



TESIS DOCTORAL

**CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN VITÍCOLA DE ESPAÑA MEDIANTE  
ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE VARIABLES BIOCLIMÁTICAS**

**FULGENCIO HONORIO GUIADO**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DEL MEDIO AGRONÓMICO Y FORESTAL**

2016





**TESIS DOCTORAL**

**CARACTERIZACIÓN Y ZONIFICACIÓN VITÍCOLA DE ESPAÑA MEDIANTE ANÁLISIS  
MULTIVARIANTE DE VARIABLES BIOCLIMÁTICAS**

Fulgencio Honorio Guisado

**Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal**

Conformidad de los Director/res:

**Fdo: Francisco Jesús Moral García**

**Fdo: Luis Lorenzo Paniagua Simón**

**Fdo: Francisco Javier Rebollo Castillo**

**2016**



Don Francisco Jesús Moral García, con DNI 30531124G, Doctor Ingeniero Agrónomo que presta sus servicios como Profesor Titular de Universidad, Don Luis Lorenzo Paniagua Simón, con DNI 7872310P, Doctor Ingeniero Agrónomo, que presta sus servicios como Profesor Titular de Escuela Universitaria y Don Francisco Javier Rebollo Castillo, con DNI 8822023M, Doctor Ingeniero en Geodesia y Cartografía, que presta sus servicios como Profesor Contratado Doctor, todos en la Universidad de Extremadura.

CERTIFICAN:

Que la tesis que lleva por nombre “Caracterización y zonificación vitícola de España mediante análisis multivariante de variables bioclimáticas”, presentada por el Licenciado en Enología, D. Fulgencio Honorio Guisado, con DNI 08810958A, ha sido realizada bajo nuestra dirección y, considerando que se trata de un trabajo original de investigación, reuniendo todos los requisitos establecidos, autorizamos su presentación para ser juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que así conste a los efectos oportunos, firmamos el presente certificado en Badajoz, a 9 de octubre de 2015.

Fdo: Francisco Jesús Moral García

Fdo: Luis Lorenzo Paniagua Simón

Fdo: Francisco Javier Rebollo Castillo



## ***AGRADECIMIENTOS***

Bueno, pues llegado este punto que además de ser el último, uno ya tiene los dedos un poco menos agarrotados y si la procrastinación me deja, quisiera agradecer a los “Terroires” el apoyo incondicional a la hora de elaborar este documento y en particular:

A Francisco, por la ayuda en la elaboración, de los mapas, que sin ellos, la tesis, tendría otro color.

A Javier por su ánimo y ayuda en la elaboración de la información geográfica y sobre todo por hacerme ver la luz al final.

A Luis por los ratos de grabaciones, por los ratos de ordenador compartidos, por los ratos de paseos, por las innumerables formulas de Excel, por ....., solo decirte que.....Gracias Luis!.

Pero lo que más os agradezco a todos no es vuestra dirección en este trabajo, si no vuestra AMISTAD.

También quiero agradecer a Abelardo su apoyo incondicional y por discutir con Luis, que sin él, esto sería monocriterio. Y a quien ha sido la visión multicriterio con su opinión, apoyo y por permitirme su amistad, Gracias Nines.

En el campo familiar a mi mujer por su apoyo, por robarle el tiempo, por quitarme de las labores diarias, por su gran capacidad de trabajo, por tenerlo todo controlado, Gracias Teresa. Y a mis hijos por comprender la dedicación para realizar este esfuerzo, Laura, Álvaro..... ¡hoy no me acuesto tarde!!.

También darle las gracias, en particular a Chiqui, por quitarle tiempo a su afición de dar pedales, de ir al gimnasio, por hacerle olvidar que tiene clase, por los paseos cortitos a Elva, por las horas de sueño robadas, por su constancia mental ante las discusiones en silencio y por seguir hacia adelante cuando todo se vuelve en desgana.



*“Pregúntate si lo que estás haciendo hoy, te llevará a dónde quieres estar mañana.”*

*(Walt Disney)*

*“La vida es mucho más pequeña que los sueños”*

*(Rosa Montero)*



*Índice general*

---



## Índice General

	Página
<b>Índice general</b>	
Índice de Tablas y Figuras	1
Índice de Tablas	3
Índice de Figuras	7
Resumen	11
Objetivos generales	17
<b>Introducción general</b>	21
1. El cultivo de la vid	23
2. Influencia de la variabilidad climática en la distribución y el comportamiento de la vid	26
3. Caracterización climática del medio vitícola	33
<b>Capítulo I. Generación de la base de datos</b>	39
1. Introducción	41
1.1. Objetivos.	43
2. Materiales y métodos	43
2.1. Base de datos.	43
2.2. Completado de datos	44
3. Resultados y discusión	45
4. Conclusiones	50
<b>Capítulo II. Caracterización y zonificación climática mediante índices térmicos</b>	51
1. Introducción	53
1.1. Objetivos	57

2. Materiales y métodos	58
2.1. Área de Estudio	58
2.2. Características del medio vitícola	59
2.3. Base de datos.	61
2.4. Índices térmicos.	64
2.4.1. Índice de la temperatura media del periodo de crecimiento.	64
2.4.2. Índice de los grados día de crecimiento.	64
2.4.3. Índice de Huglin.	65
2.4.4. Índice biológico de los grados día efectivos.	65
2.5. Regresión Krigado.	67
2.6. Superficie de viñedo	69
3. Resultados y discusión	69
3.1. Análisis descriptivo de la temperatura y precipitación en las estaciones meteorológicas	69
3.2. Análisis descriptivo de los índices den las estaciones	72
3.3. Análisis descriptivo de los índices por comunidades autónomas	76
3.4. Análisis espacial de los índices	79
4. Conclusiones	87

### **Capítulo III. Aplicación del Sistema de Clasificación Climática**

Multicriterio Geovitícola (SCCMG) a España peninsular	89
1. Introducción	91
1.1. Objetivos.	94
2. Materiales y métodos	95
2.1. Tratamiento de los datos	95
2.2. Índices bioclimáticos del SCCMG	95
2.2.1. Índice heliotérmico de Huglin	96
2.2.2. Índice de frío nocturno	96
2.2.3. Índice de sequía.	97
2.3. Clases de clima vitícola	98

2.3.1. Interpretación de las clases de clima vitícola	100
2.4. Algoritmos de interpolación. Krigado ordinario y regresión-krigeado	102
<b>3. Resultados y discusión</b>	<b>107</b>
3.1. Análisis descriptivo de las estaciones	107
3.2. Análisis descriptivo de los índices por comunidades autónomas	111
3.3. Representación espacial de los índices climáticos según el SCCMG en la península ibérica	113
3.4. Representación espacial de los grupos climáticos según el SCCMG en la península ibérica	120
<b>4. Conclusiones</b>	<b>126</b>
<b>Capítulo IV. Estructura del clima vitícola de España peninsular</b>	<b>127</b>
1. Introducción	129
1.1 Objetivos	132
2. Materiales y métodos	132
2.1. Análisis de componentes principales.	133
2.2. Análisis de conglomerado	135
2.3. Análisis de la varianza (ANOVA)	136
3. Resultados y discusión.	137
3.1. Análisis de componentes principales (ACP)	137
3.2. Análisis de conglomerado	143
3.2.1. Clasificación no jerárquica, K medias.	144
3.3. Análisis de la varianza. Variables de componentes principales.	149
4. Conclusiones	151
<b>Capítulo V. Estudio de la idoneidad climática vitícola en la España peninsular mediante la combinación del modelo de Rasch y técnicas geoestadísticas</b>	<b>153</b>
1. Introducción	155

1.1. Objetivos	159
2. Materiales y métodos	160
2.1 Área de estudio y datos climáticos	160
2.2. Índices climáticos	161
2.3. Categorización de los datos	161
2.4. Modelo de Rasch	162
2.5. Interpolación geoestadística	168
3. Resultados y discusión	170
3.1. Determinación de la idoneidad climática para la viticultura en las estaciones meteorológicas	170
3.2. Distribución espacial de la idoneidad potencial climática para la viticultura	177
4. Conclusiones	182
<b>Conclusiones generales y líneas futuras de investigación</b>	183
<b>Bibliografía</b>	187
<b>Anexos</b>	203
Anexo I. Tablas de clasificación de los índices. GST, GDD, HI, BEDD, CI y DI.	205
Anexo II. Figuras de Clasificación de los índices. GST, GDD, HI, BEDD, CI y DI	213
Anexo III. Mapa de las denominaciones de origen protegidas de vinos de España.	221

*Índice de tablas y figuras*

---



## Índice de Tablas

	Página
Introducción General	21
<b>Tabla 1.</b> Producción en hectolitros de vino por comunidad autónoma y total de España en 2012 (MAGRAMA, 2012)	24
<b>Capítulo I.</b> Generación de la base de datos	39
<b>Tabla 1.</b> Estaciones seleccionadas en la península ibérica y años que abarcan las series climáticas en las mismas	46
<b>Tabla 2.</b> Listado resumen de las estaciones meteorológicas y el número de meses de cada una de ellas, con datos ausentes para la pluviometría en el periodo 1980 a 2010	47
<b>Tabla 3.</b> Listado resumen de las estaciones meteorológicas y el número de meses de cada una de ellas, con datos ausentes para la temperatura máxima y mínima en el periodo 1980 a 2010	48
<b>Tabla 4.</b> Coeficiente de correlación y su cuadrado entre la estación 3935 y 3971	49
<b>Tabla 5.</b> Análisis de la regresión entre la estación 3935 y 3971	49
<b>Capítulo II.</b> Caracterización y zonificación climática mediante	
Índices térmicos	51
<b>Tabla 1.</b> Superficie (ha) de viñedo para uva de vinificación en España en el año 2012 (MAGRAMA, 2012)	60
<b>Tabla 2.</b> Superficie (km <sup>2</sup> ) y elevación (m) de las comunidades autónomas de España peninsular	61
<b>Tabla 3.</b> Datos geográficos de las estaciones meteorológicas utilizadas.	63
<b>Tabla 4.</b> Índices térmicos y sus clases. GST, es el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento, GDD, es el índice de los grados día en el periodo de crecimiento, HI es el índice de Huglin, y BEDD, es el índice de los grados día biológicamente efectivos. <i>Tmax</i> es la temperatura máxima diaria, <i>Tmín</i> es la temperatura mínima diaria y <i>Tmean</i> es la temperatura media diaria	66
<b>Tabla 5.</b> Estadísticos descriptivos para la temperatura media anual (°C) en las estaciones meteorológicas peninsulares durante el periodo 1980-2010	70
<b>Tabla 6.</b> Estadísticos descriptivos para la precipitación media anual (mm) en las estaciones meteorológicas peninsulares durante el periodo 1980-2010	71

<b>Tabla 7.</b> Estadísticos descriptivos de los índices climáticos de las estaciones meteorológicas para el periodo 1980-2010	73
<b>Tabla 8.</b> Frecuencia de cada clase para los índices climáticos en las estaciones meteorológicas peninsulares (nº de estaciones) y para el total de España peninsular (% de superficie), según el resultado de los modelos originados por interpolación geoestadística	74
<b>Tabla 9.</b> Matriz de correlación entre los índices bioclimáticos, longitud, latitud y elevación para las estaciones meteorológicas peninsulares	75
<b>Tabla 10.</b> Valores mínimos, medios y máximos para los índices GST, GDD, HI y BEDD, para cada una de las comunidades autónomas de España peninsular, ordenados por el valor de la media, de menor a mayor. Los valores con igual color, indican que pertenecen a la misma clase dentro de cada índice	77
<b>Tabla 11.</b> Valores en porcentaje (%) para cada clase de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST) en las CC. AA	80
<b>Tabla 12.</b> Valores en porcentaje (%) para cada clase del Índice GDD en las CC. AA	82
<b>Tabla 13.</b> Valores en porcentaje (%) para cada clase del Índice HI en las CC. AA.	84
<b>Tabla 14.</b> Valores en porcentaje (%) para cada clase del Índice BEDD en las CC. AA.	85
 <b>Capítulo III. Aplicación del Sistema Clasificación Climática</b>	
Multicriterio Geovitícola (SCCMG) a España	89
<b>Tabla 1.</b> Clases para los diferentes índices bioclimáticos, índice heliotérmico de Huglin, índice de frío nocturno e índice se sequía	99
<b>Tabla 2.</b> Estadísticos descriptivos de los índices climáticos de las estaciones seleccionadas, para el período. CV, coeficiente de variación (%), HI, índice heliotérmico de Huglin (°C), CI, índice de frío nocturno (°C) y DI, índice de sequía (mm)	107
<b>Tabla 3.</b> Matriz de correlación lineal entre los índices, índice de Huglin (HI), índice de frescor nocturno (CI), índice de sequía (DI) y la longitud, latitud y elevación de las estaciones meteorológicas.	108
<b>Tabla 4.</b> Clasificación según el Sistema CCM Geovitícola para las estaciones empleadas	109
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de las estaciones meteorológicas seleccionadas en la península Ibérica, para cada clase de los índices HI, CI y DI según el SCCMG, en el periodo 1980 a 2010	111
<b>Tabla 6.</b> Valores medios, mínimos y máximos de los índices HI, CI y DI para cada comunidad autónoma de España peninsular, ordenados de menor a mayor con respecto al HI medio	112
<b>Tabla 7.</b> Clasificación del <i>clima vitícola</i> , según el SCCMG para las comunidades autónomas de España peninsular	113
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje del territorio de las comunidades autónomas españolas dentro de cada clase del índice de Huglin HI, según el SCCMG	115

<b>Tabla 9.</b> Porcentaje del territorio de las comunidades autónomas españolas dentro de cada clase del índice de frescor nocturno CI, según el SCCMG	117
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje del territorio de las comunidades autónomas españolas dentro de cada clase del índice de sequía DI, según el SCCMG	119
<b>Tabla 11.</b> Clasificación de algunas denominaciones de origen de España peninsular y su clasificación de <i>grupo climático</i> por el SCCMG, según Sotés et al. (2012)	123
<b>Tabla 12.</b> Valores medios para el índice de Huglin, el índice de frescor nocturno CI y el índice de sequía DI, y de los <i>grupos climáticos</i> , según la calificación del SCCMG, de regiones vitivinícolas europeas, según Jones et al. (2009)	124
<b>Tabla 13.</b> Condiciones climáticas durante la maduración y el impacto de la temperatura en la composición de la baya, según Sotés, 2004	125
<b>Capítulo IV.</b> Estructura del clima vitícola de España peninsular	127
<b>Tabla 1.</b> Estadísticos descriptivos de los índices climáticos, el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST, °C), índice de los grados día durante el periodo de crecimiento (GDD, °C día), índice de Huglin (HI, °C), índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD, °C día), índice de frescor nocturno (CI, °C), índice de sequía (DI, mm), de las estaciones meteorológicas para el periodo 1980 a 2010	137
<b>Tabla 2.</b> Matriz de correlaciones para el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST, °C), el índice de los grados día durante el periodo de crecimiento (GDD, °C día), el índice de Huglin (HI, °C), el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD, °C día), el índice de frescor nocturno (CI, °C), y el índice de sequía (DI, mm), de las estaciones meteorológicas para el periodo 1980 a 2010	138
<b>Tabla 3.</b> Autovalores, porcentaje de varianza explicada y suma de las saturaciones al cuadrado de la extracción, antes y después de la rotación, antes y después de la rotación	140
<b>Tabla 4.</b> Variables explicativas en las dos primeras componentes principales, indicando el valor para cada índice para cada factor. Índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST, °C), índice de los grados día durante el periodo de crecimiento (GDD, °C día), índice de Huglin (HI, °C), índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD, °C día), índice de frescor nocturno (CI, °C), y el índice de sequía (DI, mm)	142
<b>Tabla 5.</b> Número de estaciones o casos en cada conglomerado	144
<b>Tabla 6.</b> Distancia de los centros de los conglomerados	145
<b>Tabla 7.</b> Distancia entre los centros de los conglomerados finales para los 5 grupos	146
<b>Tabla 8.</b> Prueba de la homogeneidad de las varianzas con nivel de significación (sig.) al 0,05 intraclase para los índices: la temperatura media del periodo de crecimiento (GST), índice de los grados día durante el periodo de crecimiento, índice de Huglin (HI), grados día biológicamente efectivos (BEDD)	149
<b>Tabla 9.</b> Valores medios de los índices de cada grupo y la significación estadística de las diferencias entre las medias	149

## Capítulo V. Estudio de la idoneidad climática vitícola en la España

peninsular mediante la combinación del modelo de Rasch

y técnicas geoestadísticas 153

**Tabla 1.** Categorización de los índices según sus clases 171

**Tabla 2.** Matriz con las estaciones y categorización según el valor de la media para los 6 índices empleados 172

**Tabla 3.** Resultados obtenidos después de aplicar el modelo de Rasch: medida de Rasch de cada una de las estaciones para la idoneidad potencial climática vitícola y zona a la que pertenece 174

**Tabla 4.** Valores obtenidos para cada índice. Puntuación total, suma de puntos de la escala común para cada índice teniendo en cuenta todas las estaciones meteorológicas y medida de Rasch para la idoneidad climática vitícola 175

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos para la medida de Rasch 178

**Tabla 6.** Valores medios de los índices climáticos de las tres zonas de España peninsular. Los valores seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). DI, índice de sequía; HI, índice Huglin; CI, índice de frío nocturno; GST, índice de temperatura media en el periodo de crecimiento de la vid, GDD, índice de los grados día de crecimiento y BEDD, índice de los grados día biológicamente efectivos 180

**Anexos** 203

Anexo I Tablas de Clasificación de los Índices GST, GDD, HI, BEDD, CI y DI 205

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos para GST en °C de las estaciones utilizadas 207

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos para GDD en °C-día de las estaciones utilizadas 208

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos para HI en °C-día de las estaciones utilizadas 209

**Tabla 4.** Estadísticos descriptivos para BEDD en °C-día de las estaciones utilizadas 210

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos para el CI en °C de las estaciones utilizadas 211

**Tabla 6.** Estadísticos descriptivos para DI en mm de las estaciones. Utilizadas 212

## Índice de Figuras

	Página
Introducción General	21
<b>Figura 1.</b> Producción de uvas por países en el año 2012 (FAO, 2013), expresadas en millones de toneladas	24
<b>Figura 2.</b> Superficie de viñedo en España en el año 2012 (MAGRAMA, 2012)	25
<b>Figura 3:</b> Límite entre las zonas mediterránea y templada-atlántica. Línea de Wagner obtenida de Enoarquia.com (2015)	28
<b>Figura 4.</b> Representación geográfica de las zonas climáticas donde está presente la viticultura: tropical (0-10° latitud, en rojo), sub-tropical (10-30° latitud, en naranja), templada (30-45° latitud, en verde), fría (> 45° latitud, en azul), según Fregoni y Gatti (2007)	29
<b>Capítulo II.</b> Caracterización y Zonificación Climática Mediante Índices Térmicos	51
<b>Figura 1.</b> Mapa de elevación de la península ibérica. Se indica los límites de las diferentes comunidades autónomas y, las localizaciones de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente trabajo	62
<b>Figura 2.</b> Representación espacial para el índice de la temperatura media en el periodo de crecimiento, GST	80
<b>Figura 3.</b> Representación espacial para el índice de los grados día durante el periodo de crecimiento, GDD	82
<b>Figura 4.</b> Representación espacial para el índice de Huglin, HI	84
<b>Figura 5.</b> Representación espacial para el índice de los grados días biológicamente efectivos, BEDD	85
<b>Capítulo III.</b> Aplicación del Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola (SCCMG) a España	89
<b>Figura 1.</b> Tabla de resultados del SCCMG, con la información de la consulta realizada <i>on line</i> , en la página Web de <a href="http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm">http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm</a>	93
<b>Figura 2.</b> Zonificación de las clases de clima vitícola para el índice de Huglin HI, según el SCCMG	115
<b>Figura 3.</b> Zonificación de las clases de clima vitícola para el índice frescor nocturno CI, según el SCCMG	117
<b>Figura 4.</b> Zonificación de las clases de clima vitícola para el índice	

de sequía DI, según el Sistema CCM Geovitícola	119
<b>Figura 5.</b> Grupos climáticos según el SCCMG y superficie de viñedo en la península Ibérica	122
<b>Capítulo IV.</b> Estructura del clima vitícola de España Peninsular	127
<b>Figura 1.</b> Gráfico de sedimentación de Cattell para las seis componentes estudiadas (índices). El punto de inflexión en la curva (número de componente o factor 3, con autovalor cercano a cero) indica el número de componentes a extraer, en este caso dos	131
<b>Figura 2.</b> Representación gráfica rotada de los seis índices climáticos respecto a la primera y segunda componente principal	143
<b>Figura 3.</b> Representación gráfica de la determinación del número de conglomerados. Indicando el número de factores y su autovalor. Se aprecia que el factor primero que obtiene un autovalor próximo a cero, es el factor 6, indicando que es incapaz de explicar una cantidad relevante de la varianza total, por lo que se deben extraerse 5 factores	144
<b>Figura 4.</b> Representación gráfica de los centroides para los 5 grupos. El eje de abscisas representa la componente térmica y el eje de ordenadas la componente índice de sequía. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la variabilidad explicada por cada componente de la varianza total	145
<b>Figura 5.</b> Estaciones meteorológicas agrupadas según las componentes principales, según los 5 grupos resultantes. El eje de abscisas representa la componente térmica y el eje de ordenadas la componente índice de sequía. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la variabilidad explicada por cada componente de la varianza total	147
<b>Figura 6.</b> Mapa de la península ibérica donde están representadas las estaciones meteorológicas agrupadas por color para cada uno de los 5 grupos	148
<b>Capítulo V.</b> Estudio de la idoneidad climática vitícola en la España peninsular mediante la combinación del modelo de Rasch y técnicas geoestadísticas	153
<b>Figura 1.</b> Área de estudio de la península ibérica. Se indican los límites de las diferentes comunidades autónomas y las localizaciones de las estaciones climatológicas seleccionadas	160
<b>Figura 2.</b> Curva de probabilidad de que una muestra alcance a un determinado ítem	165
<b>Figura 3.</b> Mapa conceptual de la medida de Rasch. Pasos secuenciales del fundamento teórico desarrollado para la aplicación de Rasch a la medida del la idoneidad climática vitícola	166
<b>Figura 4.</b> Distribución de muestras e ítems a lo largo de la línea que	

representa la variable latente	167
<b>Figura 5.</b> Estaciones meteorológicas e índices climáticos vitícolas. La línea recta representa la variable latente: idoneidad climática para la viticultura. Las estaciones están representadas a la izquierda de la línea de acuerdo con su idoneidad potencial para la viticultura: en la parte superior los que tienen mayor idoneidad; en la zona inferior, los que tienen menor idoneidad. Los índices climáticos están a la derecha de la línea: en la zona superior los que tienen menor influencia en la idoneidad potencial climática vitícola (raro); hacia la parte inferior aquellos con mayor influencia en la idoneidad (frecuente). Los índices son: el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento GST, el índice de los grados día en el periodo de crecimiento GDD, el índice de Huglin HI, el índice de los grados día biológicamente efectivos BEDD, el índice de frescor nocturno (CI) y el índice de sequía (DI)	176
<b>Figura 6.</b> Mapa de predicción de las zonas de idoneidad potencial vitivinícola en España peninsular obtenida por kriging ordinario. Se indican los límites de las CC. AA. En verde la actual distribución espacial de los viñedos. En color gris y con transparencia, refleja las zonas con elevación mayor a 1000 m	179
<b>ANEXOS</b>	203
Anexo II. Gráficos de clasificación de los Índices GST, GDD, HI, BEDD, CI, y DI	213
<b>Figura 1 y 2.</b> Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases de GST en °C	215
<b>Figura 3 y 4.</b> Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases de GDD en °C-día	216
<b>Figura 5 y 6.</b> Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases del índice HI en °C-día	217
<b>Figura 7 y 8.</b> Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases, del índice BEDD en °C-día	218
<b>Figura 9 y 10.</b> Clasificación de las estaciones utilizadas según índice CI en °C	219
<b>Figura 11 y 12.</b> Clasificación de las estaciones para el índice DI	220
Anexo III.	221
<b>Figura 1.</b> Mapa de las denominaciones de origen protegidas de vinos de España, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente 2014.	223



## *Resumen*



## **RESUMEN**

El clima está considerado como uno de los factores más influyentes en el correcto desarrollo del cultivo del viñedo, en la formación de sus frutos y, como consecuencia, en la calidad de los productos elaborados a partir de los mismos. Numerosos estudios han puesto de manifiesto que el clima es un componente importante en viticultura, porque relaciona los atributos sensoriales del vino con las condiciones medioambientales en la que es cultivada la uva, lo que se conoce como “*terroir*”.

