona climática A, ubicada en el área suroccidental del término municipal, se sitúa entre los 308 y los 454 m, ocupa una superficie de 11.015 hectáreas, presenta un índice de ocupación de viñedo del 6,18% y está caracterizada por las observaciones meteorológicas de las estaciones de Cieza “Bomberos”, Cieza “Picarcho” y Jumilla “El Albal” (C1, C2, J2). El clima vitícola de esta Zona A se define como cálido, de noches templadas, y sequía fuerte.

La Zona climática B se sitúa entre los 454 y los 587 m, ocupa una superficie de 28.993 hectáreas, presenta un índice de ocupación de viñedo del 6,18% y está caracterizada por las estaciones de Pinoso, Pinoso “I.E.S.” y Villena (P1, P2, VI). El clima vitícola de esta Zona B se define como cálido, de noches frías, y sequía fuerte.

La Zona climática C se sitúa entre los 587 y los 658 m, ocupa una superficie de 19.332 hectáreas, presenta un índice de ocupación de viñedo del 13,48%, y está caracterizada por los observatorios de Jumilla “Fuente del Pino”, Yecla, y Yecla “C.H.S.” (J1, Y1, Y2). El clima vitícola de esta Zona C se define como cálido, de noches templadas, y sequía fuerte.

La Zona climática D se sitúa entre los 658 y los 763 m, ocupa una superficie de 21.516 hectáreas, presenta un índice de ocupación de viñedo del 13,86%, y está caracterizada por las estaciones de Albacete “Observatorio”, Albacete “Los Llanos”, y Ontur “Grupo Escolar” (A1, A2, ON). El clima vitícola de esta Zona D se define como cálido, de noches templadas, y sequía fuerte.

La Zona climática E, ubicada principalmente en la parte norte del término, se sitúa entre los 763 y los 970 m, ocupa una superficie de 14.731 hectáreas, presenta un índice de ocupación de viñedo del 12,64%, y está caracterizada por las estaciones de Molinicos y Socovos. El clima vitícola de esta Zona E se define como cálido, de noches templadas, y sequía moderada.

El análisis diferencial en cada clase de datos de observación del periodo de 40 años comprendido entre 1980 y 2019 ha permitido identificar una tendencia positiva de las temperaturas que en algunos observatorios supone un incremento que supera los 0,5 °C a la década. Escenario que requerirá en los próximos años la adopción de estrategias de adaptación a las nuevas condiciones.

Especialmente relevante es el hecho de que los mayores incrementos de temperatura, duplicando y triplicando las tasas de otras zonas, se producen en las zonas más frescas del término municipal.

En este sentido se describen en el trabajo algunas estrategias de adaptación del sector vitivinícola al cambio climático que requerirán el impulso decidido de los agentes implicados en el sector para garantizar la sostenibilidad económica, social y medioambiental del sector vitivinícola en el término municipal de Jumilla.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Vedel, A. 1984. La qualite intrinseque des vins en rapport avec les facteurs qui conditionnent le terroir. Bull. l'OIV, 643-644: 787-796.
- [2] Fregoni, M. 1985. Ecosistemi viticoli ed invecchiamento dei vini. Vignevini, 1-2: 27-32.
- [3] Riou, C., A. Carbonneau, N. Becker, A. Calo, A. Costacurta, V. Sotés, V. Gómez-Miguel, R. Castro, L. Carneiro, L. Panagiotou. 1991. Le determinisme climatique de la maturation du raisin et de sa tener en sucre. Rapport groupe d'expert CEE DGVI "Zonage viticole". 90pp.
- [4] Branas, J. 1946. Éléments de Viticulture Générale. Montpellier.
- [5] Winkler, A.J. 1962. Viticultura. Ed. Continental. 792pp.
- [6] Constantinescu, G. 1967. Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticole d'une région et du choix des cépages appropriés. Bull. l'OIV: 1179-1205.
- [7] Huglin, P. 1978. Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. C.R. Acad. Agric. France: 1116-1127.
- [8] Hidalgo, L. 1980. Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. Común. INIA Ser. Producción Vegetal, 29:255pp.
- [9] Riou, C., R. Morlat, C. Asselin. 1995. Une approche intégrée des terroirs viticoles: discussions sur les critères de caracterisation accesibles. Bull. l'OIV, 767-768: 93-106.
- [10] Becker, N. 1978. Critères écologiques de la délimitation des vignobles septentrionaux. Bull. l'OIV, 565: 179-183.
- [11] Becker, W. 1994. The effect of climate on grape ripening: application to the zoning of sugar content in the European Community. Centre Commun de Recherche. CCE. Bruxelles. 319 pp.
- [12] Carbonneau, A., C. Riou, D. Guyan, J. Riou, C. Schneider. 1992. Agrometeorologie de la vigne en France. Centre Commun de Recherche. CCE.
- [13] Carbonneau, A. 1980. Recherche sur les systèmes de conduite de la vigne: essai de maîtrise du microclimat et de la plante entière pour produire économiquement du raisin de qualité. Thèse Université de Bordeaux. II, 240pp.
- [14] Huglin, P. 1987. Influence du climat sur la qualite du vin. Simp. Int. Santa María della Versa-Boni (Pavia): 3-7.