La zonificación territorial es una herramienta básica para una gestión racional del territorio y de su uso para la aptitud del cultivo de la vid, la demarcación de áreas de producción, el estudio de la idoneidad de nuevas variedades y su interacción con el medio ambiente. Consecuentemente, la caracterización climática vitícola de la España peninsular constituye una tarea de notable interés, lo cual debe efectuarse atendiendo a índices vitícolas que permitan definir zonas (regiones, territorios) mejor adaptadas para el cultivo del viñedo, dando lugar a una herramienta muy útil al sector vitivinícola (técnicos, enólogos, bodegas, viveros, etc.) con el fin de determinar en qué lugares del territorio español se tiene la mayor idoneidad para el cultivo de la vid y conseguir una optimización en la elección de variedades y sistemas de cultivo, todo ello enfocado a la obtención de producciones de calidad y, además, diferenciadoras a la hora de tipificar los vinos. Es por ello que esta tesis cobra especial interés al realizar una exhaustiva clasificación y zonificación climática vitícola que permita avanzar en el conocimiento del medio vitícola de España.

Las estaciones meteorológicas repartidas por el territorio peninsular de España, pertenecientes a la red europea de datos climáticos, sirven de base para la obtención de los datos que permiten conocer las diferentes variables climáticas a lo largo de un periodo mínimo de 30 años. A partir de dicha información homogeneizada se completaron las series que lo precisaron, obteniéndose una base de datos homogénea, fiable y de calidad.

En este trabajo se han empleado los cuatro índices térmicos, desde el punto de vista monocriterio, más utilizados en los estudios a nivel mundial para la clasificación del territorio vitícola: la temperatura media en el periodo de crecimiento (GST), los grados día de crecimiento (GDD), el índice de Huglin (HI) y el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD). Con el fin de representar dichos índices de una forma

continua y georeferenciadas, se ha utilizado un Sistema de Información Geografía (SIG) y se usaron técnicas de interpolación geoestadísticas (krigeado). Como resultado se obtuvo que todos los índices térmicos caracterizan y diferencian el territorio vitícola español, pero es el BEDD el que mejor puede emplearse en la zonificación del territorio, sobre todo al relacionarlo con las variables geográficas como la altitud, la longitud y la latitud.

Con el fin de utilizar un sistema de clasificación vitícola multicriterio muy empleado en el mundo, como es el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola, que además aporta otros índices diferentes a los térmicos indicados con anterioridad, como son los índices de sequía (DI) y de frescor nocturno (CI), se han calculado y representado ambos índices para España. Con base en el sistema de clasificación mencionado se obtuvieron 36 *grupos climáticos* distribuidos en el territorio peninsular español, y mediante las técnicas de representación gráfica con base geoestadística se han representado de forma continua en la península ibérica.

Finalmente, se determinaron qué índices y cuántos son los necesarios para poder realizar una caracterización y zonificación vitícola de España mediante índices bioclimáticos, para lo que se realizó un análisis de componentes principales (ACP) y de agrupamientos. Se obtuvieron 5 grupos que explican la variabilidad encontrada en las estaciones así como de los índices. El ACP, dio lugar a dos componentes principales significativas, una térmica y otra hídrica. Los índices que dominan estas componentes principales son el CI y el DI, respectivamente. El análisis de todos los índices mediante el modelo probabilístico y objetivo de Rasch confirmó los resultados obtenidos en el ACP para la componente principal hídrica (DI), pero no en la componente principal térmica, ya que resultó predominante el BEDD.

## ***SUMMARY***

Climate is considered one of the most influential factors to properly develop a vineyard, to form their fruits and, consequently, the quality of all products elaborated from them. Numerous studies have shown that climate is an important component of viticulture, because it relates the sensory attributes of wine to the environmental conditions in which grapes are grown, which is known as "terroir".

The territorial zoning is a basic tool for the rational management of land and its use for vinegrape growing, the demarcation of production areas, the study of the suitability of new varieties and their interaction with the environment. Consequently, the climatic characterisation of peninsular Spain from a viticultural perspective is a task of considerable interest, which must be done with appropriate indices to define suitable areas (regions, territories) for vineyards, leading to a very useful tool to the viticultural sector (technicians, winemakers, wineries, etc.) in order to determine where the Spanish territory has the highest suitability for growing grapes and achieve an optimization in choosing varieties and farming systems, all it aimed to obtain quality products and also to differentiate wines. That is why this thesis is particularly interesting to conduct a comprehensive climatic zoning classification to advance through the knowledge of vineyards environment in Spain.

The weather stations which belong to the European network were used to obtain data to compute the different climate indices, considering a minimum of 30 years length. From that homogenized information, series were completed and, finally a homogenous database was generated.

Four temperature-based indices, the most used worldwide to classify the territory Growing Season Temperature (GST), Growing Degree Day (GDD), Huglin Index (HI) and Biological Effective Degree Day (BEDD), were utilised for zoning the Spanish territory. Geography Information System (GIS) and geostatistical interpolation techniques (kriging) were used to obtain the spatial patterns of all indices throughout Spain. Results show that all thermal indices characterise and differentiate the Spanish territory, but the BEDD is preferred, especially when it was related to some simple geographic variables, such as latitude, longitude and latitude.

With the aim of using a multicriteria system of viticulture classification Multicriteria Climatic Classification System (MCC System) which is widely used worldwide, and also provides other different indexes such as the Dryness Index (DI) and the Cold Night Index (CI), both indices were computed and represented in Spain. 36 climatic groups were obtained and, using some geostatistical algorithms, their spatial patterns were visualized.

Finally, in order to determine which bioclimatic indexes and how many are needed to perform a characterisation and viticultural zoning in Spain, a principal component analysis and a cluster analysis were conducted. 5 groups were obtained, which explain the variability patterns at stations and between all indices. Two significant principal components, with an hydric and thermal character, explain the spatial variability, being CI and DI the main factors affecting them. The analysis of all indices by objective and probabilistic Rasch model, confirmed the results obtained for hydric main component (DI), but the thermal main component was predominant BEDD.

## *Objetivos generales*



## *Objetivos generales.*

---

El principal objetivo de esta tesis es la caracterización y zonificación desde el punto de vista vitícola el territorio peninsular español mediante el empleo de índices bioclimáticos adecuados para el cultivo de la vid. Para conseguir ese fin se emplearán diversos métodos de análisis multivariante.

Puesto que para la utilización de índices bioclimáticos es necesario el uso de variables climatológicas, el primer objetivo será crear una base de datos homogénea, de calidad y fiable, formada por un número suficiente de series meteorológicas y, con al menos, 30 años, que permita dar validez a los resultados que puedan derivarse de su análisis posterior.

El segundo objetivo será la definición de áreas homogéneas, empleando para ello índices vitícolas que utilicen en su expresión variables basadas en la temperatura. El empleo de estos índices térmicos supone una visión monocriterio a la hora de interpretar la caracterización y zonificación de la península ibérica.

Para solventar el enfoque monocriterio, el siguiente objetivo será proceder, mediante el uso de una técnica multivariante, el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola, utilizando para ello tres índices: dos térmicos y uno hídrico. Esta clasificación aporta una información conjunta de los tres índices, clasificando el clima vitícola en grupos climáticos que pueden ser comparados con otras regiones vitícolas del mundo.

Para la caracterización y zonificación se empleara técnicas de interpolación geoestadísticas, que serán la base para representar gráficamente la variabilidad climática generada por los índices empleados mediante mapas.

El cuarto objetivo será el empleo de técnicas estadísticas, mediante el análisis multivariante de todos los índices empleados, con el propósito de conocer cuáles de ellos representan la mayor variabilidad climática vitícola del territorio español zonificado. Además se procederá, empleando técnicas estadísticas de síntesis de datos, a la determinación de nuevas componentes formadas por los índices y, en base a ellas, se

generarán grupos diferenciados, pero a su vez homogéneos, con las estaciones empleadas, lo que permitirá definir las características de cada uno de estos grupos según los valores de las nuevas componentes.

El último objetivo será la aplicación, de forma novedosa, de la metodología de Rasch junto con técnicas geoestadísticas. Esto permitirá qué estaciones son las que mejor satisfacen las condiciones de los índices y qué zonas del territorio son más idóneas para el cultivo del viñedo, teniendo en cuenta la caracterización y zonificación climática en el territorio de España peninsular.

## Introducción general



## ***Introducción general***

---

### ***1. El cultivo de la vid.***

La vid es un arbusto trepador y vivaz de la familia de las Vitáceas. Su tronco es retorcido y sus vástagos o sarmientos son largos, flexibles y nudosos. Sus hojas son grandes y partidas en cinco lóbulos puntiagudos, con flores de pequeño tamaño, verdosas y agrupadas en racimos compuestos. El fruto es una baya, agrupadas en panículas de tamaño variable.

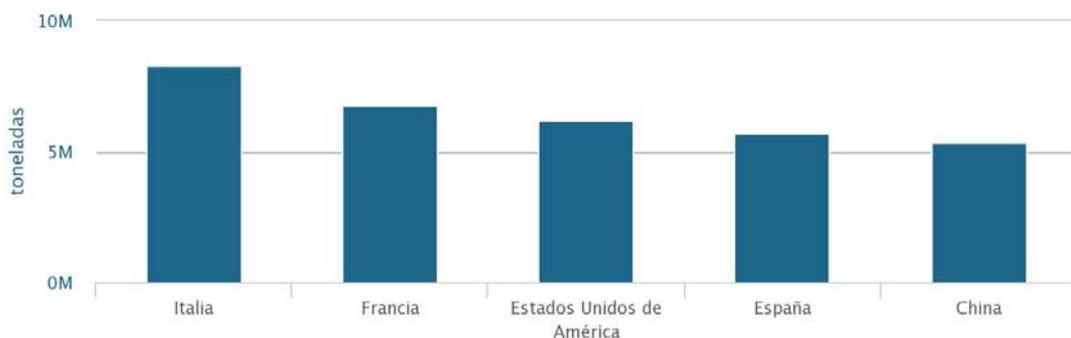
La sistemática botánica sitúa a la vid en la clase Magnoliopsida; orden Vitales; familia Vitaceae, y género *Vitis* (Cronquist, 1981). El género *Vitis* se encuentra dividido a su vez en tres grandes grupos: el grupo de Asia oriental, el grupo americano y el europeo. El grupo de Asia oriental alberga aproximadamente 20 especies de escasa relevancia en la viticultura actual. El grupo americano está compuesto por especies como *Vitis berlandieri* Planchon que fue empleada como material vegetal de base para la obtención de portainjertos de la vides europeas por su resistencia a la filoxera (*Phylloxera vastatrix* Planchon). El grupo europeo está compuesto únicamente por *Vitis vinífera* L. y representa, a nivel mundial, la gran mayoría de las vides cultivadas por sus frutos (Pearson y Goheen, 1990).

El origen geográfico de la vid se sitúa entre Europa y Asia central, en la región del Cáucaso, entre el Mar Negro y el Mar Caspio. Los primeros indicios de la actividad vitícola aparecen en esta zona, 5000 años antes de Cristo. A partir de ese momento, el cultivo de la vid fue extendiéndose hacia occidente, pasando por Mesopotamia, Siria, Fenicia, Egipto y Grecia, y de ahí al resto de Europa y del mundo. Los colonos españoles fueron los que introdujeron el cultivo en América, con dos focos principales de penetración por Nueva España (México) y Perú. Partiendo de estos puntos, con uno complementario portugués en Brasil, el cultivo de la vid se extendió por todos los países del continente americano en donde las condiciones climáticas permitieron su cultivo (Hidalgo, 1999).

Según algunas estimaciones, el número de variedades de vid cultivadas en el mundo oscila entre 7000 y 10 000 (Chomé, 2002). Esta gran diversidad se debe a los trabajos que, desde antaño, se han realizado para la mejora de este cultivo, así como a los movimientos migratorios y a los intercambios comerciales, que han contribuido a la implantación global de algunas variedades.

Actualmente la vid es un cultivo ampliamente distribuido, ocupando unas 7,9 millones de hectáreas y encontrándose repartido en los 5 continentes, de las cuales Europa genera casi el 50% de la producción. A su vez, en Europa, destacan Italia, Francia y España, siendo 3 de los 5 países con mayor producción (Figura 1) (OIV, 2012).

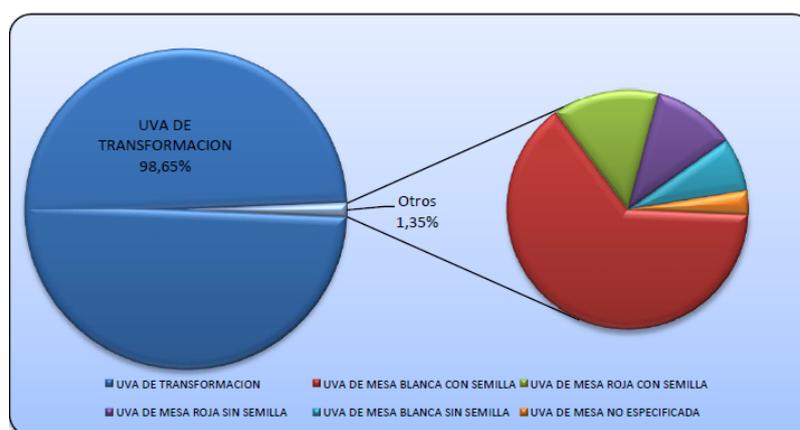
La superficie de viñedo se encuentra distribuida al menos en 40 países (FAO, 2011) por todo el mundo, ocupando el quinto lugar por superficie cultivada. Sin embargo, debido a la sensibilidad que muestra con el clima, se cultiva en zonas con rangos climáticos relativamente estrechos (Jones, 2006), pero a su vez las diferentes regiones vitivinícolas tienen características climáticas muy variadas, proporcionando una gran diversidad en las variedades cultivadas, en la calidad y el estilo de los vinos, y no sólo entre las grandes zonas de producción, sino también en cada región en particular (Gladstones, 1992; Jones y Davis, 2000).



**Figura 1.** Producción de uvas por países en el año 2012 (FAO, 2013), expresadas en millones de toneladas.

En España, existe una gran diferencia en cuanto a superficie cultivada para uva de mesa y uva de vinificación (Figura 2). La superficie de viñedo para vinificación o transformación es de 954 020 ha (MAGRAMA, 2012), representando el 5,6% de la superficie total de cultivo en España. Gran parte de la superficie del viñedo europeo y español ocupa

regiones con características vitivinícolas determinadas, que se agrupan para diferenciarse en la elaboración de sus productos. Así, en la UE, existen entre denominación de origen (D.O.) e indicación geográfica (I.G.) en torno a las 2000, de las que España cuenta con 148 denominaciones registradas de vinos y bebidas espirituosas protegidas, de las que 90 son D.O.P. vitivinícolas (Anexo III, Figura 1), 7 de las cuales pertenecen a la denominación de origen Cava (MAGRAMA, 2014).



**Figura 2.** Superficie de viñedo en España en el año 2012 (MAGRAMA, 2012).

Teniendo en cuenta la producción de vino, España ocupa la tercera posición en la UE después de Francia e Italia, con 33,4 millones de hl, un 18,93 % de la producción de la UE y un 12,49 % de la producción mundial. Respecto a las comunidades autónomas, según los datos del MAGRAMA (2012), la producción total fue de 31 122 560 hl. En la Tabla 1 aparecen enumeradas las 17 comunidades autónomas de España que tienen cultivo de vid y sus producciones de vino.

Según el estudio de la organización internacional de la viña y el vino (OIV) para el periodo 2010-2011, las exportaciones de vino de Europa aumentaron y alcanzaron un nivel de 76 Mhl (más de un 13 % que en 2010), lo que supuso un 74 % de las exportaciones del mundo en 2011 (OIV, 2012). Este incremento se atribuye al crecimiento registrado por los principales exportadores, encabezado por España que registró un importante crecimiento en volumen con un 30,7 % más que en 2010, hasta

alcanzar los 22,4 Mhl, Italia con 23,2 Mhl (más de un 8 % que en 2010), Francia y Portugal, con 14,7 Mhl y 3 Mhl, respetivamente.

**Tabla 1.** Producción en hectolitros de vino por comunidad autónoma y total de España en 2012 (MAGRAMA, 2012).

Comunidades autónomas	Total	%	Vino DOP	Vino IGP	Vinos	
					Varietales	Otros Vinos
Castilla-La Mancha	15 228 896	48,932	2 459 924	2 061 934	2 967.399	7 739 639
Extremadura	2 920 965	9,385	74 130	575 675	103 652	2 167 508
Cataluña	2 736 543	8,793	2 407 628	–	63 935	264 980
C. Valenciana	1 886 062	6,060	1 036 799	4890	223 425	620 948
La Rioja	1 842 677	5,921	1 763 214	1150	–	78 313
Castilla y León	1 711 989	5,501	1481 203	162 669	4448	63 669
Aragón	1 005 157	3,230	867 759	71 320	10 913	55 165
Andalucía	914 666	2,939	589 279	53 125	88 991	183 271
Galicia	729 614	2,344	307 728	637	–	421 249
R. De Murcia	662 600	2,129	305 668	10 458	21 509	324 965
País Vasco	629 154	2,022	629 154	–	–	–
Navarra	582 742	1,872	512 679	70	9568	60 425
Canarias	114 982	0,369	56 561	–	57 799	622
Madrid	113 586	0,365	41 892	–	–	71 694
Baleares	41 149	0,132	29 064	10 624	939	522
P. De Asturias	1350	0,004	667	–	–	683
Cantabria	428	0,001	–	–	428	–
Total España	31 122 560	100,000	12 563 349	2 952 552	3 553 006	12 053 653

## ***2. Influencia de la variabilidad climática en la distribución y el comportamiento de la vid.***

El clima es uno de los principales factores que influyen en la aptitud de cultivos. En el caso particular de la vid, las variables climáticas (la temperatura del aire, la insolación, y la precipitación) son las que afectan de manera más decisiva a su cultivo (Rosenzweig y Hillel, 2008).

Según Hidalgo (1980), la vid es una planta exigente en calor, no solamente para su desarrollo vegetativo, sino para la maduración de sus frutos, que precisan una iluminación y temperaturas adecuadamente altas. Es sensible a las heladas de invierno y de primavera.

Para el cultivo de la vid, las temperaturas medias anuales no deben ser inferiores a los 9°C, situándose el óptimo entre 11° y 18°C, con máximos sensiblemente más elevados, que pueden llegar a sobrepasar los 40°C, e incluso circunstancialmente los 45°C. En el periodo de vegetación, la vid se hiela hacia los -1°C o -1,5°C, en el periodo de reposo resiste hasta los -15°C, concretamente -12°C para las yemas (Andrades, 1991) y para la madera de -16°C a -20°C. Aunque una vez ocurrida la brotación, una exposición a tan sólo -2 °C puede ocasionar la pérdida total de la cosecha.

Precisamente por estas circunstancias climáticas la vid se ha cultivado tradicionalmente en climas no extremos, tipo mediterráneo, estando adaptada a climas biestacionales con ciclos termolumínicos amplios, con prolongados periodos de sequía estival. Cuando la vid sale de este tipo de hábitats mediterráneos, vegeta con ciertas dificultades. En las regiones atlánticas la vid se encuentra, por lo tanto, fuera de su hábitat natural, aunque siempre bajo ciertos componentes mediterráneos, la simple presencia de la vid en estas regiones atlánticas, es prueba suficiente del carácter mediterraneizado de estas regiones.

Europa, está dividida en dos zonas perfectamente delimitadas, que definen regiones vitícolas vocacionalmente distintas (Wagner, 1976), con claras influencias climáticas atlántica y mediterránea (Figura 3). Al sur de la línea divisoria de Wagner, los veranos son cálidos y secos y los inviernos suaves y lluviosos. Por regla general se producen vinos suaves, pastosos, de relativa baja acidez, con graduación alcohólica alta y aromas, que en el caso principalmente de los tintos, se exaltan con la crianza, esta zona ocupa la mayor parte del territorio de la península ibérica (Hidalgo, 1980). Al norte de la línea divisoria de Wagner, el clima es templado, con cuatro estaciones perfectamente diferenciadas, inviernos fríos y temperaturas variables durante el desarrollo vegetativo, pero nunca extremas, teniendo en todo caso una distribución de lluvias que comprende todo el ciclo anual. Por regla general se producen vinos de menor graduación alcohólica y mayor acidez que los vinos mediterráneos, siendo en general más afrutados, importante extremo, sobre todo en los vinos blancos. Así, por ejemplo, esta línea es referenciada en normativas de algunas D.O. para delimitar sus viñedos, como la de Ribera de Duero. También divide a la provincia de Álava, dejando a un lado las plantaciones de chacolí y al otro el viñedo de la Ribera del Ebro (ABRA, 2015).

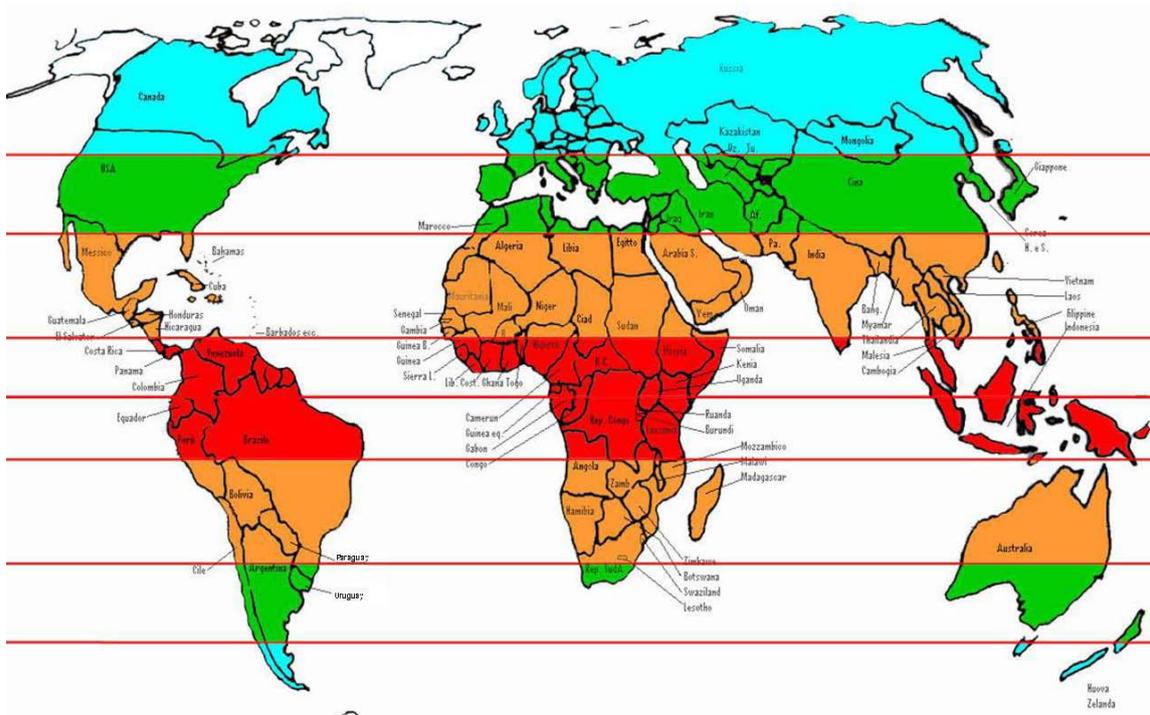


**Figura 3.** Límite entre las zonas mediterránea y templada-atlántica. Línea de Wagner obtenida de Enoarquia.com (2015).

La altitud, es un factor topográfico que incide sobre la temperatura, haciendo que la temperatura media decrezca cuando aumenta ésta, atenuándose las diferencias a partir de los 500 metros (Hidalgo, 2012). La altitud disminuye las posibilidades de cultivo de la vid en el límite septentrional de su cultivo en el hemisferio boreal, pero en su parte meridional lo favorece, aumentando la intensidad del reposo invernal. La temperatura media del aire disminuye cuando se eleva la altitud, del orden de  $0,6^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros de elevación, lo que supone un retraso de 2 a 3 días de vegetación (Hidalgo, 2012). Según el trabajo de Fraga et al (2014), existe una clara distinción entre las elevaciones bajas y altas para las D.O. de la península ibérica, mostrando una clara relación con el crecimiento vegetativo, lo cual podría ser una manifestación indirecta de las relaciones con el clima, la elevación y la influencia atlántica (mayores precipitaciones sobre el noroeste de la península ibérica).

La situación de un viñedo desde el punto de vista térmico está determinada también por la latitud (Fregoni, 2002). La temperatura media anual decrece a medida que aumenta su latitud, aproximadamente  $0,6^{\circ}\text{C}$  por cada grado de la misma. Ello determina los límites existentes para el cultivo de la vid. La heliofanía es también variable con la latitud correspondiente, que durante el período de vegetación activa de la vid aumenta con la latitud. Respecto a este parámetro geográfico, el área general de cultivo del viñedo correspondería a las zonas terrestres comprendidas entre los paralelos de  $30^{\circ}$  y  $50^{\circ}$  de

latitud norte, y los 30° y 40° de latitud sur, límites que en la viticultura actual se amplían suprimiendo la zona intermedia, con la viticultura tropical (Hidalgo, 1999). La latitud es también un factor que interviene en la distribución mundial de la vid. Un ejemplo de ello son los trabajos realizados por Fregoni (2002) y Fregoni y Gatti (2007), donde plantean como la latitud interviene en la clasificación y distribución del viñedo, aplicado a grandes franjas climáticas, describiendo la difusión mundial de la viticultura con respecto al cambio climático. Estos autores, realizan la clasificación por una subdivisión de cada hemisferio en cuatro bandas climáticas: tropical, sub-tropical, templado y frío. Teniendo como resultado (Figura 4) que el 70,5% de la superficie dedicada a la viticultura está situada en la zona templada y el 20,3% está en la zona fría; sólo el 6,3% del total está representado por las zonas tropicales y subtropicales, aunque esta sea una tendencia creciente (Fregoni y Gatti, 2007).



**Figura 4.** Representación geográfica de las zonas climáticas donde está presente la viticultura: tropical (0-10° latitud, en rojo), sub-tropical (10-30° latitud, en naranja), templada (30-45° latitud, en verde), fría (> 45° latitud, en azul), según Fregoni y Gatti (2007).

Una vez finalizado el receso invernal, las yemas de la viña inician el proceso de brotación cuando las temperaturas exceden un cierto límite, generalmente entre 7°C y 10°C. Después de la brotación, el crecimiento de los brotes es muy sensible a la temperatura, tanto diurna como nocturna. Temperaturas cálidas de hasta 25°C estimulan el crecimiento pero temperaturas sobre 30°C lo limitan (Hidalgo, 2002). Esto último, es debido a un efecto limitante de las altas temperaturas sobre el proceso de la fotosíntesis. La reducción del crecimiento de los brotes hacia mediados de verano se debe a la presencia de altas temperaturas y a la competencia interna con el crecimiento de las bayas. La prolongación del crecimiento de los brotes es una característica de zonas y/o temporadas con alta humedad en el aire. Por otro lado, la detención del crecimiento es acelerada por las bajas temperaturas de finales de otoño.

Amerine et al. (1980) señalan que en la mayoría de las regiones vitivinícolas, el estado de brotación ocurre el sexto día después que la temperatura media diaria excede de lo 10°C durante 5 días consecutivos. Por otra parte, Moncur et al. (1989) determinaron que la temperatura base para que las yemas se abran en la vid es de 4°C y la temperatura base para la aparición de hojas es de 7°C y no de 10°C. Sin embargo Morris (1980) utilizando varias temperaturas para el cálculo de grados días en la vid, determinó que la mejor combinación era utilizar 10°C como temperatura base de crecimiento. Gladstones (2011) considera 10°C como la temperatura base para el crecimiento, ya que se asume que el crecimiento de los brotes no ocurre, o es muy lento, bajo ese umbral de temperatura. Hidalgo (1999), comenta que esta temperatura puede variar según los años y la variedad de vid cultivada, si bien se establece, para el cultivo de la vid, una temperatura de 10°C. Después de lo expuesto, se considera que 10°C es la temperatura comúnmente aceptada como base de crecimiento para la vid.

En relación a este concepto, se distingue entre temperatura activa y temperatura eficaz, siendo la temperatura activa ( $T_a$ ) aquella mayor de 10°C y la temperatura eficaz es la temperatura activa menos el cero vegetativo ( $T_e = T_a - 10^\circ\text{C}$ ), diferencia considerada como principal responsable del desarrollo de la planta.

También es generalizado el periodo de crecimiento de la vid para ambos hemisferios, siendo desde abril a octubre inclusive, para el hemisferio norte, y de octubre a abril en el hemisferio sur (Gladstones, 2011; Jones et al., 2009; Tonietto y Carbonneau, 2004).

En general, en zonas de clima frío se requieren variedades de maduración temprana mientras, que en climas cálidos las variedades de maduración tardía tienen tiempo suficiente para alcanzar la maduración completa de los racimos.

Las temperaturas influyen primordial y decisivamente en la maduración de la uva y en la composición de los vinos. Es bien conocida la tendencia a producir vinos de alta graduación alcohólica y baja acidez al elevarse las temperaturas durante la maduración y por el contrario vinos poco alcohólicos y ácidos en el caso opuesto, con temperaturas más bajas (Fregoni, 2003).

La temperatura del aire juega un papel determinante durante la época de maduración de la uva (Jackson y Lombard, 1993), debido a su gran influencia en la capacidad de madurar las uvas a niveles óptimos de azúcar, ácido y aroma que son, factores que tienen un efecto muy importante sobre la calidad y características de los vinos (Jones et al., 2005). La temperatura del día durante la maduración, influye en la coloración de la uva, pero es la diferencia de temperaturas entre el día y la noche durante la maduración lo que tiene mayor influencia en este proceso, incluyendo su aroma (Fregoni y Pezzutto, 2000; Tonietto y Carbonneau, 2004). Por lo tanto, si la uva madura con elevadas temperaturas produce vinos de elevada graduación alcohólica y ácidos, al contrario que si madurasen con temperaturas bajas.

La vid es resistente a la falta de humedad, pudiendo vegetar con escasa lluvias una vez cubiertas sus necesidades mínimas. Un exceso de lluvia, aparte de los problemas fitopatológicos a que puede dar lugar, provoca en general una menor calidad de las bayas, dando una mayor acidez, un menor contenido en azúcar y una disminución de los demás parámetros que acompañan a una buena maduración. Se ha llegado a considerar que una pluviometría que oscile entre los 350 y 600 mm es adecuada para la producción de uvas de calidad (Hidalgo 2002).

La precipitación es también un factor atmosférico que debe tenerse en cuenta, aunque no solamente la baja disponibilidad de agua, sino también la alta humedad del suelo puede conducir a una amplia gama de efectos negativos sobre las vides y, consecuentemente, en la calidad del vino. Por ejemplo, el desarrollo de la vid puede retrasarse si existe un importante estrés hídrico durante las primeras etapas de crecimiento (Hardie y Considine, 1976), y en contraste, altas precipitaciones durante el periodo de crecimiento (primavera y

verano) puede causar mucho vigor, y ser perjudicial, puesto que da lugar a la aparición de enfermedades criptogámicas, ocasionando en los casos más graves la pérdida total de la cosecha y en menor medida reducir la calidad del vino (Van Leeuwen et al., 2009). Por el contrario, las lluvias de invierno durante la parada vegetativa, no influyen directamente en la fisiología de la planta, pero constituye una importante reserva en el suelo, para ser usada cuando las necesidades de las cepas así lo demanden. Las lluvias durante la floración también ponen en peligro la fecundación, pudiendo dar lugar a una formación no deseada de los racimos, por escasez de bayas.

Los vinos de alta calidad se asocian generalmente con leve estrés hídrico durante la maduración, es decir, desde el envero en adelante, y un clima moderadamente húmedo durante las primeras etapas (Van Leeuwen et al., 2004). Estas condiciones se cumplen en regímenes de precipitaciones similares al mediterráneo. Un ambiente seco previo a la cosecha es favorable para producir bayas de calidad, por el contrario si sobrevienen lluvias o ambientes húmedos puede dar lugar a pudriciones o en todo caso una disminución de la calidad de la uva, sobre todo si es acompañado por la aparición o por un mal control de plagas que dañen las bayas.

Un repaso de las áreas vitivinícolas del mundo parece confirmar la relación existente entre clima y calidad. En este sentido, es típico que, en los climas más fríos, los vinos blancos sean más frescos, más ácidos y finos en aroma mientras que en las regiones cálidas los vinos contienen altos niveles de alcohol y son bajos en sabor y aroma (Becker, 1984). Además, se observa que los vinos obtenidos con la misma variedad tienen incluso características típicas identificadas con la región (Jackson y Lombard, 1993).

Sin embargo, experimentalmente existen problemas para contrastar esta hipótesis, debido a la dificultad de conseguir uniformidad y repetición. Es obvio que la comparación entre áreas está confundida por aspectos geográficos y tipos de suelos distintos. Mención aparte merecen las prácticas vitícolas y de manejo.

La calidad de la producción, de las bayas y, como consecuencia, la del vino, ha sido ampliamente estudiada por Fregoni (1973) y Rankine (1990), poniendo de manifiesto que las variables climáticas ocupan el segundo lugar, después de la variedad, en la influencia de los parámetros estudiados. La temperatura del aire influye en la composición y la

calidad de las uvas (Coombe, 1987) y en las características de los vinos (Jackson y Lombard, 1993; Fernández Seoane 2006).

### ***3. Caracterización climática del medio vitícola.***

Las características climáticas de regiones productoras de vino de todo el mundo han sido estudiadas (Ramos et al. 2008; Hall y Jones 2010; Herrera Nuñez et al., 2011) en diferentes países y áreas geográficas como, por ejemplo, Europa (Santos et al., 2012), Australia (Hall y Jones, 2010), Nueva Zelanda (Anderson et al., 2012), en el centro Chile (Montes et al. 2012), el oeste de EE.UU. (Jones et al., 2010), e incluso del mundo (Jones et al., 2009; Tonietto y Carbonneau, 2004). Otros trabajos se centran en áreas más pequeñas, como el valle del río Miño en España (Blanco-Ward et al. 2007), el valle del Douro en Portugal (Santos et al., 2011) o en la comunidad autónoma de Extremadura (Moral et al., 2015). Estos estudios tienen en común que denotan la clara influencia del clima sobre la distribución espacial del viñedo en las diferentes regiones vitivinícolas. Para la realización de estos estudios se han utilizado numerosos índices climáticos de carácter general o bien relacionados de alguna manera con el cultivo de la vid. Algunos de estos índices son derivados de la temperatura, siendo la temperatura media durante el período de crecimiento de la vid, el parámetro más comúnmente utilizado, otros utilizan integrales térmicas, para medir la suma de calor durante dicho periodo. Estos índices son también indicadores útiles para establecer los requisitos que necesitan las diferentes variedades para madurar adecuadamente, sin embargo, no consiguen explicar, por sí solos, la influencia de los diferentes parámetros climáticos en determinados procesos fisiológicos de la vid, muy relacionados con la producción y calidad de las bayas, y por tanto, del vino, y es necesario tener en cuenta otras condiciones térmicas diferentes como son, por ejemplo, las temperaturas nocturnas. Por otro lado, puede plantearse, la utilización de uno (monocriterio) o varios índices de forma conjunta (multicriterio) para realizar una mejor discriminación y clasificación del clima de una región (Ibacache, 2010). Para completar los anteriores índices se han incorporado variables que califican el agua disponible para la vid durante su periodo vegetativo, ofreciendo así otro parámetro más con el que poder diferenciar las regiones vitivinícolas.

Desde un aspecto climático para establecer la vocación vitícola del medio, la caracterización climática, basan su cálculo en el periodo activo de vegetación para la vid, que es el tiempo durante el cual la temperatura media del aire es igual o superior al cero vegetativo. A partir de esta base de determinación del periodo activo de vegetación de la vid, empiezan los estudios para la caracterización del medio vitivinícola. Así, Amerine y Winkler (1944), proponen un índice térmico, el índice de Winkler (WI), como indicador de la acumulación de calor mediante la integral térmica activa durante el periodo vegetativo. Dicho periodo activo lo establecieron del mes de abril a octubre, siendo desarrollado por primera vez en California. Estos autores establecieron, según los valores (grados día) para este índice, en cinco intervalos, con una serie de características que los definen para producir uvas. También es denominado el índice de los grados día en el periodo de crecimiento (*Growing Degree Day*, GDD), siendo usado para describir la idoneidad de crecimiento de los cultivos en diferentes climas.

El índice de Winkler, es empleado por algunos autores para determinar las necesidades de las uvas para alcanzar su madurez fisiológica. Así, Marcilla (1954) establece sumas de temperaturas medias diarias comprendidas entre los 2800 y 4000 °C según variedades y Ribereau-Gayón y Peyneaud (1971), consideran que son necesarias integrales térmicas superiores a 3100 °C para obtener una buena producción.

Otros índices además de considerar la temperatura del aire, tienen en cuenta la pluviometría. Así, Azzi (1969) determina dos tipos de caracterización según lo que denomina “equivalentes”, tanto “equivalentes de temperatura” como “equivalentes pluviométricos de sequía”. Para ello es necesario el estudio de varios años donde el valor de estos parámetros, puedan clasificar las cosechas.

El índice de Branas Bernon y Levadoux (Branas et al. 1946), está basado en la suma de temperaturas medias, en °C, por la precipitación, en mm, desde el mes de abril hasta agosto. Mediante este índice, se intenta conocer la posibilidad de ataque del mildiu de la vid, enfermedad causada por el hongo *Plasmopara vitícola*, que, por encima de un valor umbral de 1500 es probable su aparición. Es un índice importante si se pretende valorar la viabilidad económica del cultivo.

El índice de Branas, Bernon y Levadoux (Branas, 1974), incorpora la iluminación durante el desarrollo de la vid. Se calcula multiplicando la suma de las temperaturas eficaces por

la suma de horas de sol en el periodo activo y multiplicado por  $10^{-6}$ . Establece así, cuatro niveles de clasificación y dentro de estos divide las variedades en tempranas, medias y tardías, para cada una de ellas, tomando siempre como referencia a chasselas doré, pudiendo clasificar las diferentes variedades para las diferentes épocas conforme a las necesidades heliotérmicas.

Los primeros índices se basaron en la influencia que el clima manifiesta través de sus elementos: insolación, temperatura, precipitación, etc. Sin embargo, esta influencia parece quedar mejor descrita con los índices bioclimáticos que se obtienen a partir de los elementos climáticos, que ponen en evidencia aspectos particulares ligados a la fisiología de la vid. La estimación de los recursos climáticos parece constituir, por lo tanto, el primer nivel de aproximación para definir la potencialidad de un ambiente vitícola (Matassa et al., 1992).

La relación de dos coeficientes, uno térmico y otro de insolación, con un coeficiente de precipitación, es la propuesta que realiza Constantinescu (1967), el índice bioclimático de Constantinescu. Se calcula mediante la media diaria de la temperatura activa, la insolación y la precipitación, obteniendo la relación entre las posibilidades diarias de la fotosíntesis y las disponibilidades diarias de agua.

Huglin (1978) desarrolló un índice heliotérmico, conocido como índice heliotérmico de Huglin o simplemente como índice de Huglin (HI), que permite caracterizar zonas en función de la acumulación de calor a lo largo del ciclo de la vid, incorporando dos ajustes, ya que le da más importancia a la temperatura máxima diaria y la duración del día, debido a que la actividad fotosintética está directamente relacionada la radiación luminosa y la temperatura, siendo este índice uno de los más utilizados para realizar comparaciones entre regiones vitivinícolas de todo el mundo.

Posteriormente, Gladstones (1992) realizó otro ajuste al índice de Winkler, desarrollando el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD) en el cual se ajustan las temperaturas al intervalo de crecimiento óptimo para la vid, limitando la integral térmica entre  $10^{\circ}\text{C}$  y  $19^{\circ}\text{C}$ . Además posee un ajuste debido a la latitud y al rango de temperaturas diarias. Según Anderson et al. (2012), este es el índice climático más eficaz para diferenciar la variabilidad climática en las zonas más cálidas.

Otra propuesta, es el índice biológico de Hidalgo (1980). Este autor, basándose en la imprecisión del índice de Constantinescu cuando lo aplica a España, propone el índice que lleva su nombre, realizando una modificación del anterior, basada en tener en cuenta las reservas de agua del suelo provenientes de las lluvias de otoño e invierno y que es importante, sobre todo, en las regiones secas de nuestro país. Esta agua almacenada en el suelo, actúa como reserva antes de la brotación de la vid, y no era tenida en cuenta en el índice de Constantinescu. El índice biológico de Hidalgo relaciona directamente las temperaturas eficaces y la iluminación, principales responsables de la fotosíntesis, con la precipitación anual, sin considerar el número de días de duración del periodo vegetativo favorable, que implícitamente ya está considerado en la temperatura eficaz.

El índice bioclimático de la calidad de Fregoni (Fregoni y Pezzuto, 2000), integra tanto la amplitud térmica diurna como la duración del período en el que la temperatura se mantiene por debajo de los 10°C y por un período de 30 días anteriores a la madurez de la uva. Este índice utiliza solamente el periodo de maduración de las bayas, ofreciendo información sobre las características finales de estas, en cuanto a la bondad para la elaboración del vino.

La temperatura media del periodo de crecimiento (*Growing Season Temperature*, GST), indica la temperatura media diaria entre el 1 de abril y el 30 de octubre en el hemisferio norte (Jones, 2006), teniendo en cuenta el período activo de crecimiento de la vid. Es utilizado de una forma sencilla para correlacionar el potencial de madurez de las variedades de vides para vinificación y compararlas con otras regiones vitivinícolas.

Hasta la actualidad, los índices empleados para describir o caracterizar las regiones vitivinícolas mostraban la información sobre algún aspecto de la vid o de las uvas, resultando esta información a veces incompleta a la hora de caracterizar las regiones vitivinícolas. Tonietto y Carbonneau (2004) desarrollaron el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola (SCCMG), basado en tres índices climáticos para la realización a gran escala de una clasificación climática de las zonas vitícolas a lo largo del mundo. Con este sistema consiguen dar información sobre el desarrollo del viñedo, los procesos de maduración y de las características organolépticas de las bayas, ofreciendo una información multicriterio. Emplean para ello: el índice de Huglin (HI), el índice frescor nocturno (CI), que tiene en cuenta las temperaturas nocturnas durante el periodo de maduración de la uva, y el índice de sequía (DI), (Riuo et al., 1994), que cuantifica el

estrés hídrico soportado por la vid a lo largo del ciclo vegetativo. Siendo empleado para caracterizar y comparar regiones vitícolas a lo largo del mundo.

Con el objeto de tipificar la idoneidad climática de una zona para el cultivo de la vid, convendría obtener zonas con alto grado de homogeneidad de factores ambientales que la caractericen y diferencien de otras zonas productoras, constituyendo lo que se denomina “terroir” (Van Leeuwen et al., 2004). Con este propósito se han desarrollado combinaciones de diferentes tipos índices (Tonietto y Carbonneau ,2004) o bien el empleo de varios de ellos a la vez (Hall y Jones, 2010; Jones et al., 2010; Anderson et al., 2012) para realizar estudios de zonificación de regiones vitivinícolas en Australia, el oeste EE.UU. y Nueva Zelanda, o bien el uso a gran escala de una clasificación climática de las zonas vitícolas

Estos índices son útiles para describir y delimitar las zonas climáticas, permitiendo caracterizar los cultivares o variedades mejor adaptadas a estos factores, sobre todo cuando se vuelven limitantes (latitudes y altitudes extremas).

Una característica común de los trabajos mencionados con anterioridad, es que han puesto de manifiesto la clara influencia del clima sobre la distribución espacial de las variedades en las diferentes áreas vitícolas, así como la gran variabilidad climática encontrada en estas zonas. La producción vitícola no es homogénea, de modo que los problemas técnicos dependen de las zonas climáticas. Los cambios climáticos futuros tendrán que ser estudiados en función de las áreas geográficas. La maduración de las uvas es el factor que limita geográficamente la expansión de la viticultura.



# CAPÍTULO I

## Generación de la base de datos



## 1. Introducción

---

Cuando se trabaja con series de datos meteorológicos se hace necesario obtener una base de datos climática homogénea, fiable y de calidad, puesto que constituye un paso necesario para la validez de los resultados que puedan derivarse de su análisis posterior. Los cambios de ubicación en las estaciones de medida, así como los cambios en el sistema de observación (cambios de observador, en las prácticas de observación o en los equipos de medida), o los producidos en el entorno de las estaciones, son algunas de las causas que inducen a la presencia de heterogeneidades en las series climáticas (Aguilar et al, 2003; Khaliq y Ouarda, 2007). Así, se considera que una serie es homogénea cuando sus variaciones responden exclusivamente a causa climáticas (Conrad y Pollak, 1962). Sin embargo, aparte de las posibles heterogeneidades presentes en las series, la presencia de datos faltantes o de lagunas en estas constituye otro de los problemas frecuentes que requiere el uso de técnicas de relleno. Por una parte, la ausencia de datos dificultan la aplicación de las diferentes técnicas estadísticas de las series y, por otra parte, la falta de homogeneidad se refleja en las series no estacionarias que, en realidad, no representan a un único “modelo”.

Consecuentemente, es necesario disponer de series completas y homogéneas, de longitud suficientemente larga que permitan el análisis de la variabilidad natural, así como de otros comportamientos de las series, como el de sus valores medios o extremos. Para ello, se ha desarrollado un número importante de técnicas de relleno de lagunas y de homogeneización, cuya aplicación depende, entre otras cosas, del uso que vaya a darse a los datos, de las escalas espacio-temporales de las series disponibles (regional, local, anual, mensual, estacional, diaria, etc.), así como de la variable climática a tratar. La mayoría de los métodos de homogeneización desarrollados se han aplicado a series de temperatura y precipitación de carácter anual, mensual o estacional (Peterson et al., 1998; Ducré-Robitaille et al., 2003), mientras que solo en un número de ellos mucho más reducido, se lleva a cabo el estudio de la homogeneidad de series diarias (Hernández *et al.*, 2012).