- [15] Jackson, D.I., P.B. Lombard. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and quality. A review: *Am. J. Enol. Vitic.*, 44(4): 409-430.
- [16] Berre, M.L., P. Uvietta. 1987. *La vigne et le climat*. Simp. Int. Santa María della Versa-Boni (Pavia): 179.
- [17] Matassa, P., B. Di Lena, F. Antenucci. 1992. Gli indici bioclimatici applicati in un primo studio delle potenzialità viticole dell'Abruzzo. *Vignevini*, 3: 37-40.
- [18] Maracchi, G., F. Benincasa, G. Zipoli. 1983. *Elementi di Agrometeorologia*. CNR-IATA, Firenze.
- [19] Costacurta, A., G. Roselli. 1980. Critères climatiques et édaphiques pour l'établissement des vignobles. *Bull. l'OIV*, 596: 773-786.
- [20] Amerine, M.A., A.J. Winkler. 1944. Composition and quality of musts and wines of Californian grapes. *Hilgardia*, 15: 493-673.
- [21] Intrieri, C., S. Turri, P. Volpelli, S. Poni, E. Magnanini, A. Zanotti. 1988. Rapporti tra clima e fenología nel vitigno "Albana". *Vignevini*, 6: 53-60.
- [22] Coombe, B.G. 1987. Influence of temperatura on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae*, 206: 23-35.
- [23] Martín, T. 1972. Caractéristiques bioclimatiques des cépages et des vignobles. Rapport Roumain. *Bull. l'OIV*, 497-498: 600-609.
- [24] Cámara, J., G. Hernando, V. Gómez-Miguel, V. Sotés. 2012. Climate zoning of the Designation of Origin "Arribes" (NW Spain). In *Proceedings of the IX International Terroir Congress, Volume 1(3)*, 25-28.
- [25] Gómez-Miguel, V., V. Sotés, J. Cámara, A. Martínez. 2014. Terroir zoning in Apellation Campo de Borja (Northeast Spain): Preliminary results. *Xth International Terroir Congress 7-10 July 2014, Tokaj, Hungary. IVES Conference Series, Terroir 2014*.
- [26] Organización Internacional de la Vid y el Vino. 2012. Líneas directrices de la OIV sobre metodologías de zonificación vitivinícola a nivel de suelos y clima. Resolución OIV-VITI 423-2012. Aprobada por la Asamblea General el 22 de junio de 2012 en Izmir (Turquía).
- [27] Tonietto, J., A. Carbonneau. 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124(1): 81-97.
- [28] IPCC. 2022. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S.

Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.]). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

- [29] van Leeuwen, C., P. Darriet. 2016. The impact of climate change on viticulture and wine quality. *Journal of Wine Economics*, 11(1): 150-167.
- [30] COAG, 2016. Cambio climático y viñedo en España (No. M-7560–2016). Madrid.
- [31] Spayd, S., J. Tarara, D. Mee, J. Ferguson. 2002. Separation of sunlight and temperatura effects on the composition of *Vitis vinífera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture*, 53(3): 171-182.
- [32] Lobell, D.B., C.B. Field, K.N. Cahill, C. Bonfils. 2006. Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. *Agricultural and Forest Meteorology*, 141(2): 208-218.
- [33] Nicholas, K.A., W.H. Durham. 2012. Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in Northern California. *Global Environmental Change*, 22(2): 483-494.
- [34] Palliotti, A., S. Tombesi, O. Silvestroni, V. Lanari, M. Gatti, S. Poni. 2014. Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. *Scientia Horticulturae*, 178: 43-54.
- [35] Kroodsma, D.A., C.B. Field. 2006. Carbon sequestration in California agriculture, 1980-2000. *Ecological Applications*, 16(5):1975-1985.
- [36] Judit, G., Z. Gabo, D. Ádám, V. Tamas, B. Gyorgy. 2011. Comparison of three soil management methods in the Tokaj wine region. *Mitt. Klosterneuburg*, 61: 187-195.
- [37] García, J.G., A. Martínez-Cutillas, P. Romero. 2012. Financial analysis of wine grape production using regulated déficit irrigation and partial-root zone drying strategies. *Irrigation Science*, 30(3): 179-188.