Sin embargo, en la mayoría de éstos métodos de detección de heterogeneidades se aplican sobre las series anuales o mensuales. Entre éstos, destacan algunos trabajos, como el de

Della-Marta y Wanner (2006), aplicados a las series de temperaturas diarias en Austria y en el que se explica un modelo no lineal (*Higher-Order Moments*, HOM) para la corrección de las series una vez detectada una inhomogeneidad. En Kuglitsch et al. (2009) se llevó a cabo una homogeneización de las series diarias de temperaturas máximas en los meses de verano, para una red de estaciones de la cuenca mediterránea, empleando el método ideado por Cassinus y Mestre (2004) para la detección de heterogeneidades aplicado a la escala anual, y el método HOM para la corrección de las series diarias. Uno de los trabajos aplicados a la península ibérica podemos encontrarlo en Brunet et al. (2006). En este estudio se homogenizaron las temperaturas máximas y mínimas diarias de 22 estaciones empleando uno de los métodos más utilizados, el *Standard Homogeneity Normal Test* (SHNT; Alexandersson y Moberg, 1997), para detectar saltos en la media de las series mensuales, corrigiendo posteriormente los sesgos en la escala diaria mediante el uso de un método de interpolación lineal.

Derivada de esta problemática es la participación de climatólogos en ofrecer paquetes estadísticos que, mediante un test, permitan detectar y corregir tanto las heterogeneidades como los registros ausentes, permitiéndoles desarrollar métodos mejor adaptados a su investigación. Algunos de ellos han puesto sus propios métodos a disposición de otros usuarios, mediante paquetes informáticos distribuidos en Internet o por otros medios (CLIMATOL, ANCLIM, ACMANT, etc.). Esta preocupación por la homogeneización y relleno de lagunas ha supuesto que la *European Cooperation in Science and Technology* (COST), financió la Acción COST ES0601 “HOME, *Advances in Homogenisation Methods of Climate Series: An Integrated Approach*” que permitió la comparación y valoración de varias metodologías y paquetes informáticos (Venema et al., 2012). Actualmente, en el ámbito internacional, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) participa en la Acción COST ES0601, colaborando con expertos en técnicas estadísticas de homogeneización para comparar los métodos existentes y evaluar su impacto en los registros climáticos. Fruto de esta interacción es la elaboración de valores de referencia para el treintenio 1981-2010. También se han estudiado las series mensuales del Proyecto EC&AD (*European Climate Assessment and Dataset*) de la red de Servicios Meteorológicos europeos (EUMETNET), poniendo de manifiesto que muchas series están afectadas por falta de homogeneidad (AEMET, 2014).

## 1.1. *Objetivos*

En el inicio de los trabajos se adquirieron unas series de datos meteorológicos de estaciones situadas en el territorio peninsular español con al menos 30 años (1980-2010). Una vez revisadas, se determinarán las series validas para el presente trabajo. Seguidamente, con las series validas, se procederá a completar los datos ausentes, con el fin de poder disponer del mayor número de series homogeneizadas, fiables y completas. El objetivo principal es obtener una base de datos climatológicos de calidad con series de 30 años completas en el mayor número posible de estaciones situadas en el territorio peninsular español, lo cual permita dar validez a los resultados que puedan derivarse de su análisis posterior.

## 2. *Materiales y métodos*

---

### 2.1. *Base de datos.*

Las series meteorológicas de este trabajo proceden de la red europea de datos climáticos *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D). El uso de estas series desde ECA&D (2013) se debe a que han pasado controles de calidad, ya que han sido proporcionadas y seleccionadas por las instituciones participantes; además les han sido aplicados los procedimientos de control de calidad, que en el proyecto ATBD (*Algorithm Theoretical Basis Document*) elaboró la *Royal Netherlands Meteorological Institute* (KNMI) para la *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D, 2013). Su homogeneización se estableció utilizándose varias pruebas, como el test normal de homogeneidad estándar (SNHT) de Alexanderson (Alexanderson y Moberg 1997), lo que nos permite obtener series climatológicas con garantías para elaborar una base de datos.

Las series que serán consideradas corresponderán a estaciones meteorológicas de la península ibérica, debiendo tener al menos 30 años con datos, y estar georeferenciadas (altitud, longitud y latitud). Las variables climáticas diarias, que deben incluir dichas

series, son la temperatura mínima, la temperatura máxima, la temperatura media, la precipitación y la radiación solar.

Con las series meteorológicas consideradas se elabora una base de datos en la que se pueda realizar los cálculos oportunos, obteniéndose las variables climáticas de interés. Si en la revisión de la base de datos se identifican series en la que le falten más de 6 años de datos se procede a eliminarlas y, en el caso de que a una serie le falten datos, este será completado mediante la metodología que se describe en el apartado siguiente.

## 2.2. Completado de datos

Una vez detectados los datos faltantes de las series meteorológicas, estas son procesadas mediante el programa estadístico "*Statistical Product and Service Solutions*" SPSS V.1.9., con el fin de obtener una matriz de correlación entre ellas y poder obtener las series de referencia para calcular el registro faltante en la serie candidata.

Una condición indispensable para poder rellenar los huecos de datos es que la serie candidata y la de referencia sean homogéneas, lo cual está garantizado puesto que las series provienen de ECA&D.

Existen numerosos métodos para el relleno de faltas en series temporales, siendo el más popular de ellos la regresión multivariante y, en particular, el ajuste lineal es la solución más empleada (Cano y Gutiérrez, 2004). Este método será el empleado en el presente estudio.

Para llevar a cabo el completado de datos se generará la matriz de correlaciones mensuales en el periodo a estudiar y, siguiendo el método propuesto por González-Rouco et al. (2001), se seleccionan todas las estaciones que sean vecinas cuya correlación con la serie a rellenar tenga un coeficiente de correlación mayor de 0,8. Del conjunto de observatorios elegidos por sus correlaciones se eliminan aquellos que presenten las mismas faltas que se pretenden rellenar en la estación candidata. A continuación se elige la estación o las dos estaciones más próximas a la estación candidata. Posteriormente se aplica el modelo de regresión lineal entre ambas series:

$$y = a + bx$$

donde  $y$  sería el dato ausente de la estación candidato,  $a$  es la ordenada en el origen, denominado término independiente,  $b$  es la pendiente de la recta y  $x$  es el dato correspondiente al mes de la serie correlacionada de la estación de referencia. En el caso del completado de datos de pluviometría, debido a que la precipitación es un proceso discontinuo en el tiempo, se aplica el modelo para cada mes, entre la estación candidata y la referencia. Se acepta el dato de la estación de referencia cuando el valor de la varianza explicada es superior a  $r^2 \geq 0,8$  para un valor de  $p < 0,05$  y un valor de la constante de regresión  $b$  que este dentro del rango  $0,7 < b < 1,3$  (Allen et al., 2006).

### 3. Resultados y discusión

---

Para la elaboración de la base de datos se ha empleado un periodo común de más de 30 años, desde 1980 hasta 2010, en las 65 estaciones consideradas, teniendo en cuenta el período de referencia recomendado en el Cuarto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007). Esta temporalidad propuesta es compartida, en otros trabajos, por Hall y Jones (2010), en las regiones vitivinícolas de Australia, por Anderson et al. (2012), para analizar la estructura climática de las regiones vitícolas en Nueva Zelanda, Blanco-Ward et al. (2007) en el valle del río Miño, o por Jones et al. (2010) en el análisis espacial del clima en las regiones vitícolas del oeste de los Estados Unidos. Por otra parte, la Organización Meteorológica Mundial (WMO) aconseja 30 años como la longitud óptima para una serie con el objetivo de la obtención de datos climáticos fiables para hacer predicciones (WMO, 1967).

En la Tabla 1 se muestran las estaciones obtenidas de la península ibérica en las que se tienen series de datos meteorológicos de más de 30 años. Con los datos de las 65 series procesadas, para el período de tiempo considerado, se creó una hoja de cálculo donde se contabilizaron 3 668 250 datos, es decir, 733 650 datos diarios para cada una de las cinco variables utilizadas (temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media, radiación solar y la pluviometría), o lo que es igual, 24 120 meses para cada una de ellas. De las series estudiadas, sólo dos estaciones, Guadalajara y Lugo (Rozas), con uno y dos

**Tabla1.** Estaciones seleccionadas en la península ibérica y años que abarcan las series climáticas en las mismas.

ID	Estación	Nº años	Intervalo	
211	Beja	31	2010	1980
212	Braganca	31	2010	1980
214	Lisboa Geofísica	31	2010	1980
229	Badajoz/Talavera La Real	32	2011	1980
231	Málaga Aeropuerto	32	2011	1980
233	Salamanca Aeropuerto	32	2011	1980
234	San Sebastián - Igueldo	32	2011	1980
236	Tortosa - Observatorio Del Ebro	32	2011	1980
237	Valencia	32	2011	1980
238	Zaragoza Aeropuerto	32	2011	1980
309	Alicante El Altet	30	2009	1980
335	Barcelona -Fabra Observatory	32	2011	1980
336	Albacete Los Llanos	32	2011	1980
337	Córdoba Aeropuerto	31	2010	1980
412	Alicante	31	2010	1980
414	Burgos-Villafría	32	2011	1980
415	Cádiz	30	2010	1981
417	Granada	31	2010	1980
419	Huesca	32	2011	1980
420	A Coruña	32	2011	1980
421	Murcia	32	2011	1980
423	Sevilla/San Pablo	32	2011	1980
424	Soria	31	2010	1980
425	Valladolid	30	2009	1980
1393	Bilbao Aeropuerto	32	2011	1980
1394	Santiago De	32	2011	1980
1395	Vigo Peinador	31	2010	1980
1396	Ponferrada	31	2010	1980
1397	León Virgen Del Camino	32	2011	1980
1398	Logroño-Agoncillo	32	2011	1980
1399	Zamora	31	2010	1980
1401	Reus/Aeropuerto	32	2011	1980
1404	Murcia/San Javier	32	2011	1980
1405	Jerez De La Frontera	32	2011	1980
1406	Tarifa	31	2010	1980
2969	Barcelona/Aeropuerto	32	2011	1980
3903	A Coruña/Alvedro	30	2009	1980
3904	Vitoria Aeródromo	30	2009	1980
3908	Almería	30	2009	1980
3909	Asturias/Avilés	30	2009	1980
3913	Oviedo	30	2009	1980
3921	Cáceres Ciudad	31	2010	1980
3922	Santander Centro	31	2010	1980
3923	Santander/Parayas	32	2011	1980
3924	Castellón	30	2009	1980
3928	Ciudad Real	31	2010	1980
3929	Cuenca	31	2010	1980
3931	Girona/Costa Brava	30	2009	1980
3932	Granada/Aeropuerto	30	2009	1980
3934	Guadalajara (Instituto)	29	2009	1981
3935	Molina De Aragón	31	2010	1980
3936	San Sebastián/Fuenterrabía	31	2010	1980
3944	Lugo/Rozas	28	2009	1982
3945	Colmenar Viejo/Famet	30	2009	1980
3946	Madrid/Torrejón	31	2010	1980
3947	Madrid - Retiro	32	2011	1980
3948	Madrid/Getafe	32	2011	1980
3949	Murcia/Alcantarilla	32	2011	1980
3950	Pamplona (Observatorio)	32	2011	1980
3951	Ourense	30	2009	1980
3963	Morón De La Frontera	31	2010	1980
3968	Toledo Lorenzana	31	2010	1980
3969	Valencia/Aeropuerto	30	2009	1980
3970	Valladolid (Villanubla)	32	2011	1980
3971	Daroca	31	2010	1980

años respectivamente, presentaban años completos sin datos, es decir, un 0,15 % del total de años. Este porcentaje es muy pequeño si lo comparamos con los utilizados por otros autores (Ceballos et al. 2013; Cano y Gutiérrez, 2004; Stepanek, 2003; González et al. 2002).

En la Tabla 2 aparece el listado de las estaciones meteorológicas y el número de meses de cada una de ellas, con datos ausentes para la pluviometría. Supuso un total de 12 estaciones con meses sin datos y un total de 114 meses, lo que representa un 0,47 % sobre el total de meses.

Este porcentaje es muy bajo si se compara con el trabajo de Cano y Gutiérrez (2004), que toman como premisa desechar la serie si tiene más de un 35% de datos que falten, antes de la homogeneización, o con el trabajo de Hernández et al. (2012), donde descarta trabajar con estaciones que tengan un 4% o más sin datos, después de realizar la homogeneización. Según comenta Stepánek (2003), lo normal es aceptar un 15% de datos ausentes en las series meteorológicas.

**Tabla 2.** Listado resumen de las estaciones meteorológicas y el número de meses de cada una de ellas, con datos ausentes para la pluviometría en el periodo 1980 a 2010.

ID	NOMBRE	MESES
211	Beja	1
212	Braganca	2
337	Córdoba Aeropuerto	1
415	Cádiz	15
3934	Guadalajara (Instituto)	30
1406	Tarifa	4
419	Huesca	14
3909	Asturias/Avilés	4
3931	Girona/Costa Brava	5
3944	Lugo/Rozas	11
3945	Colmenar Viejo/Famet	18
3951	Ourense	9

Respecto a la temperatura, son varias las estaciones en las que se completan los registros faltantes. La Tabla 3 recoge el resumen de faltas de las estaciones donde se rellenaron datos de temperatura mínima y máxima. Se completó un total de 11 series con 206 meses

para la temperatura mínima y 180 meses para la temperatura máxima, representando un 0,85 % y 0,75 % respectivamente del total de meses de todas las series meteorológicas en el periodo de 1980 a 2010.

Tanto para la pluviometría como para la temperatura, los porcentajes completados suponen un valor muy bajo respecto al total de la suma de meses de todas las estaciones en el periodo estudiado. En un estudio de homogeneización y relleno de series diarias, Hernández García et al. (2012) obtiene una proporción cercana al 60 % de registros faltantes en las series originales antes de la homogeneización.

**Tabla 3.** Listado resumen de las estaciones meteorológicas y el número de meses de cada una de ellas, con datos ausentes para la temperatura máxima y mínima en el periodo 1980 a 2010.

ID	NOMBRE	TEMP MINIMA	TEMP. MAXIMA
415	Cádiz	10	10
1393	Bilbao	3	2
3934	Guadalajara	28	19
417	Granada	8	8
419	Huesca	20	20
3909	Asturias/Avilés	4	4
3935	Molina de Aragón	5	5
3944	Lugo/Rozas	11	10
3931	Colmenar Viejo/Famet	60	60
3951	Ourense	9	9
3945	Valencia/Aeropuerto	48	48

Los valores tan bajos obtenidos en las series temporales consideradas en el presente trabajo se deben al proceso de control de calidad y de homogenización, llevados a cabo dentro de la *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D, 2013).

El proceso de completado de datos es reiterativo, puesto que se inicia con la captura de datos del fichero de la hoja de cálculo (Excel), para incorporarlos al fichero del paquete estadístico de SPSS para el posterior cálculo de la correlación y la regresión lineal. A modo de ejemplo, se expone el proceso seguido para el completado de un registro o dato faltante para una serie.

Una vez detectado el dato ausente de la estación identificada como 3935 (Molina de Aragón) en el año 1980, se localizan las estaciones más cercanas a ella, en este caso las identificadas como 3929 (Cuenca) y 3971 (Daroca). Al observar la tabla de correlación de Pearson, calculada previamente para todas las estaciones, se obtiene el valor de correlación entre ellas, resultando en ambos el valor de 0,996. Al comprobar las series, se observa que la estación 3929 (Cuenca) no tiene la serie completa de 1960, por lo que queda descartada, quedando la estación 3971 (Daroca) como estación de referencia.

Una vez obtenida la estación de referencia, para completar el registro ausente de la candidata, se procedió a realizar la regresión lineal mediante el programa estadístico SPSS. Las Tablas 4 y 5 muestran los resultados de la correlación y regresión en el caso tomado como ejemplo, en donde se puede apreciar que el coeficiente de correlación al cuadrado (Tabla 4), toma valores de  $r^2 \geq 0,7$ , lo que indica según Allen et al., (2006), de que se trata de una serie homogénea.

**Tabla 4.** Coeficiente de correlación entre las estaciones 3935 y 3971.

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	0,996 <sup>a</sup>	0,992	0,992	0,67443

a. Variables predictoras: (Constante), E3971

**Tabla 5.** Análisis de la regresión entre la estación 3935 y 3971.

Coeficientes <sup>a</sup>						
Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-1,340	0,074		-18,097	0,000
	E3971	1,001	0,004	0,996	274,333	0,000

a. Variable dependiente: E3935

Para calcular el valor del dato ausente de la estación 3935 (Molina de Aragón), se ha procedido según lo comentado en el apartado de metodología, donde la constante  $a$  toma el valor de  $-1,340$  y  $b$  el de  $1,001$ , siendo el valor de  $x$  el de la estación predictora

3971(Daroca), dando el resultado del valor del dato ausente y de la estación candidata 3935 (Molina de Aragón).

Una vez completado los datos ausentes, según lo expuesto, la base de datos obtenida contiene para cada serie o estación meteorológica, la siguiente información: identificación de la serie, coordenadas, latitud, altitud, longitud, año, mes, temperatura mínima, temperatura máxima, temperatura media, precipitación y radiación. Así queda con todos los registros o datos necesarios para formar la base de datos, que será la partida en los posteriores cálculos de los siguientes capítulos.

## 4. Conclusiones

---

La obtención de una base de datos fiable y de calidad es imprescindible a la hora de realizar trabajos de investigación. En este trabajo se ha obtenido una base de datos formada por 65 series con más de 30 años, homogeneizada, sin registros faltantes, fiable y de calidad, que sirve de base para dar validez a los resultados que puedan derivarse de su análisis posterior

Siendo las series obtenidas en el presente trabajo homogéneas, ello no quiere decir que estén completas en todos sus registros, por lo que en las series con datos ausentes se hace necesario el completado de datos. Cuanto menor número de datos de ausentes se tengan que completar, más fiables serán las series, puesto que ganaran robustez y podrán ser series para poderlas utilizar con total garantía. Los datos ausentes que se han tenido que completar han supuesto un porcentaje del 0,47% para la pluviometría y un 0,80% para la temperatura. Estos porcentajes son muy pequeños con respecto al total de datos de todas las series.

## CAPÍTULO II

# Caracterización y zonificación climática mediante índices térmicos



## 1. Introducción

---

El clima es considerado, junto con las condiciones edáficas, como el factor más importante cuando tratamos de definir la idoneidad de un lugar para el cultivo de la vid y para la producción de vinos. El clima de una zona también influye en las operaciones de cultivo, periodos de crecimiento, características de la maduración, elección de las variedades más idóneas y composición de la baya (Dubuordieu, 1990; Gladstones, 1992). Por lo tanto, tiene una gran influencia en las características de los vinos elaborados en una zona determinada (Fernández Seoane, 2006). Existen muchos estudios que ponen de manifiesto la influencia de las variables climáticas sobre diferentes aspectos, tanto productivos como de calidad, de la uva y del vino. Así, por ejemplo, Jackson y Lombard (1993) determinaron que la temperatura del aire durante el periodo de maduración es decisiva en la determinación de la composición, aroma y color de la baya, aspectos muy importantes en la elaboración de vinos de calidad. Para este mismo periodo, Ramos et al. (2008) consideran que la amplitud térmica media (MTA) influye de forma importante en la composición de la baya. También la duración del periodo de crecimiento, en grados días, permite establecer las exigencias de las diferentes variedades para conseguir una maduración adecuada en términos de acumulación de azúcares en la baya. Ya en 1944, fue propuesto el índice de Winkler (WI) (Amerine and Winkler, 1944) como indicador de la acumulación de calor mediante la integral térmica activa durante el periodo vegetativo. Más adelante, Huglin (1978) desarrolló un índice heliotérmico de Huglin (HI) que permite caracterizar zonas vitícolas en función de la acumulación de calor a lo largo del ciclo incorporando dos ajustes, dándole más importancia a la temperatura máxima diaria y la duración del día. Posteriormente, Gladstones (1992) realizó otro ajuste al índice de Winkler, desarrollando el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD) en el cual se ajustan las temperaturas al intervalo de crecimiento óptimo para la vid, limitando la integral térmica entre 10°C y 19°C, además posee un ajuste debido a la latitud y al rango de temperaturas diarias.

Con objeto de tipificar la idoneidad climática de una zona para el cultivo de la vid, convendría obtener zonas con alto grado de homogeneidad de factores ambientales que la caractericen y diferencien de otras zonas productoras, constituyendo lo que se denomina terroir (Falcetti 1994, Van Leewen et al. 2004). Con este propósito, Tonietto y

Carbonneau (2004) desarrollaron el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola (SCCMG), un sistema basado en tres índices climáticos para la realización a gran escala de una clasificación climática de las zonas vitícolas a lo largo del mundo. Estos índices son: el índice de Huglin (HI), que considera el acumulo de calor durante el periodo de crecimiento, el índice frescor nocturno (CI), que tiene en cuenta las temperaturas nocturnas durante el periodo de maduración de la uva, y el índice de sequía (DI), (Riuo et al., 1994), que cuantifica el estrés hídrico soportado por la vid a lo largo del ciclo vegetativo. Este sistema ha sido usado por numerosos autores (Tonietto et al., 2012; Queijeiro et al., 2006; Tonietto y Carbonneau, 2004; Sotes et al., 2007; Blanco-Ward et al., 2007), demostrando gran utilidad para diferenciar y comparar grandes zonas productoras a lo largo del mundo. Otros autores han utilizado diferentes índices con el mismo objetivo. Así, por ejemplo, Hall and Jones (2010) utilizaron el índice de la temperatura media en el periodo de crecimiento de la vid (GST), que es la media de temperatura del aire diaria comprendidas entre el 1 de octubre y el 30 de abril, el índice de Winkler (WI) y el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD) que es la acumulación de calor en el periodo de crecimiento de la vid, teniendo en cuenta la latitud y la duración del día, para caracterizar las regiones vitícolas de Australia. Jones et al., (2010) emplearon los mismos índices en los estados del oeste de los EE. UU., así como Anderson et al. (2012) en Nueva Zelanda.

En España son varios autores los que han definido y caracterizado diversas aéreas vitícolas, empleando diferentes índices. Así, por ejemplo, Fernández Seoane (2006) realizó un estudio de la influencia de la variabilidad climática en el comportamiento de la vid aplicado al ámbito geográfico de la Denominación de Origen Calificada Rioja, confirmando el papel discriminante que desempeña el clima en la distribución de las variedades estudiadas en la misma. Queijeiro et al. (2006) utiliza el SCCMG para realizar la caracterización climática de la viticultura en Galicia, demostrando que este sistema es adecuado para definir zonas climáticas vitícolas. También utilizando este sistema, Blanco-Ward et al. (2007) analizaron la variabilidad espacial climática en el valle del río Miño.

Tres regiones del noreste de España (Alt Penedès, Priorat y Segrià) fueron estudiadas por Ramos et al. (2008), utilizando los índices del SCCMG y otros como el índice del rango de temperatura diaria durante la maduración de la uva (DTR, es la diferencia entre la

temperatura máxima y mínima de agosto y septiembre), los resultados mostraron una creciente subida del valor del índice por campaña y esto fue comentado con la repercusión que puede suponer para el cultivo del viñedo en esas zonas. Más recientemente, Alconada y Ramos (2012), también utilizando índices climáticos, ponen de manifiesto lo que el cambio climático podría suponer para el desarrollo del viñedo y su producción en la zona de Ribera del Duero.

En estudios de mayor amplitud geográfica, Sotés et al. (2007) realizaron una zonificación climática de las regiones vitícolas en 10 países iberoamericanos, entre ellos España, encontrando 23 grupos vitícolas climáticos, utilizando también el SCCMG. Unos años después Sotés et al. (2012) realizaron un estudio de las principales regiones productoras de uvas para vino en España, donde son referenciadas 22 regiones vitivinícolas, pertenecientes a 12 comunidades autónomas de España peninsular. En ambos estudios, las regiones son caracterizadas utilizando datos de estaciones meteorológicas para, posteriormente, extrapolar este dato y clasificar todo el territorio que ocupa la región o comarca vitivinícola, pero sin aplicar ninguna técnica de interpolación geoestadística, que permita realizar esto en la continuidad de la superficie del territorio estudiado. Es decir, sin considerar la variabilidad de las variables climáticas empleadas a la respuesta de la orografía del terreno zonificado.

Con el objetivo de entender la caracterización climática en el cultivo de la vid y la comparación entre las diferentes regiones, se han propuesto índices muy diferentes, siendo la temperatura del aire durante el período de crecimiento, el factor ambiental más ampliamente utilizado para calcular los índices (Fregoni, 2003; Tonietto y Carbonneau, 2004; Jones, 2012; Blanco-Ward et al., 2007; Jones et al., 2010; Hall y Jones 2010). Jones (2006) utilizó la temperatura media del aire durante el período vegetativo de la vid (GST) para situar los límites geográficos del cultivo del viñedo en todo el mundo. Por otra parte, Jones et al. (2009), en un estudio macroclimático en el que comparan 16 regiones vitivinícolas de cinco países europeos con nueve regiones vitivinícolas de Australia y Estados Unidos, con climas similares para el desarrollo de la vid, encontraron que zonas vitícolas que parecen muy similares por la estructura de su producción, como Bourgogne (Francia) y Willamete Valley (EE. UU.), poseen algunas diferencias significativas de clima. Hall y Jones (2010), utilizando cuatro índices de temperatura, encontraron que

algunas regiones de Australia y algunas áreas del este de los EE. UU. son muy similares desde el punto de vista del clima vitícola.

Los estudios iniciales sobre la caracterización climática vitícola de una zona estaban referidos al lugar donde se encontraban situadas las estaciones meteorológicas, obteniéndose resultados solo aplicables al área de estudio. Los trabajos más recientes Hall y Jones, 2010; Fraga et al., 2012, 2013; Malheiro et al., 2010; Jones et al. 2010, Willow, 2013, Moral et al. 2014a, 2014b, 2015), generan utilizando técnicas geoestadísticas zonas continuas mediante la interpolación entre localizaciones de las estaciones, representando la variación espacial del clima en lugares reales y potenciales para el cultivo del viñedo. Los índices empleados en estos estudios de zonificación, fueron calculados para un área representativa, que mediante interpolación geoestadística dio lugar a modelos de representación. Usando las técnicas de interpolación geoestadística, es posible evitar errores derivados de la representatividad del clima como se ha demostrado en el trabajo de Jones et al. (2010), sobre la comparación de la variabilidad climática en las zonas vitivinícolas ubicadas en el este de EE.UU. y en el estudio de Hall y Jones (2010), en regiones vinícolas australianas.

Varias técnicas de interpolación han sido probadas con éxito para realizar estudios de la variación espacial de la temperatura en regiones vitivinícolas, por ejemplo Jones et al. (2009) usando técnicas de kriging, Casa y Castrignano, (2008) y Morari et al. (2009), emplean algoritmos geoestadísticos multivariantes, generando superficies con alto grado de precisión y, particularmente, cuando los datos escasean, la regresión-kriging la técnica más apropiada (Hengl et al 2004; Herrera et al., 2011; Moral et al., 2014a, 2015; Bois et al., 2012).

En los trabajos descritos anteriormente, son los índices con componente térmica, los que con diferencia, son los más ampliamente utilizados para caracterizar y zonificar las regiones vitícolas. Dentro de estos, son cuatro índices los que predominan: el índice de la temperatura media durante el periodo de crecimiento (GST), el índice de los grados día durante el periodo de crecimiento (GDD), el índice de Huglin (HI) y el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD), como ponen de manifiesto los trabajos realizados por Jones et al. (2009), Jones et al. (2010), Hall y Jones, (2010), Jones, (2012), Anderson et al. (2012), Willow, (2013), Moriondo et al. (2013), Moral et al. (2014a). Estos cuatro índices serán los utilizados en este capítulo.

El conocimiento de la variación espacial de estos índices, de componente térmica, empleando técnicas de interpolación geoestadísticas, sobre el territorio de España peninsular, proporcionara la base para la caracterización y zonificación climática de las regiones vitivinícolas.

### ***1.1. Objetivos***

De acuerdo con lo comentado anteriormente, los índices térmicos, constituyen un conjunto de indicadores válidos para evaluar condiciones climáticas idóneas para una producción exitosa de uvas para vinificación de una región. Por lo que en este capítulo para poder caracterizar y zonificar el territorio peninsular español emplearemos los cuatro índices térmicos más utilizados en la bibliografía consultada, el índice de la temperatura media durante el periodo de crecimiento (GST), el índice de los grados día en el periodo de crecimiento (GDD), el índice de Huglin (HI), y el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD).

Teniendo en cuenta estos cuatro índices térmicos, se plantea como objetivo: realizar un análisis actualizado y una visión general de estos cuatro índices térmicos en la península Ibérica, realizar mapas precisos de cada índice bioclimático utilizando un algoritmo geoestadístico y, realizar una caracterización térmica y una zonificación del cultivo de la vid.

## **2. Materiales y métodos**

---

### **2.1. Área de estudio**

El presente estudio sobre la caracterización y zonificación climática mediante índices térmicos, se ha realizado en el territorio peninsular español, aunque a la hora de generar los mapas de cada índice, se visualiza la península Ibérica. Esto viene motivado por utilizar estaciones meteorológicas, que están situadas en el país vecino de Portugal, y que son necesarias para realizar la interpolación geoestadística, en la elaboración de los mapas.

España es un país que ocupa la mayor parte de la península Ibérica. Tiene una extensión de 504.645 km<sup>2</sup>, siendo el cuarto país más extenso del continente europeo. Su latitud está comprendida entre los 36° 00' 08" y 43° 47' 36" norte y su longitud entre los 3° 19' 05" este y los 9° 17' 46" longitud oeste, abarcando aproximadamente una distancia en dirección norte sur de 1000 km, y unos 600 kilómetros aproximadamente en dirección este oeste. En España peninsular, el relieve se articula en torno a una gran meseta central que ocupa la mayor parte del centro de la península Ibérica, la altitud media es de 660 metros, es uno de los países más montañosos de Europa. El 75% de la superficie de España se halla por encima de los 500 m, como consecuencia de la gran extensión de la meseta. La disposición periférica de las grandes cadenas montañosas impiden la existencia de llanuras litorales importantes y estas cadenas montañosas forman una barrera a la influencia del clima marítimo, por ello acentúan la continentalidad de las tierras del interior.

La variada orografía de España, así como su situación geográfica, en latitudes medias de la zona templada del hemisferio Norte, hace que tenga una notable diversidad climática. Así pasamos de lugares con suaves temperaturas, en torno a los 15°C, a otros que superan los 40°C, sobre todo en verano, y de sitios con un clima oceánico húmedo con precipitaciones anuales de más de 2500 mm a sitios con un clima mediterráneo desértico que no superan los 200 mm anuales, como es el cabo de Gata, con 150 mm anuales.

El clima de España peninsular es muy diverso a lo largo de todo su territorio. Predomina el carácter mediterráneo en casi toda su geografía. Las costas del sur y mediterráneas

tienen un clima denominado mediterráneo, con temperaturas suaves y precipitaciones localizadas entre los meses de otoño a primavera principalmente. A medida que nos adentramos en el interior el clima es más extremo, de tipo mediterráneo continental, caracterizado por temperaturas bajas en invierno, altas en verano y precipitaciones irregulares. Por lo general, las comunidades noroccidentales reciben más precipitaciones que las orientales caracterizadas las primeras por la abundancia de precipitaciones durante todo el año especialmente en invierno, y unas temperaturas frescas.

El clima de montaña, se da en los grandes sistemas montañosos, donde los inviernos son muy fríos, y los veranos frescos. Las precipitaciones son muy abundantes a medida que aumenta la altitud y, en general, en forma de nieve. Las vertientes de las montañas que miran al norte son más frías (Chazarra, 2011).

El clima mediterráneo seco, está localizado sobre todo en el sureste del territorio. Las lluvias son extremadamente escasas, menos de 300 mm al año, lo que convierte estas zonas en áridas o semiáridas, donde son frecuentes los períodos largos de sequía. Las temperaturas son semejantes a las del mediterráneo típico, aunque el calor en verano suele ser más intenso.

## **2.2. Características del medio vitivinícola**

Según los datos de la Organización Internacional de la Viña y el Vino para el año 2011 (OIV, 2012), España ocupa el primer lugar en la Unión Europea con 1 millón de ha, dedicadas al cultivo del viñedo, lo que supone un 24,26 % de la superficie total de vid de la UE y un 13,73 % respecto a la superficie total del mundo dedicada al viñedo. En el año 2012 la superficie del viñedo dedicada a vinificación era de 930 204 ha (MAGRAMA, 2012), es decir un 98,26 % del total de la superficie de vid, repartidas por las 17 comunidades autónomas (Tabla 1). El primer puesto en cuanto a superficie dedicada al cultivo del viñedo, lo ocupa la comunidad de Castilla-La Mancha con un 46,99% del total español. Esta comunidad se desmarca de las demás en cuanto a superficie dedicada al cultivo de la vid, puesto que el otro 53% restante es repartido entre las 16 comunidades restantes. El segundo puesto lo obtiene la comunidad de Extremadura con un 8,79%.

**Tabla 1.** Superficie (ha) de viñedo para uva de vinificación en España en el año 2012 (MAGRAMA, 2012).

Comunidad autónoma	Secano ha	Regadío	Total	%
Castilla-La Mancha	320 876	116 196	437 072	46,99
Extremadura	75 056	6680	81 736	8,79
Castilla y León	71 251	2846	74 097	7,97
Cataluña	51 618	3756	55 374	5,95
C. Valenciana	48 007	16 136	64 143	6,90
La Rioja	31 958	12 343	44 301	4,76
Aragón	28 563	9 679	38 242	4,11
Andalucía	27 484	1 318	28 802	3,10
Galicia	24 942	–	24 942	2,68
C. de Murcia	19 198	7511	26 709	2,87
País Vasco	11 656	2 555	14 211	1,53
C. de Madrid	10 709	703	11 412	1,23
C. Foral de Navarra	8576	10 146	18 722	2,01
Canarias	6817	1 785	8602	0,92
Islas Baleares	798	864	1662	0,18
Cantabria	102	–	102	0,01
P. de Asturias	75	–	75	0,01
Total España	737 686	192 518	930 204	100,00

Entre las 15 comunidades autónomas peninsulares de España, hay una gran diferencia de tamaño en cuanto a su extensión, así tenemos la comunidad de Andalucía con una superficie que ocupa el 17,2% (Tabla 2) del territorio de España peninsular, en contraste con la comunidad de Cantabria o La Rioja que solo llegan al 1,0%. Sin embargo esta diferencia de extensión entre estas comunidades, no se corresponde con el porcentaje de la superficie dedicada al viñedo, en el territorio peninsular español, puesto que Andalucía tiene un 3,10% de la superficie total del viñedo español y, La Rioja obtiene un 4,76%.

Si observamos la Tabla 2, la comunidad de Castilla y León es la comunidad que ocupa el primer puesto en cuanto a la superficie de su territorio, pero solo obtiene el 7,97% de la superficie del viñedo de España, por el contrario la comunidad de Castilla y la Mancha que ocupa el tercer puesto por extensión de su territorio, con un 15,7% del total de España peninsular, es la que obtiene el primer puesto en cuanto a la superficie dedicada al cultivo de la vid.

Observando las Tablas 1 y 2 se puede apreciar la variabilidad que existe, en las comunidades autónomas, en cuanto a la superficie que dedican al cultivo de la vid y la

extensión de su territorio, mostrando así su vocación vitícola de su medio. Pero esta dedicación vitícola no es solo producto de la extensión de su territorio, sino también de otras variables orográficas como es la elevación del territorio.

**Tabla 2.** Superficie (km<sup>2</sup>) y elevación (m) de las comunidades autónomas de España peninsular.

Comunidades autónomas	Área km <sup>2</sup>	Porcentaje	Elevación (m)			
			Media	Máximo	Mínimo	Rango
Castilla y León	94 226	18,6 %	957	2464	130	2334
Andalucía	87 268	17,2 %	538	3139	0	3193
Castilla-La Mancha	79 463	15,7 %	830	2171	277	1894
Aragón	47 719	9,4 %	807	3175	69	3106
Extremadura	41 635	8,2 %	435	2365	112	2253
Cataluña	32 107	6,3 %	661	2920	0	2920
Galicia	29 574	5,8 %	503	1959	0	1959
Comunidad Valenciana	23 255	4,6 %	545	1753	0	1753
Región de Murcia	11 313	2,9 %	530	1973	0	1973
Principado de Asturias	10 604	2,1 %	590	2262	0	2262
Comunidad Foral de Navarra	10 391	2,2 %	599	1799	27	1772
Comunidad de Madrid	8022	1,6 %	855	2304	454	1850
País Vasco o Euskadi	7234	1,4 %	466	1471	0	1471
Cantabria	5326	1,0 %	589	2576	0	2576
La Rioja	5045	1,0 %	832	2091	265	1826

Para la elevación del terreno, también existe gran diferencia entre comunidades, sobre todo entre las que lindan con los mares y las de interior. Por ejemplo, la Comunidad Valenciana, que tiene el mínimo de elevación sobre el nivel del mar; por el contrario, las que ocupan las mesetas, como son las comunidades de Castilla y León y Castilla-La Mancha, tienen un mínimo de elevación de 130 y 277 m, respectivamente.

Pero también dentro de la misma comunidad, existe gran diferencia entre el máximo y mínimo de altitud, por ejemplo en la comunidad de Cataluña o de Andalucía obtienen mínimos de 0 m y máximos de 2929 y 3193 m respectivamente.

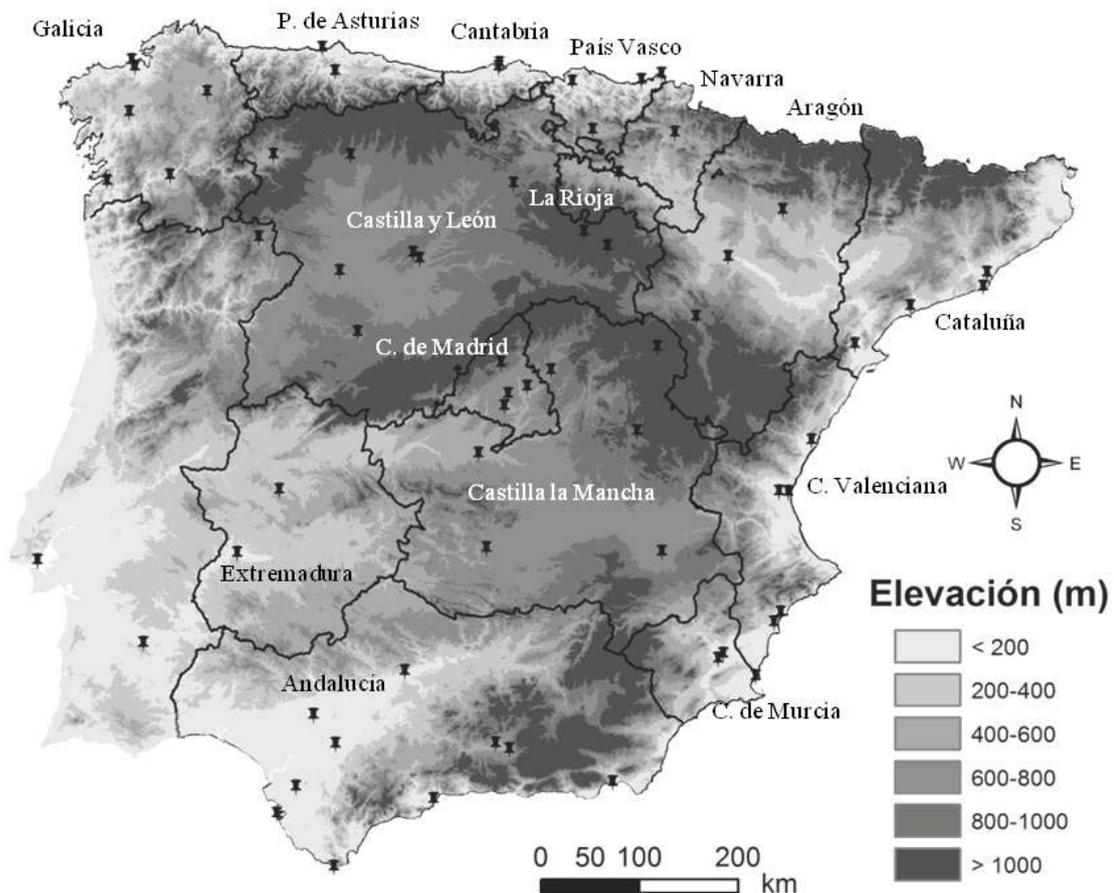
### 2.3. Base de datos.

La base que fue creada con los datos de todas las estaciones meteorológicas, contiene además de las coordenadas geográficas (referenciado en coordenadas UTM), la

temperatura diaria (media, máxima y mínima) y la insolación, para un periodo de 30 años, la elevación.

Como se muestra en la Tabla 3, la altitud para las diversas estaciones meteorológicas muestra una gran variabilidad, siendo mínima en Cádiz, donde es cero, al situarse a nivel del mar, y máxima en Soria con 1082 m. La media es de 387 m. Respecto a la latitud, la estación que presenta menor valor es la situada en Tarifa con  $36^{\circ} 02'$  y la de mayor Avilés con  $43^{\circ} 57'$ . La estación situada en Vigo Peinador con  $-8,62^{\circ}$ , es la que presenta la longitud menor y la de mayor valor con  $2,76^{\circ}$  es la situada en Girona.

La localización de las estaciones y los límites de las comunidades autónomas se muestran en la Figura 1. Las mayores altitudes predominan en el límite norte de las comunidades de Aragón, Cataluña, Castilla y León y Castilla y La Mancha, en la zona también está presente dividiendo estas dos últimas CC. AA..



**Figura 1.** Mapa de elevación de la península ibérica. Se indica los límites de las diferentes comunidades autónomas y, las localizaciones de las estaciones meteorológicas consideradas en el presente trabajo.

**Tabla 3.** Datos geográficos de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Nº de identificación	Estación	Altitud (m s n.m.)	Latitud (°)	Longitud (°)
3935	Molina de Aragón	1056	40,84	-1,89
414	Burgos-Villafra	890	42,36	-3,63
424	Soria	1082	41,78	-2,48
1397	León Virgen Del Camino	916	42,59	-5,65
3970	Valladolid (Villanubla)	846	41,70	-4,85
3934	Guadalajara (Instituto)	685	40,63	-3,16
3905	Vitoria Aeródromo	521	42,85	-2,65
3929	Cuenca	945	40,07	-2,14
3944	Lugo/Rozas	445	43,12	-7,46
233	Salamanca Aeropuerto	790	40,96	-5,50
3946	Madrid/Torrejón	611	40,48	-3,45
212	Braganza	690	41,80	-6,73
425	Valladolid	735	41,65	-4,77
1394	Stgo.Compostela/Labacolla	370	42,89	-8,41
3950	Pamplona (Observatorio)	442	42,82	-1,64
1396	Ponferrada	534	42,56	-6,60
3971	Daroca	779	41,11	-1,41
1399	Zamora	656	41,52	-5,73
3928	Ciudad Real	628	38,99	-3,92
3945	Colmenar Viejo/Famet	1004	40,70	-3,76
3913	Oviedo	336	43,35	-5,87
3968	Toledo Lorenzana	540	39,86	-4,02
1395	Vigo Peinador	261	42,24	-8,62
234	San Sebastián - Igueldo	251	43,31	-2,04
3909	Asturias/Avilés	127	43,57	-6,04
3936	San Sebastián/Fuenterrabía	4	43,36	-1,79
3903	A Coruña/Alvedro	98	43,31	-8,37
1398	Logroño-Agoncillo	353	42,45	-2,33
419	Huesca	541	42,08	-0,33
3963	Morón De La Frontera	87	37,16	-5,62
336	Albacete Los Llanos	704	38,95	-1,86
3922	Santander Centro	64	43,46	-3,82
3923	Santander/Parayas	5	43,43	-3,83
1393	Bilbao Aeropuerto	42	43,30	-2,91
3931	Girona/Costa Brava	143	41,91	2,76
420	A Coruña	58	43,37	-8,42
3951	Ourense	143	42,33	-7,86
3947	Madrid - Retiro	667	40,41	-3,68
3948	Madrid/Getafe	617	40,30	-3,72
238	Zaragoza Aeropuerto	247	41,66	-1,01
335	Barcelona -Fabra	412	41,42	2,12
3932	Granada/Aeropuerto	567	37,19	-3,79
417	Granada	687	37,14	-3,63
1401	Reus/Aeropuerto	71	41,15	1,18
2969	Barcelona/Aeropuerto	4	41,29	2,07
3921	Cáceres Ciudad	459	39,48	-6,37
211	Beja	246	38,02	-7,87
229	Badajoz/Talavera La Real	185	38,88	-6,83
1406	Tarifa	32	36,02	-5,60
214	Lisboa Geofísica	77	38,72	-9,15
3925	Castellón	35	39,95	-0,07
236	Tortosa - O. Del Ebro	44	40,82	0,49
1404	Murcia/San Javier	4	37,79	-0,80
3969	Valencia/Aeropuerto	69	39,49	-0,47
337	Córdoba Aeropuerto	90	37,84	-4,85
1405	Jerez De La Frontera	27	36,75	-6,06
309	Alicante El Altet	43	38,28	-0,57
412	Alicante	81	38,37	-0,49
3949	Murcia/Alcantarilla	85	37,96	-1,23
237	Valencia	11	39,48	-0,37
421	Murcia	61	38,00	-1,17
231	Málaga Aeropuerto	7	36,67	-4,49
415	Cádiz	1	36,50	-6,26
3908	Almería	7	36,83	-2,45
423	Sevilla/San Pablo	34	37,42	-5,88

## 2.4. Índices térmicos.

Los cuatro índices elegidos para el presente trabajo se muestran en la Tabla 5. Seguidamente se describe cada uno de ellos.

### 2.4.1. Temperatura media del periodo de crecimiento (*Growing Season Temperature*, *GST*)

Indica la temperatura media diaria entre el 1 de abril y el 30 de octubre en el hemisferio norte (Jones 2006), teniendo en cuenta el período activo de crecimiento de la vid. En términos generales, debe estar comprendido entre los 13 y 21°C para producir uvas de calidad (Jones 2006). Este índice se clasifica en siete clases, según los resultados de aplicar los cálculos en los siete meses (Tabla5), con los que se puede relacionar la madurez de las diferentes variedades (Jones et al. 2005, Hall y Jones 2009), por lo que este índice GST es utilizado de una forma sencilla para correlacionar el potencial de madurez de las variedades de vides para vinificación y compararlas con otras regiones vinícolas (Jones 2006) y proporciona la base para colocar límites latitudinales en zonas vitivinícolas en ambos hemisferios (Gladstones, 2004; Fregoni et al., 2007; Schultz y Jones 2008).

### 2.4.2. Grados día en el periodo de crecimiento (*Growing Degree Day*, *GDD*).

También denominado índice de Winkler (WI) (Amerine y Winkler, 1944; Winkler et al., 1974), es un índice de acumulación de unidades de calor, usándose para describir la idoneidad de crecimiento de los cultivos en diferentes climas. Se calcula restando la temperatura base de la vid (10 ° C para el viñedo de vinificación) de la temperatura media registrada cada día, desde el 1 abril al 31 de octubre (en el hemisferio norte), realizando el sumatorio de los valores diarios. Fue aplicado por primera vez en la viticultura por Winkler et al. (1974) en California, siendo la clasificación que se utiliza en el presente estudio la propuesta originalmente, con la modificación de los límites superior e inferior, resultando siete clasificaciones de regiones para el viñedo de vinificación, tal y como realizaron Jones et al. (2010) en el estudio sobre el análisis del clima en regiones vitivinícolas del oeste de los Estados Unidos.

### 2.4.3. El índice Huglin (*Huglin Index, HI*).

Representa una fórmula para la suma de calor similar a la del GDD, pero con un ajuste que le da más peso a las temperaturas diurnas y se multiplica por un coeficiente de corrección (K), que tiene en cuenta la duración media de las horas de luz según la latitud (Huglin, 1978), con valores para dicho coeficiente entre 1,02 y 1,06 para 40° a 50° de latitud, respectivamente, en el hemisferio norte. Otra particularidad de este índice es que solo se tiene en cuenta el periodo desde el 1 de abril al 30 de septiembre, considerando seis meses, a diferencia de los siete de los otros índices, puesto que Huglin (1978) estableció que la acumulación de calor en octubre era menos importante. Comparaciones entre el periodo de crecimiento de siete meses con el de seis meses, realizadas por Jones et al. (2010), en varias regiones vitivinícolas, han encontrado que las clasificaciones están altamente correlacionadas ( $r > 0,95$ ) por lo que la diferencia de un mes no es significativa, a pesar de que en Europa haya regiones donde se cosecha en octubre. Se consideran 8 clases para el HI.

### 2.4.4. El índice de los grados-día biológicamente efectivos (*Biological Effective Degree Day, BEDD*)

Fue desarrollado por Gladstones (1992) y es otra forma de calcular la acumulación de calor, pero asumiendo que el crecimiento de la planta de vid no es lineal para cualquier temperatura. Es similar a los índices antes mencionados, a pesar de que hace ajustes adicionales para tener en cuenta las variaciones de lugares con viñedos que pueden ser influenciados por micro o mesoclimas. Este índice a diferencia del anterior, asigna el máximo de 9°C a los días cuyas temperaturas medias se sitúan entre los 19°C y 26°C (temperaturas óptimas para el desarrollo). Si los valores de temperatura media se encuentran entre el cero vegetativo (10°C) y 19°C, asigna los grados días calculados por la expresión (Tabla 4); del mismo modo para las temperaturas superiores a 26°C. La vid por encima de 40°C no tiene actividad vegetativa (Gladstones 2011). Es decir, es índice ajusta el crecimiento de la vid truncando su actividad por el cero vegetativo y por la máxima temperatura de desarrollo (26°C). También presenta un ajuste de la latitud para incluir el aumento de la luz del día en latitudes más altas durante el periodo de crecimiento. Por último, BEDD incluye un ajuste de rango de temperatura diurna (DTRadj). Este ajuste se multiplica positivamente (0,25) si el DTRadj (la diferencia entre la temperatura mínima y la temperatura máxima diaria), es mayor de 13°C y multiplicado negativamente (-0,25) si

es menos de 10°C (Tabla 4). El factor de ajuste (K) para la duración del día es similar, pero ligeramente diferente al de HI, que varía entre 1,00 y 1,045 para 40° y 50° respectivamente de latitud en el hemisferio norte.

El índice BEDD, al igual que los otros índices, tiene en cuenta el periodo desde el 1 de abril al 30 de octubre en el hemisferio norte. En este estudio, las clases BEDD consideradas son las mismas que las propuestas por Jones et al. (2010).

**Tabla 4.** Índices térmicos y sus clases. GST, es el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento, GDD, es el índice de los grados día en el periodo de crecimiento, HI es el índice de Huglin, y BEDD, es el índice de los grados día biológicamente efectivos.  $T_{max}$  es la temperatura máxima diaria,  $T_{mín}$  es la temperatura mínima diaria y  $T_{mean}$  es la temperatura media diaria.

Índice	Ecuación	Meses	Clases/ Límites
GST (°C)	$\frac{\sum_{d=1}^n \left[ \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \right]}{n}$	1 Abril a 31 Octubre	1. Demasiado fría <13°C 2. Fría = 13-15°C 3. Intermedia = 15-17°C 4. Templada = 17-19°C 5. Cálido =19-21°C 6. Muy cálido =21-24°C 7. Demasiado cálido >24°C
GDD (C° días)	$\sum_{d=1}^n \max \left[ \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - 10,0 \right]$	1 Abril a 31 Octubre	1. Demasiado fría <850 2. Región I 850-1389 3. Región II 1389-1667 4. Región III 1667-1944 5. Región IV 1944-2222 6. Región V 2222-2700 7. Demasiado cálido >2700
HI (°C)	$\sum_{d=1}^n \max \left[ \frac{(T_{mean} - 10 + T_{max} - 10)}{2} \right] K$ K es un ajuste de latitud/duración día	1 Abril a 30 Septiembre	1. Demasiado fría <1200 2. Muy fría 1200-1500 3. Fría 1500-1800 4. Templada 1800-2100 5. Cálido/Templada 2100-2400 6. Cálido 2400-2700 7. Muy cálido 2700-3000 8. Demasiado cálido >3000
BEDD (C° días)	$\sum_{d=1}^n \min \left[ \max \left( \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} - 10,0 \right) K + DRT_{adj}, 9 \right]$ Donde $DTR_{adj} = \begin{cases} 0,25[DRT - 13], [DRT] > 13 \\ 0,0, & 10 < [DRT] < 13 \\ 0,25[DRT - 10], [DRT] < 10 \end{cases}$ y K es un ajuste por latitud/duración día	1 Abril a 31 Octubre	1. <1000 2. 1000-1200 3. 1200-1400 4. 1400-1600 5. 1600-1800 6. 1800-2000 7. >2000

Las clases GDD (regiones) se basan en los límites redondeados a ° F tal como se define por Winkler et al. (1974), que producen clases no redondeadas en unidades °C. El coeficiente K de latitud tiene en cuenta el aumento del día a partir de 1,0 a 33,3 ° longitud aumentando gradualmente hacia los polos y se basa en la duración del día juliano y la latitud. Las clases GDD se basan en límites originalmente dadas por Amerine y Winkler (1944), junto con el límite inferior y superior para la *región I* y la *región V*. También hay que tener en cuenta que los nombres de las clases dadas anteriormente no son directamente comparables entre índices (por ejemplo, GST *fría* con HI *fría*).

## 2.5. Regresión-krigeado

Krigeado es el nombre genérico de los algoritmos de interpolación geoestadísticos. Se basan en el principio de que, en aquellas variables que cambian de manera continua en el espacio, los puntos próximos espacialmente tienden a tener valores más similares que los que están más alejados. Los métodos geoestadísticos se basan en el reconocimiento de la variación espacial de cualquier variable continua, índices bioclimáticos en este trabajo, y que dicha variación es demasiado irregular para ser modelizada por una función matemática simple. En cambio, esta variación puede ser mejor descrita por una superficie estocástica. Por lo tanto, la variable estudiada se distribuye de forma continua (variable regionalizada), tomando valores en todos los sitios dentro de la zona de estudio, y es considerada aleatoria, lo que significa que los resultados pueden tomar una serie de valores de acuerdo con una distribución de probabilidad. Dado que el mayor efecto en la temperatura del aire medida en un lugar es el atribuible a la altitud se corrigieron previamente los valores de temperatura mediante regresión lineal, usando como predictores la altitud y la latitud. Los residuos de esta regresión se interpolaron mediante la técnica del krigado ordinario. Más información al respecto se puede encontrar en, por ejemplo, Odeh et al. (1995), Goovaerts (1999) y Bustamante (2003).

Cuando se utiliza la técnica de regresión-krigeado, se hacen predicciones por separado para la tendencia y los residuos. Por lo tanto, cualquier variable en un nuevo punto sin muestrear,  $x$ , es estimada,  $Z^*_{RK}(x)$ , como sigue:

$$Z^*_{RK}(x) = m(x) + r(x)$$

donde la tendencia,  $m(x)$ , es generada mediante un análisis de regresión lineal y los residuos,  $r(x)$ , se estiman utilizando el algoritmo de krigado ordinario.

Si  $c_j$  son los coeficientes de la tendencia estimada del modelo,  $v_j(x)$ , es el valor  $j$ -ésimo predicho en la ubicación  $x$ ,  $p$  es el número de predictores,  $w_i(x)$ , son los pesos determinados por la resolución del sistema de krigado ordinario de la regresión de los residuos,  $r(x)$ , por los puntos  $n$  de la muestra, la predicción se hace a través de:

$$Z^*_{RK}(x) = \sum_{j=0}^p c_j \times v_j(x) + \sum_{i=1}^n w_i(x) \times r(x_i)$$

En este estudio, se utilizan dos predictores, la elevación ( $h$ ) y la latitud; así  $m(x) = a + b \times h(x)$ . En consecuencia,

$$Z^*_{RK}(x) = a + b \times h(x) + \sum_{i=1}^n w_i(x) \times r(x_i)$$

El residuo en cada punto de muestreo  $r(x_i)$ , se calcula como la diferencia entre el valor de la propiedad del suelo y la estimación de la tendencia ( $r(x_i) = Z(x_i) - m(x_i)$ ).

El algoritmo de regresión-krigado da lugar a estimaciones más precisas cuando la covariable está disponible en todos los lugares de la región (Moral, 2010), como ocurre claramente con la elevación, ya que puede ser extraído de un modelo de elevación digital, en formato raster, con  $1000 \times 1000$  m de resolución. Por lo tanto, se puede estimar cualquier otro lugar no muestreado a partir de la información obtenida en los puntos muestrales, es decir en las estaciones meteorológicas, pudiéndose obtener una superficie continua que cubra toda la península ibérica, determinándose los valores de cada índice para cada una de las unidades más pequeñas de resolución (píxel). Así, se generaron cuatro modelos digitales en formato raster, uno para cada índice, con  $1000 \times 1000$  m de resolución. Todas las operaciones se llevaron a cabo en ArcGIS v. 10. 1. El análisis geoestadístico fue llevado a cabo con las extensiones *Geostatistical Analyst* y *Spatial Analyst* de ArcGIS.

## **2.6. Superficie de viñedo**

También se ha representado en los mapas, la superficie dedicada al viñedo, que ha sido obtenida del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE, 2011). El modelo de datos de SIOSE es un modelo normalizado, interoperable y armonizado de la ocupación del suelo, donde el terreno se representa por medio de polígonos, al que se le es asociado una única cobertura en el caso de los cultivos. Dentro de cada polígono SIOSE se puede considerar que la cobertura es homogénea, diferenciándose de los polígonos colindantes por la cobertura o combinación de coberturas que lo forman, de tal manera que la suma de coberturas en un polígono representa el 100% de su superficie. Así, cada cobertura en un polígono lleva asociada el porcentaje de ocupación respecto al total del polígono, siendo el 100% en el caso de una única cobertura y sumando el 100% en el caso de que tenga más de una.

## **3. Resultados y Discusión**

---

### **3.1. Análisis descriptivo de la temperatura y precipitación en las estaciones**

A partir de los datos meteorológicos, procesados en el capítulo I, son mostrados en la Tabla 5 y 6, algunos estadísticos descriptivos para la temperatura y precipitación media anual, en las estaciones utilizadas, ordenadas de menor a mayor según la temperatura media anual (Tabla 5) y la pluviometría media anual (Tabla 6).

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos para la temperatura media anual (°C) en las estaciones meteorológicas peninsulares durante el periodo 1980-2010.

ID	Estación	Media	Desv. tít.	C.V.	Rango	Curtosis	Asimetría	Mínimo	Máximo
3935	Molina De Aragón	10,24	0,63	0,06	2,46	-0,645	-0,01	8,91	11,38
414	Burgos-Villafría	10,27	0,80	0,08	3,31	-0,546	0,32	8,74	12,05
424	Soria	10,68	0,66	0,06	2,76	-0,383	-0,12	9,11	11,87
1397	León Virgen Del Camino	10,87	0,56	0,05	2,48	-0,029	-0,03	9,57	12,06
3970	Valladolid (Villanubla)	11,19	0,66	0,06	3,13	0,095	0,03	9,65	12,78
3905	Vitoria Aeródromo	11,65	0,58	0,05	2,36	-0,491	0,20	10,44	12,80
3929	Cuenca	11,66	0,45	0,04	1,78	-0,806	0,34	10,85	12,63
3934	Guadalajara (Instituto)	11,83	0,61	0,05	2,80	-0,065	0,59	10,69	13,49
233	Salamanca Aeropuerto	11,88	0,69	0,06	2,73	-0,467	0,09	10,59	13,33
3944	Lugo/Rozas	11,94	0,45	0,04	1,64	-0,611	0,20	11,18	12,82
3946	Madrid/Torrejón	12,32	0,37	0,03	1,55	-0,260	0,00	11,57	13,12
212	Braganza	12,40	0,62	0,05	2,38	-0,577	0,08	11,16	13,54
3971	Daroca	12,57	0,75	0,06	3,31	-0,396	-0,05	10,80	14,11
1394	Stgo.Compostela/Labacolla	12,58	0,65	0,05	2,89	-0,178	0,32	11,24	14,14
3950	Pamplona (Observatorio)	12,66	0,72	0,06	3,36	-0,335	0,26	11,15	14,51
425	Valladolid	12,68	0,58	0,05	2,05	-0,761	0,01	11,63	13,68
3928	Ciudad Real	12,68	0,74	0,06	2,77	-0,739	-0,52	11,14	13,90
1399	Zamora	12,76	0,68	0,05	2,96	-0,509	0,14	11,32	14,28
1396	Ponferrada	12,80	0,59	0,05	2,35	-0,517	0,25	11,63	13,98
3945	Colmenar Viejo/Famet	13,15	0,55	0,04	2,34	0,748	-0,72	11,57	13,91
3968	Toledo Lorenzana	13,21	0,29	0,02	1,36	-0,474	-0,20	12,47	13,83
3913	Oviedo	13,22	0,49	0,04	1,93	-0,103	0,08	12,33	14,26
1395	Vigo Peinador	13,25	0,35	0,03	1,37	-0,833	-0,09	12,56	13,92
234	San Sebastián - Igueldo	13,26	0,63	0,05	2,72	-0,243	0,40	11,97	14,69
3909	Asturias/Avilés	13,48	0,47	0,03	1,89	-0,391	0,19	12,62	14,51
3936	San Sebastián/Fuenterrabía	13,50	0,39	0,03	1,78	-0,188	-0,12	12,55	14,33
1398	Logroño-Agoncillo	13,60	0,64	0,05	3,31	0,307	-0,05	11,83	15,14
419	Huesca	13,66	0,71	0,05	3,39	-0,188	0,14	12,19	15,58
1393	Bilbao Aeropuerto	13,75	0,74	0,05	3,18	-0,162	0,75	12,60	15,78
336	Albacete Los Llanos	13,76	0,84	0,06	3,56	-0,570	-0,26	11,87	15,43
3903	A Coruña/Alvedro	13,79	0,45	0,03	1,95	0,202	0,37	12,89	14,84
3963	Morón De La Frontera	13,86	0,49	0,04	1,98	-0,870	-0,06	12,83	14,81
3923	Santander/Parayas	14,15	0,67	0,05	3,07	-0,268	0,05	12,79	15,86
3922	Santander Centro	14,26	0,31	0,02	1,36	-0,501	-0,01	13,51	14,88
3947	Madrid - Retiro	14,39	0,83	0,06	3,53	-0,702	0,05	12,62	16,15
420	A Coruña	14,43	0,63	0,04	2,53	-0,727	0,23	13,22	15,74
3948	Madrid/Getafe	14,62	0,75	0,05	3,82	0,259	0,05	12,61	16,43
3931	Girona/Costa Brava	14,67	0,62	0,04	2,72	0,203	-0,14	13,16	15,88
3951	Ourense	14,82	0,59	0,04	2,02	-0,905	0,04	13,89	15,90
335	Barcelona -Fabra	14,92	0,78	0,05	3,11	-0,787	0,24	13,45	16,56
238	Zaragoza Aeropuerto	14,99	0,79	0,05	3,61	-0,299	0,00	13,26	16,87
3921	Cáceres Ciudad	15,26	1,26	0,08	3,84	-1,602	0,04	13,53	17,38
417	Granada	15,30	0,65	0,04	2,67	-0,543	-0,26	13,90	16,57
3932	Granada/Aeropuerto	15,38	0,58	0,04	2,26	-0,874	0,07	14,30	16,57
2969	Barcelona/Aeropuerto	15,73	0,80	0,05	3,28	-0,623	0,46	14,14	17,42
1401	Reus/Aeropuerto	15,85	0,64	0,04	2,88	-0,576	-0,05	14,48	17,36
211	Beja	16,51	0,68	0,04	2,92	-0,712	-0,04	14,99	17,92
229	Badajoz/Talavera La Real	16,67	0,67	0,04	3,03	-0,368	0,05	15,22	18,25
214	Lisboa Geofísica	17,13	0,60	0,04	2,66	-0,580	0,21	15,71	18,37
1404	Murcia/San Javier	17,21	0,69	0,04	3,34	-0,066	0,27	15,84	19,18
236	Tortosa - O. Del Ebro	17,27	0,68	0,04	2,67	-0,873	0,22	15,98	18,65
1406	Tarifa	17,39	0,47	0,03	1,92	-0,699	0,15	16,50	18,42
3925	Castellón	17,47	0,68	0,04	2,42	-0,865	-0,25	16,14	18,55
337	Córdoba Aeropuerto	17,66	0,82	0,05	4,24	1,018	-0,63	15,03	19,27
3969	Valencia/Aeropuerto	17,77	0,63	0,04	2,32	-0,947	-0,17	16,58	18,89
237	Valencia	17,81	0,74	0,04	3,24	-0,466	-0,09	15,94	19,18
1405	Jerez De La Frontera	17,86	0,62	0,03	3,05	-0,061	0,23	16,42	19,47
3949	Murcia/Alcantarilla	17,87	0,61	0,03	2,78	-0,345	-0,36	16,23	19,01
421	Murcia	18,04	0,79	0,04	3,50	-0,566	0,07	16,23	19,73
412	Alicante	18,09	0,57	0,03	2,55	-0,674	-0,21	16,78	19,32
309	Alicante El Altet	18,20	0,50	0,03	1,65	-1,072	-0,47	17,19	18,84
231	Málaga Aeropuerto	18,24	0,60	0,03	2,53	-0,642	-0,02	17,00	19,53
415	Cádiz	18,42	0,55	0,03	2,41	-0,398	-0,34	17,00	19,41
423	Sevilla San Pablo	18,71	0,84	0,05	3,37	-0,825	0,24	17,08	20,45
3908	Almería	19,02	0,40	0,02	1,54	-0,575	-0,40	18,16	19,71

**Tabla 6.** Estadísticos descriptivos para la precipitación media anual (mm) en las estaciones meteorológicas peninsulares durante el periodo 1980-2010.

ID	Estación	Media	Desv. típ.	C.V.	Rango	Curtosis	Asimetría	Mínimo	Máximo
3908	Almería	191,88	90,48	0,47	486,60	6,66	1,99	64,90	551,50
309	Alicante El Altet	275,74	101,48	0,37	406,20	0,39	0,89	125,10	531,30
421	Murcia	288,35	102,00	0,35	463,30	-0,07	0,45	113,40	576,70
3949	Murcia/Alcantarilla	290,28	104,63	0,36	463,30	0,01	0,43	113,40	576,70
1404	Murcia/San Javier	310,34	127,96	0,41	632,40	1,59	0,85	84,90	717,30
238	Zaragoza Aeropuerto	324,39	89,66	0,28	463,90	1,57	0,87	182,90	646,80
412	Alicante	331,90	125,37	0,38	544,20	0,43	0,91	108,90	653,10
3932	Granada/Aeropuerto	354,94	115,42	0,33	501,20	1,51	1,13	186,50	687,70
3968	Toledo Lorenzana	363,77	85,63	0,24	383,40	-0,02	-0,20	159,60	543,00
336	Albacete Los Llanos	366,87	107,30	0,29	471,00	-0,15	0,57	184,90	655,90
417	Granada	377,27	104,05	0,28	480,70	0,39	0,64	181,00	661,70
233	Salamanca Aeropuerto	386,74	89,44	0,23	390,30	-0,01	0,71	248,20	638,50
3946	Madrid/Torrejón	402,07	118,86	0,30	506,80	0,48	0,73	221,50	728,30
1399	Zamora	402,80	115,37	0,29	450,50	-0,45	0,46	219,70	670,20
3948	Madrid/Getafe	403,44	101,91	0,25	422,50	-0,30	0,35	216,10	638,60
1398	Logroño-Agoncillo	406,30	88,02	0,22	390,30	-0,30	0,50	240,10	630,40
3971	Daroca	426,19	100,04	0,23	509,00	0,59	0,07	171,40	680,40
425	Valladolid	427,73	101,71	0,24	460,20	0,16	0,53	238,50	698,70
3934	Guadalajara (Instituto)	433,38	120,94	0,28	676,00	3,11	1,29	210,20	886,20
3928	Ciudad Real	440,17	126,97	0,29	642,90	0,63	0,62	168,30	811,20
3947	Madrid - Retiro	460,94	106,74	0,23	427,90	-0,81	0,17	249,10	677,00
3925	Castellón	466,37	153,97	0,33	765,20	4,71	1,53	259,70	1024,90
3970	Valladolid (Villanubla)	467,58	117,44	0,25	480,90	-0,06	0,71	255,90	736,80
237	Valencia	475,64	171,79	0,36	793,30	0,63	0,87	183,30	976,60
229	Badajoz/Talavera La Real	479,26	133,82	0,28	545,50	-0,31	0,49	228,80	774,30
3969	Valencia/Aeropuerto	480,84	185,01	0,38	806,20	1,71	1,14	236,90	1043,10
3935	Molina De Aragón	499,17	109,69	0,22	498,20	0,18	0,24	270,80	769,00
3921	Cáceres Ciudad	524,30	144,07	0,27	670,80	0,46	0,67	287,90	958,70
1401	Reus/Aeropuerto	524,54	142,51	0,27	646,20	0,29	0,57	271,40	917,60
3945	Colmenar Viejo/Famet	526,15	167,15	0,32	715,97	-0,07	0,27	142,63	858,60
424	Soria	529,36	108,17	0,20	514,80	0,39	0,68	344,80	859,60
419	Huesca	542,07	139,47	0,26	674,30	1,10	0,88	277,40	951,70
3929	Cuenca	546,73	142,76	0,26	649,10	-0,45	0,39	266,20	915,30
1397	León Virgen Del Camino	549,08	126,90	0,23	519,60	-0,63	0,34	328,00	847,60
236	Tortosa - O. Del Ebro	550,87	160,12	0,29	795,30	1,15	1,09	251,00	1046,30
231	Málaga Aeropuerto	565,78	236,74	0,42	940,60	1,27	1,34	266,40	1207,00
423	Sevilla San Pablo	576,36	192,75	0,33	799,70	-0,41	0,60	254,50	1054,20
3963	Morón De La Frontera	576,42	190,93	0,33	814,10	-0,12	0,63	219,70	1033,80
414	Burgos-Villafría	576,74	110,30	0,19	524,70	0,34	0,63	368,50	893,20
415	Cádiz	577,19	201,09	0,35	798,70	-0,32	0,67	280,50	1079,20
211	Beja	587,34	162,78	0,28	724,60	0,17	0,81	321,60	1046,20
1405	Jerez De La Frontera	607,13	217,53	0,36	1152,50	2,10	1,20	259,70	1412,20
337	Córdoba Aeropuerto	613,60	243,77	0,40	987,90	1,28	1,43	309,30	1297,20
2969	Barcelona/Aeropuerto	616,63	197,15	0,32	816,20	1,19	1,21	357,90	1174,10
335	Barcelona -Fabra	631,21	162,79	0,26	705,60	0,58	1,10	417,10	1122,70
1396	Ponferrada	656,82	141,03	0,21	616,70	-0,48	0,32	376,70	993,40
1406	Tarifa	666,62	266,74	0,40	1276,40	1,62	1,26	307,20	1583,60
3931	Girona/Costa Brava	717,25	188,25	0,26	694,90	-0,56	0,62	427,00	1121,90
3905	Vitoria Aeródromo	754,56	116,29	0,15	444,70	-0,74	0,05	529,50	974,20
212	Braganza	771,24	206,62	0,27	771,40	-0,87	0,37	465,70	1237,10
214	Lisboa Geofísica	775,48	237,36	0,31	1175,00	1,67	1,01	416,00	1591,00
3951	Ourense	798,33	156,61	0,20	536,80	-0,91	-0,35	501,20	1038,00
3950	Pamplona (Observatorio)	798,48	135,88	0,17	564,30	-0,76	0,02	516,40	1080,70
3913	Oviedo	954,62	131,26	0,14	528,50	0,24	0,79	732,80	1261,30
420	A Coruña	1012,06	176,67	0,17	726,70	-0,52	0,20	672,30	1399,00
3944	Lugo/Rozas	1042,87	180,27	0,17	617,20	-1,13	-0,08	734,40	1351,60
3909	Asturias/Avilés	1058,11	150,31	0,14	597,60	0,08	0,62	831,80	1429,40
3903	A Coruña/Alvedro	1099,63	162,96	0,15	742,90	1,00	0,26	763,40	1506,30
3922	Santander Centro	1183,02	213,66	0,18	911,60	-0,46	0,34	808,90	1720,50
1393	Bilbao Aeropuerto	1185,68	178,90	0,15	902,80	0,16	-0,35	668,30	1571,10
3923	Santander/Parayas	1282,82	261,55	0,20	960,20	-1,06	0,20	817,80	1778,00
234	San Sebastián - Igueldo	1540,67	230,18	0,15	1168,20	0,20	0,15	1038,10	2206,30
3936	San Sebastián/Fuenterrabía	1709,08	265,07	0,16	1240,20	0,05	0,33	1176,40	2416,60
1395	Vigo Peinador	1888,53	381,60	0,20	1814,10	-0,09	0,06	1037,70	2851,80
1394	Stgo.Compostela/Labacolla	1890,24	419,37	0,22	2184,30	0,94	0,73	974,80	3159,10

La precipitación muestra variaciones importantes en sus valores. Por ejemplo, la estación de Santiago de Compostela, con 1890,24 mm, y Vigo 1888,53 mm, (Tabla 6), ambas situadas al noroeste de la península ibérica (comunidad autónoma de Galicia), son las de precipitaciones más abundantes para la media de los años estudiados; por el contrario, los valores mínimos se determinaron a las estaciones situadas en el sur y sureste peninsular, en el territorio de las comunidades de Andalucía, Región de Murcia y Comunidad Valenciana, como por ejemplo los valores de 191,88mm, 288,35mm y 275,74 mm, pertenecientes a las estaciones de Almería, Murcia y Alicante, respectivamente.

Para la media de las temperaturas, en las series estudiadas se observa igualmente una notable variación entre sus valores. La media se sitúa en los 14,67 °C, valor que coincide con la estación de Girona, obteniéndose los valores más bajos en las estaciones situadas en la parte central y norte de la península, como los obtenidos en Molina de Aragón, con 10,24°C. Por el contrario, las estaciones con las medias más altas son las situadas en la parte sur y sureste peninsular; por ejemplo, los 19,02°C de media en Almería.

En cuanto al rango de la pluviometría media, o la diferencia entre el valor máximo y el mínimo, para el periodo estudiado de 1980 a 2010, existen estaciones que presentan un rango muy amplio (mayor de 1000 mm), estas estaciones están localizadas cercanas a la costa, y se encuentran tanto en el sur (Tarifa, Jerez de la Frontera), como en el norte (Vigo, San Sebastián y Santiago de Compostela).

Observando las Tablas 5 y 6, apreciamos que hay estaciones, donde la temperatura media obtiene los valores más altos (Alicante, Murcia, Almería), son también estaciones, donde la pluviometría es menor, pero no ocurre al contrario, es decir, las estaciones que reciben más pluviometría (Santiago, Vigo, San Sebastián), no son las más frías, sino que obtienen para la temperatura, valores medios en la serie de años estudiada.

### ***3.2. Análisis descriptivo de los índices en las estaciones***

El resultado del valor calculado para cada uno de los cuatro índices, para cada una de las estaciones, se recogen en el Anexo I (Tablas 1 a 4), junto con algunos estadísticos descriptivos. En el Anexo II se muestra mediante gráficos (Figuras 1 a 8), la clasificación para cada una de las estaciones, según las clases de cada índice.

En la Tabla 7 se muestran los estadísticos para los índices térmicos tratados, se puede observar que la media obtenida para cada índice está muy cercana a la mediana. Esto indica que los datos proceden de una distribución normal. Para los índices GST, GDD y HI, la mediana fue menor que la media; para el BEDD, la mediana es mayor que el valor medio, pero estando muy próximos. El coeficiente de variación (C.V.), para el índice GDD, es el que presenta mayor dispersión (31,70%), por lo que sus valores presentan menor homogeneidad, y el índice GST, con un valor de 14,66%, es el que presenta menor dispersión, siendo sus valores más semejantes en las estaciones meteorológicas estudiadas.

**Tabla 7.** Estadísticos descriptivos de los índices climáticos de las estaciones meteorológicas para el periodo 1980-2010.

Índice	Media	Mediana	Desv. típica	Mínimo	Máximo	Curtosis	Asimetría	C.V. %
GST	18,6	18,2	2,73	8,9	25,1	-0,73	-0,06	14,66
GDD	1840,5	1771,1	583,49	-219,0	3231,7	-0,73	-0,06	31,70
BEDD	1451,2	1460,6	318,54	-411,8	1926,0	2,86	-1,03	21,95
HI	2471,4	2447,9	615,76	229,2	3974,5	-0,66	-0,06	24,92

La clasificación de las estaciones para los índices utilizados en este estudio están en la Tabla 8, en la que se puede observar que para el índice de GST no hay estaciones clasificadas en las clases de los extremos (*demasiado fría* ni como *demasiado cálido*). El menor porcentaje se obtiene en la categoría *fría* (13-15°C) con un 4,62%, pero son las clasificaciones de *intermedia*, *templada*, *cálido* y *muy cálido* las que obtiene mayor porcentaje y además muy próximos entre sí con 27,69%, 23,08%, 20,00% y 24,62 % respectivamente. Para GDD están representadas todas las categorías a excepción de *demasiado fría* (<850°C días). Los porcentajes mayores se obtienen en las categorías *región I*, *región II* y *región V*, con un 26,15%, 21,54%, y 23,08% respectivamente, siendo la *región III*, con un 7,69%, y la clasificación *demasiado cálido* (>2700°C días), con un 4,63%, las que obtienen un porcentaje menor. En los índices con ajuste de la latitud HI y

GDD, difieren en las clases donde no tienen representación las estaciones, en el HI no existen estaciones clasificadas en las primeras clases, *demasiado fría* y *muy fría* y para BEDD, no hay estaciones clasificadas en la clase última clase, *nº 7 (>2000°C)*.

**Tabla 8.** Frecuencia de cada clase para los índices climáticos en las estaciones meteorológicas peninsulares (nº de estaciones) y para el total de España peninsular (% de superficie), según el resultado de los modelos originados por interpolación geoestadística.

Índice	Clases/ Límites	Frecuencia (%)	
		Estaciones	España peninsular.
GST (°C)	1. Demasiado fría <13°C	0,0	1,2
	2. Fría = 13-15°C	4,62	6,1
	3. Intermedia = 15-17°C	27,69	35,40
	4. Templada = 17-19°C	23,08	31,60
	5. Cálido =19-21°C	20,00	19,60
	6. Muy cálido =21-24°C	24,62	6,10
	7. Demasiado cálido >24°C	0,0	0,0
GDD (°C días)	1. Demasiado fría <850	0,0	0,4
	2. Región I 850-1389	26,15	2,6
	3. Región II 1389-1667	21,54	6,5
	4. Región III 1667-1944	7,69	21,7
	5. Región IV 1944-2222	16,92	24,1
	6. Región V 2222-2700	23,08	33,1
	7. Demasiado cálido >2700	4,63	11,6
HI (°C)	1. Demasiado fría <1200	0,0	0,9
	2. Muy Fría 1200-1500	0,0	3,6
	3. Fría 1500-1800	9,20	22,2
	4. Templada 1800-2100	26,20	27,0
	5. Cálido/templada 2100-2400	12,30	20,5
	6. Cálido 2400-2700	12,30	16,5
	7. Muy cálido 2700-3000	15,40	8,3
	8. Demasiado cálido >3000	24,60	1,0
BEDD (°C días)	1. <1000	1,54	1,2
	2. 1000-1200	18,46	3,5
	3. 1200-1400	27,69	18,6
	4. 1400-1600	15,38	33,4
	5. 1600-1800	21,54	28,8
	6. 1800-2000	15,38	11,5
	7. >2000	0,0	3,1

GST, es el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento, GDD, es el índice de los grados día en el periodo de crecimiento, HI es el índice de Huglin, y BEDD, es el índice de los grados día biológicamente efectivos.

La frecuencia de las clases para cada índice, en España peninsular (Figura 8), se observa que hay diferencias, que son lógicas, entre estas y las originadas por las estaciones, puesto que estas últimas solo son obtenidas del valor “estático” originado por las localizaciones de las estaciones, frente al valor calculado por el modelo de interpolación geoestadística, para todo el territorio de peninsular español. Para el índice GST, no existen diferencias muy acusadas entre los porcentajes, en las clases medias, pero si en las de los extremos. También puede observarse que, para las clases de las estaciones donde no existe frecuencia, estas son las clases extremas, si existe valor en la frecuencia obtenida para todo el territorio peninsular español, como podría esperarse, pero con diferencias poco acusadas. Esto podría interpretarse como, que las localizaciones de las estaciones meteorológicas, representan adecuadamente al territorio peninsular español. Las clases no representadas para las estaciones y si para el territorio de España peninsular, como se ha comentado anteriormente, son las clases más frías, y que están representadas en los mapas de los índices GST, GDD y HI (Figuras 2 a 4), en las zonas de mayor elevación, donde el cultivo del viñedo no es posible. Para el índice BEDD, es la clase de mayor acumulo de calor (Tabla 8), la que no obtiene frecuencia para las estaciones, y si es representada para el territorio peninsular español con un 3,1%, en una zona vitivinícola donde el cultivo de la vid, requiere unas condiciones particulares (Figura 5).

**Tabla 9.** Matriz de correlación entre los índices bioclimáticos, longitud, latitud y elevación para las estaciones meteorológicas peninsulares.

	Elevación	Longitud	Latitud	GST	GDD	BEDD	HI
Elevación	1						
Longitud	-0,080	1					
Latitud	0,203	-0,045	1				
GST	<b>-0,657</b>	<b>0,251</b>	<b>-0,703</b>	1			
GDD	<b>-0,657</b>	<b>0,251</b>	<b>-0,703</b>	<b>0,999</b>	1		
BEDD	<b>-0,732</b>	0,224	<b>-0,604</b>	<b>0,967</b>	<b>0,967</b>	1	
HI	<b>-0,523</b>	0,235	<b>-0,673</b>	<b>0,965</b>	<b>0,965</b>	<b>0,936</b>	1

Valores en cursiva indican correlación significativa al nivel 0,05 (bilateral) y en negrita al nivel < 0,01 (bilateral).

La Tabla 9 muestra la correlación de Pearson, para los valores medios de los índices, estos están altamente correlacionados, como era lógico de esperar puesto que todos tienen de base para su cálculo, la temperatura. Por lo que son funcionalmente muy similares, es decir, cada índice representa espacialmente similares características del clima. No obstante, es importante denotar que aunque los valores medios de los índices están altamente correlacionados, cada índice tiene diferentes límites de clase e interpretación teórica, por lo que no son comparables de una manera directa.

La elevación está altamente correlacionada (Tabla 9), aunque de forma negativa con todos los índices, pero es con el BEDD con quien alcanza el mayor valor absoluto (-0,732). La latitud presenta también buena correlación con todos los índices, pero obtiene la mayor correlación con valores iguales para GST y GDD ( $r = -0,703$ ;  $p < 0,01$ ). La longitud al contrario que los parámetros geográficos anteriores obtiene una baja correlación, mostrando valores de  $r = 0,251$  ( $p < 0,01$ ) pero, a diferencia de los otros, es positiva para GST y GDD, y tiene un valor bajo para HI ( $r = 0,235$ ;  $p < 0,05$ ). Según se puede observar en la Tabla 9 todos los índices están altamente correlacionados ( $r > 0,900$ ;  $p < 0,01$ ), especialmente GST y GDD ( $r = 0,999$ ;  $p < 0,01$ ). Investigaciones anteriores (Jones et al., 2010 y Hall y Jones, 2010) dieron lugar a resultados similares ( $r = 0,99$ ) también para estos dos índices climáticos.

Debido a estas altas correlaciones entre los índices, cualquiera de ellos puede ser utilizado para caracterizar térmicamente una región, pero en los estudios recogidos en la bibliografía son utilizados todos, tanto para países como para regiones vitivinícolas. Como ejemplo de lo comentado son los estudios de realizados por Jones et al. (2009) en varias regiones vitivinícolas de 5 países europeos, Hall y Jones (2010) en las regiones de Australia, Jones et al. (2010) para las regiones vitivinícolas del oeste de los Estados Unidos, Anderson et al. (2011) en Nueva Zelanda, Willow (2013) para las regiones de Oregon en los Estados Unidos y Moral et al. (2014) para la región de Extremadura en España.

### ***3.3. Análisis descriptivo de los índices por comunidades autónomas***

La Tabla 10 muestra los valores mínimos, máximos y medios para cada índice, una vez realizada la interpolación geoestadística, para cada comunidad autónoma. Las CC. AA.

aparecen ordenadas según la media, de menor a mayor valor, para cada índice. Este valor de la media aparece en colores diferentes, para las clases de cada índice. Como consecuencia de ello, las CC. AA. quedan posicionadas en un orden que coincide para los cuatro índices, según sus clases. Solo queda alterado este posicionamiento, por la comunidad de Aragón para el índice GDD y La Rioja en el índice BEDD.

**Tabla 10.** Valores mínimos, medios y máximos para los índices GST, GDD, HI y BEDD, para cada una de las comunidades autónomas de España peninsular, ordenados por el valor de la media, de menor a mayor. Los valores con igual color, indican que pertenecen a la misma clase dentro de cada índice.

CC. AA.	GST (°C)			GDD (grados día)			HI (°C)			BEDD (grados día)		
	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max
Castilla y León	10,4	15,8	18,9	568	1797	2475	838	1745	2318	676	1365	1745
P. de Asturias	10,9	15,8	17,6	685	1838	2243	910	1642	1903	743	1409	1642
La Rioja	12,1	15,8	17,6	940	1807	2222	1156	1709	1984	878	1677	1615
Cantabria	10,0	15,9	17,6	466	1856	2246	771	1664	1902	617	1418	1644
C. Foral de Navarra	12,5	16,3	17,9	1044	1924	2276	1162	1751	2036	947	1450	1643
Galicia	12,5	16,4	18,5	1023	1964	2430	1203	1762	2130	926	1475	1733
País Vasco	13,5	16,4	17,6	1274	1965	2259	1311	1748	1917	1079	1478	1651
Aragón	8,5	16,5	12,8	119	1934	2472	591	1852	2215	411	1440	1748
Cataluña	9,3	16,6	19,5	304	1987	2627	713	1857	2373	517	1476	1827
C. de Madrid	12,5	17,1	18,6	985	2045	2399	1301	2009	2226	885	1491	1687
Castilla-La Mancha	12,6	17,8	20,2	1032	2189	2720	1303	2178	2623	916	1561	1851
C. Valenciana	14,5	18,7	21,4	1505	2403	2993	1674	2328	2827	1174	1683	2003
Extremadura	12,7	19,2	20,7	1016	2514	2837	1365	2415	2685	896	1744	1921
Región de Murcia	15,5	19,8	21,7	1604	2609	3040	1930	2577	2890	1204	1782	2026
Andalucía	12,5	20,2	22,8	892	2683	3251	1556	2668	3152	780	1818	2126

Las CC. AA. que obtienen los valores más altos para los cuatro índices, son las que ocupan los últimos puestos, es decir, Extremadura, Murcia y Andalucía, estas comunidades están situadas en la mitad sur de la península Ibérica (Figura1). Al contrario ocurre con los valores medios más bajos, que se corresponden con las comunidades que están localizadas en la mitad norte de la península ibérica. Esta relación era de esperar, puesto que estos índices están basados en las temperaturas o en el acumulo de calor, que

obviamente alcanzan valores más altos en el sur, o como es el caso del índice de Huglin que da más peso a las temperaturas máximas, esta apreciación queda puesta de manifiesto al observar la Tabla 9, donde la latitud obtiene correlaciones inversas altas, con todos los índices, es decir, a mayor latitud menor valor de los índices. Observando el valor de la media, para los cuatro índices, ninguno de ellos obtiene clasificación en las dos clases primeras, las más frías. Tampoco obtienen, ninguno de ellos, clasificación en la última clase, la más cálida.

Ahora bien si nos fijamos en los valores máximos y mínimos se observa que hay una gran variabilidad, por ejemplo para los valores medios del índice de GST, predomina la categoría *intermedia*, con 9 CC. AA. de las 15 peninsulares. Los valores mínimos más bajos, lo obtienen las comunidades (Aragón, Cataluña, Castilla y León) que presentan en su territorio grandes cadenas montañosas en su zona norte (Figura 1) y que además son las comunidades autónomas que obtienen un rango amplio en su elevación (Tabla 2), algo parecido ocurre para el índice GDD, en el que obtienen las diferencias más acusadas entre los valores mínimos y máximos, las mismas comunidades, si añadimos también a la comunidad de Andalucía, siendo estas comunidades las que presentan rangos más amplios, en la elevación a lo largo de su territorio. Los valores máximos más altos para GST, lo obtiene las comunidades situadas en el sur y sureste, como son Andalucía y la comunidad de Murcia. Para los índices GDD y HI, el reparto de las clases representadas están más distribuidas por las 15 CC. AA., si bien para GDD, no hay clasificación para las tres primeras clases. Para el índice BEDD hay predominio de la clase 4 (1400-1600) con 9 comunidades representadas.

El trabajo realizado por Jones et al. (2009), sobre las regiones vitícolas del mundo, donde incluyen la superficie cultivada en Castilla-La Mancha y La Rioja, clasifica a estas dos regiones, en el índice HI, como *cálida* (2417°C) y *templada* (1886°C), respectivamente, estos valores discrepan con los obtenidos en el presente estudio, puesto que son clasificadas como *templada* (2178°C) y *fría* (1709°C), respectivamente, para el índice HI. Aunque hay que destacar que el estudio de Jones et al. (2009), está realizado solo sobre la superficie cultivada de viñedo para cada comunidad, a diferencia que en el presente trabajo, que está realizado para todo el territorio de cada CC. AA. (Tabla 10).

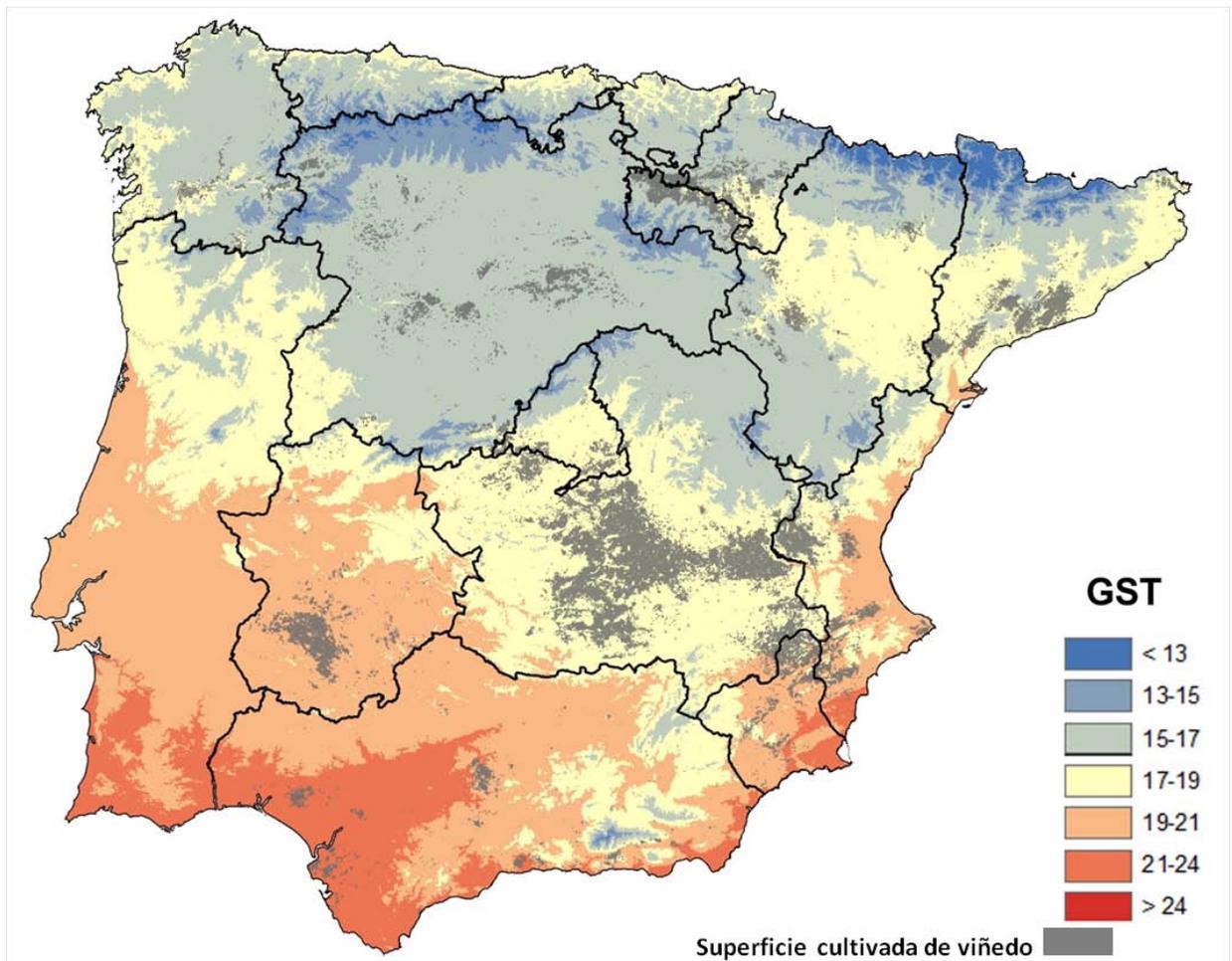
### 3.4. Análisis espacial de los índices.

El uso de los datos de las estaciones meteorológicas, tiene limitaciones para representar el clima vitícola de una forma continua el territorio de España peninsular, puesto que no pueden representar la variabilidad espacial del clima, para todo el territorio. Por lo tanto, es necesario utilizar, algoritmos de interpolación para realizar con precisión el análisis de del clima vitícola, mediante los índices climáticos, que representaran de forma continua la zonificación vitícola.

La representación espacial de cada índice constituye una herramienta esencial para visualizar con mayor precisión las condiciones potenciales para viticultura en el territorio peninsular español. Las Figuras 2 a 5 muestran la modelización de la distribución espacial para los cuatro índices estudiados, en ellas también se representa con color más oscuro (nube de puntos) e igual para todas la figuras, la superficie cultivada de viñedo (SIOSE 2011). En las Tablas 9 a 12 están representados los porcentajes de superficie de cada clase, que tiene cada CC. AA. en los diferentes índices térmicos.

Con el propósito de comentar de las diferentes denominaciones de origen, clasificadas y zonificadas dentro de cada CC. AA. de España peninsular, en el Anexo III (Figura 1), aparece el mapa de las denominaciones de origen protegidas de vinos de España.

La Figura 2 muestra el mapa de zonificación para el índice GST, en ella se aprecia que, la superficie cultivada de viñedo en la comunidad de La Rioja queda encuadrada bajo las clases *intermedia* y *templada*, diferenciando entre las dos subzonas de la denominación de origen (D.O.) La Rioja, Alta y Baja, para estas dos clases respectivamente. Algo parecido ocurre con la superficie cultivada en la comunidad Foral de Navarra, donde la superficie de viñedo es clasificada, en las dos mismas clases, *intermedia* y *templada*, con un 63,4% y 25,9% (Tabla 11), de su superficie, respectivamente. Para estas dos CC. AA. el índice GDD (Figura 3) zonifica la mayor parte de sus territorios en *región II* y *región IV* (más del 70%), pero a diferencia del índice GST, la superficie cultivada de la D.O., está solo en una clase, *región IV*, por lo que hace menor diferenciación en la zonificación. El índice HI y BEDD (Figuras 4 y 5), tiene el mismo comportamiento en la zonificación, para la superficie de viñedo cultivada en estas dos CC. AA. (La Rioja y Comunidad Foral de Navarra), ambas D.O. (Rioja y Vino de Navarra), están sobre la clase *templada* y 1400-1600 de los índices HI y BEDD, respectivamente.



**Figura 2.** Representación espacial para el índice de la temperatura media en el periodo de crecimiento, GST.

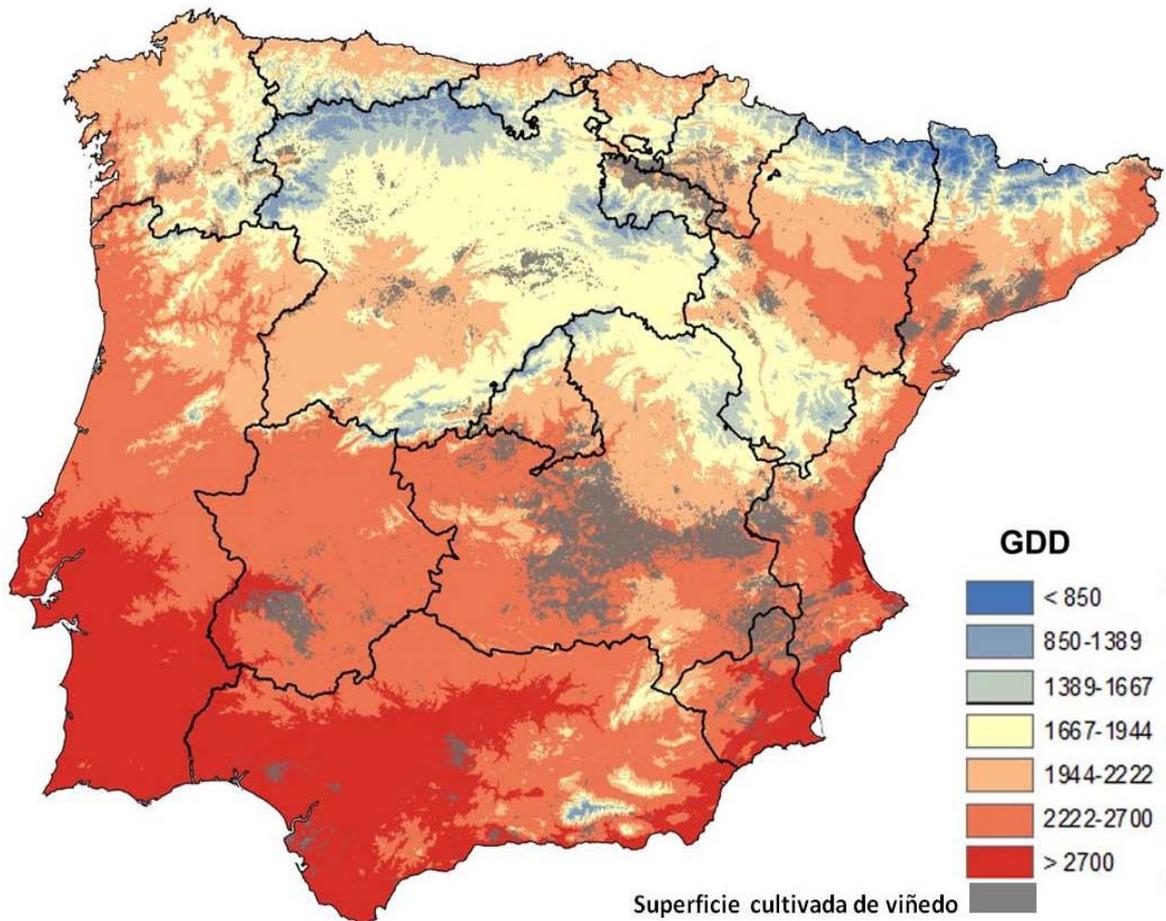
**Tabla 11.** Valores en porcentaje (%) para cada clase de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST) en las CC. AA.

CC. AA.	GST					
	<13	13-15	15-17	17-19	19-21	21-24
Andalucía	0,0	0,3	2,4	15,5	50,7	31,1
Aragón	3,5	8,2	48,0	40,3	0,0	0,0
P. Asturias	1,8	21,4	61,0	15,9	0,0	0,0
Cantabria	2,8	20,3	49,8	27,0	0,0	0,0
Castilla y León	1,7	14,4	78,4	5,5	0,0	0,0
Castilla-La Mancha	0,0	1,2	20,0	73,9	4,9	0,0
Cataluña	7,1	10,3	28,3	52,1	2,2	0,0
C. Valenciana	0,0	0,0	11,4	43,6	41,2	3,8
Extremadura	0,0	0,5	2,2	22,4	74,8	0,0
Galicia	0,0	4,9	72,0	23,0	0,0	0,0
C. de Madrid	0,2	7,7	25,7	66,4	0,0	0,0
R. de Murcia	0,0	0,0	1,0	22,9	60,7	15,4
C. Foral Navarra	0,1	10,6	63,4	25,9	0,0	0,0
País Vasco	0,0	3,6	72,4	24,0	0,0	0,0
La Rioja	0,8	22,3	65,8	11,1	0,0	0,0
España peninsular	1,2	6,1	35,4	31,6	19,6	6,1

En la comunidad de Castilla y León los cuatro índices se comportan zonificando de dos formas; un índice que no diferencia en la zonificación, la superficie cultivada de viñedo como es el GST (Figura 2), que clasifica prácticamente toda la totalidad de las D.O. de esta comunidad (Ribera del Duero, Cigales, Toro, Rueda, Bierzo, Tierra de León, Tierra del Vino de Zamora y Arlanza) en clase *intermedia*, a excepción de la D.O. Arribes que queda clasificada como *templada*. Por el contrario los demás índices diferencian en menor o mayor medida las D.O., pero siempre en dos clases. El índice GDD (Figura 3) las clasifica en *región III* las D.O. de Tierra de León, Ribera del Duero, Cigales y Arlanza (Anexo III, Figura 1), sin embargo las D.O. Rueda, Toro, Arribes y Bierzo son clasificadas en la *región IV*. La comunidad de La Rioja tiene ocupado un 33,2 % de su territorio por la *región III*, sin embargo en ella no se encuentra superficie cultivada de viñedo. Los índices HI y BEDD (Figuras 4 y 5) también diferencian entre las D.O. de Castilla y León en las clases *fría* y *templada* para HI y *1200-1400* y *1400-1600* para BEDD, ambas clases, con superficies parecidas, en ambos índices (Tablas 13 y 14). La clase *1400-1600*, de BEDD es la que mayor agrupamiento hace de las D.O., englobando a todas menos a Tierra de León, Arlanza y parte de Ribera del Duero.

La superficie de viñedo cultivada en la comunidad de Castilla y La Mancha, no sufre grandes variaciones al ser caracterizada por los 4 índices térmicos, puesto que en la zonificación que reflejan los mapas (Figuras 2 a 5), se observa un comportamiento igual, al ser clasificada prácticamente toda la superficie de la D.O. La Mancha y Valdepeñas en una sola clase por índice. Por ejemplo el índice HI zonifica en la clase *cálida/templada* que ocupa un 65,8% (Tabla 13) el territorio de esta comunidad.

La superficie de España cultivada de vid, en la comunidad de Galicia es de un 2,68% (Tabla 1), y que es cultivada sin aporte hídrico, es zonificada para los índices GST, GDD y HI (Figuras 2, 3 y 4), bajo una sola clase, *templada*, *región IV* y *templada*, respectivamente. La superficie de viñedo de las D.O. Rias Baixas, Ribeiro y Ribeira Sacra, también están en estas únicas clases por índice. En el índice HI, la clase *templada* es representada por un 36,6% de superficie de la comunidad gallega, Blanco-Ward et al. (2007) en el trabajo que realizan para el valle del río Miño, también obtiene un porcentaje similar en esta clase, con un 34,0% para las estaciones que fueron empleadas en el estudio. Por el contrario, el índice BEDD (Figura 5) diferencia las D.O. en dos clases, Rias Baixas y Ribeiro en la clase *1600-1800* y Ribeira Sacra, Valdeorras y Monterrei en una clase más fresca, *1400-1600* (Tabla 14).



**Figura 3.** Representación espacial para el índice de los grados día durante el periodo de crecimiento, GDD.

**Tabla 12.** Valores en porcentaje (%) para cada clase del Índice GDD en las CC. AA.

CC. AA.	GDD %						
	1	2	3	4	5	6	7
Andalucía	0,0	0,2	0,4	2,0	4,9	40,8	51,7
Aragón	1,6	4,2	10,6	29,7	34,5	19,5	0,0
P. Asturias	0,1	6,9	18,2	32,9	41,6	0,4	0,0
Cantabria	0,5	6,2	20,5	27,4	38,9	6,6	0,0
Castilla y León	0,1	6,1	14,6	52,3	26,3	0,6	0,0
Castilla-La Mancha	0,0	0,2	2,8	12,8	27,4	56,8	0,0
Cataluña	3,1	8,4	7,5	13,7	29,8	37,6	0,0
C. Valenciana	0,0	0,0	0,4	7,0	19,8	55,4	17,4
Extremadura	0,0	0,3	0,4	1,2	3,4	87,0	7,7
Galicia	0,0	0,7	5,8	36,9	49,5	7,1	0,0
C. de Madrid	0,0	3,2	7,5	14,2	51,3	23,8	0,0
R. de Murcia	0,0	0,0	0,0	0,9	7,2	51,7	40,2
C. Foral Navarra	0,0	1,0	12,6	34,4	49,5	2,5	0,0
País Vasco	0,0	0,1	5,2	39,4	50,4	5,0	0,0
La Rioja	0,0	6,2	23,0	33,2	37,6	0,0	0,0
España peninsular	0,4	2,6	6,5	21,7	24,1	33,1	11,6

Las Figuras 2 y 3 corresponden a los mapas de zonificación de los índices GST y GDD, para la península Ibérica. La comunidad que obtiene el mayor porcentaje en la clase *cálida* para el índice GST con un 74,8% de su territorio, es la comunidad autónoma de Extremadura, valor que discrepa con el obtenido en el trabajo que realizan Moral et al. (2014) donde clasifican con un 37,1%. La superficie de viñedo de la D.O. Ribera del Guadiana, perteneciente a esta autonomía es clasificada dentro de esta clase. Lo mismo ocurre para el índice GDD, donde prácticamente toda la superficie de esta D.O., está bajo una clase, *región V*, que ocupa un 87,0% de Extremadura. Al contrario de lo comentado para GST, en el trabajo que Moral et al. (2014) realizan para GDD, obtienen un porcentaje similar para la misma clase, *Región V*, con un 82,6% de la superficie de su territorio. Los índices HI y BEDD para esta comunidad (Figuras 4 y 5), diferencian su territorio en dos categorías prácticamente, *cálida/templada* y *cálida* para HI, y para BEDD 1600-1800 y 1800-2000, representadas por un 96,2% y 94,1% (Tablas 13 y 14), respectivamente, entre ambas clases, para cada índice. Pero en ambos casos, la mayor superficie de viñedo de la D.O. Ribera de Guadiana, recae en la clase de mayor graduación, es decir, *cálida* en HI con un 70,5% del territorio extremeño y *1.800-2.000* en BEDD. La clase *cálida* para HI, es también la categoría predominante en el trabajo que realizan Moral et al. (2014) donde obtienen un 85,0% de la superficie del territorio.

En las clases más cálidas o con mayor graduación en el acumulo de grados-día, comentaremos el caso de una de las zonas que ha sido clasificada, ocupando estas clases más altas, para todos los índices. Nos estamos refiriendo a las denominaciones de origen situadas en el suroeste de la península Ibérica de, Jerez-Xérès-Sherry y Manzanilla-Sanlúcar de Barrameda (Anexo III, Figura 1), donde sus vides se cultivan en terrenos cercanos a la costa atlántica, en la provincia de Cádiz (Figura 1). Donde la influencia del océano Atlántico se deja notar mediante los vientos de poniente, regulando las temperaturas altas (Tabla 5) sobre todo durante el periodo de maduración. Para el índice GST y GDD (Figura 2 y 3) estas denominaciones de origen, son clasificadas como *muy cálida* y *demasiado cálida*, respectivamente, compartiendo estas clasificaciones con el 31,1% y el 51,7% del territorio de la comunidad andaluza, respectivamente. Sin embargo para los índices HI y BEDD estas dos denominaciones de origen, son diferenciadas en la zonificación, al ser caracterizadas en las clases *demasiado cálida* y *>2000*, para HI y BEDD respectivamente, diferenciándolas de las demás denominaciones de origen de la comunidad de Andalucía.

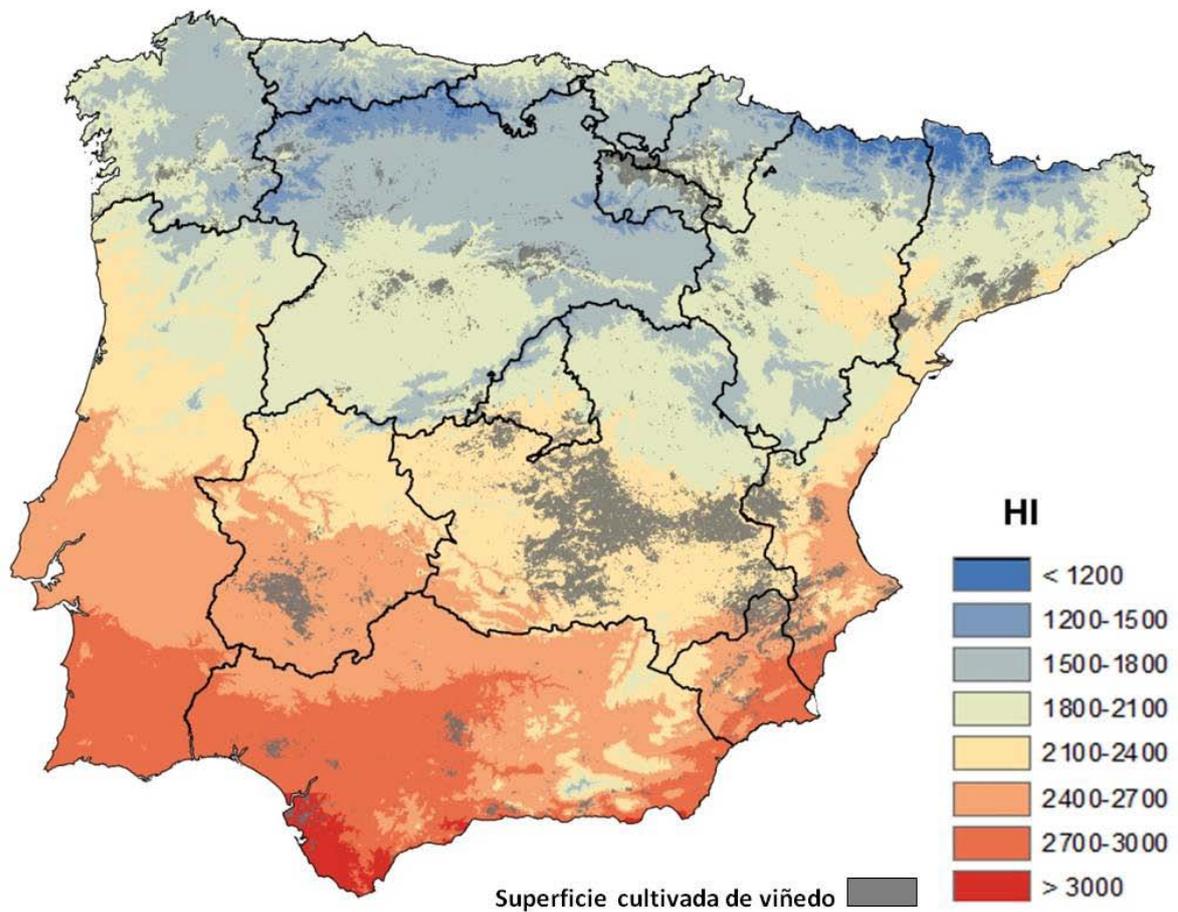
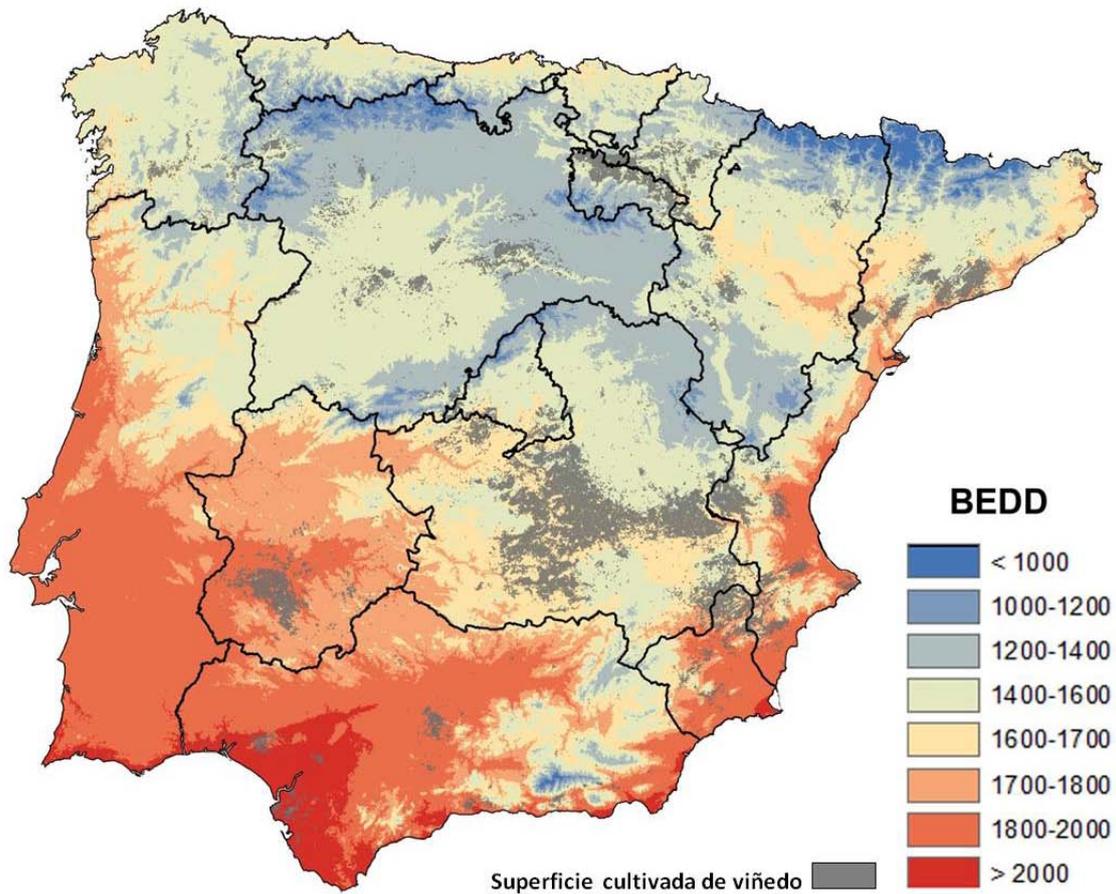


Figura 4. Representación espacial para el índice de Huglin, HI.

Tabla 13. Valores en porcentaje (%) para cada clase del Índice HI en las CC. AA.

CC. AA.	HI %							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Andalucía	0,0	0,0	0,1	1,2	8,7	43,2	41,1	5,6
Aragón	2,8	4,4	23,5	61,6	7,7	0,0	0,0	0,0
P. Asturias	1,1	18,5	61,6	18,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Cantabria	2,3	14,5	51,8	31,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Castilla y León	1,0	8,8	49,3	40,3	0,7	0,0	0,0	0,0
Castilla-La Mancha	0,0	0,1	6,6	21,5	65,8	6,0	0,0	0,0
Cataluña	5,5	8,4	16,5	50,6	18,9	0,0	0,0	0,0
C. Valenciana	0,0	0,0	0,6	17,1	41,9	35,4	4,9	0,0
Extremadura	0,0	0,1	0,7	3,1	37,7	58,5	0,0	0,0
Galicia	0,0	2,5	60,8	36,6	0,1	0,0	0,0	0,0
C. de Madrid	0,0	2,1	12,7	43,9	41,3	0,0	0,0	0,0
R. de Murcia	0,0	0,0	0,0	0,5	17,1	52,5	29,9	0,0
C. Foral Navarra	0,0	5,8	53,3	40,9	0,0	0,0	0,0	0,0
País Vasco	0,0	1,6	63,7	34,7	0,0	0,0	0,0	0,0
La Rioja	0,1	10,3	55,8	33,8	0,0	0,0	0,0	0,0
España peninsular	0,9	3,6	22,2	27,0	20,5	16,5	8,3	1,0



**Figura 5.** Representación espacial para el índice de los grados días biológicamente efectivos, BEDD.

**Tabla 14.** Valores en porcentaje (%) para cada clase del Índice BEDD en las CC. AA.

CC. AA.	BEDD %						
	1	2	3	4	5	6	7
Andalucía	0,1	0,4	2,3	8,2	31,9	40,1	16,9
Aragón	3,3	5,5	27,4	42,6	21,2	0,0	0,0
P. Asturias	1,1	9,9	31,8	49,5	7,7	0,0	0,0
Cantabria	2,5	7,8	33,6	37,9	18,2	0,0	0,0
Castilla y León	1,5	8,1	45,6	44,2	0,6	0,0	0,0
Castilla-La Mancha	0,0	0,8	12,4	37,9	48,8	0,1	0,0
Cataluña	6,9	7,0	12,5	34,2	38,4	0,9	0,0
C. Valenciana	0,0	0,0	5,1	25,9	42,2	26,7	0,0
Extremadura	0,1	0,4	1,0	4,4	70,5	23,6	0,0
Galicia	0,0	2,0	18,8	67,3	11,9	0,0	0,0
C. de Madrid	0,8	5,7	14,5	61,2	17,8	0,0	0,0
R. de Murcia	0,0	0,0	0,9	10,1	40,4	46,2	2,3
C. Foral Navarra	0,1	2,6	28,2	63,3	5,7	0,0	0,0
País Vasco	0,0	0,5	21,0	65,6	12,9	0,0	0,0
La Rioja	0,9	12,0	35,5	50,2	1,4	0,0	0,0
España peninsular	1,2	3,5	18,6	33,4	28,8	11,5	3,1

Los cuatro índices térmicos estudiados en el presente trabajo, están basados en la temperatura y, se obtienen diferentes tipos de climas vitícolas clasificados como adecuados para la producción de uvas, pero debido a la particularidad climática del territorio analizado, es posible que no estén representadas todas las categorías, sobre todo si son las más extremas. Así, todos los índices estudiados, obtienen representación de sus clases en el territorio de España peninsular, a excepción de la clase *Demasiado Caliente* ( $>24^{\circ}\text{C}$ ) para el índice GST.

Si observamos los mapas (Figura 2 y 3) con la zonificación, para los índices de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST) y el del índice de Huglin. Las tres primeras clases de GST y las 4 primeras clases de HI, zonifican abarcando prácticamente el mismo territorio sobre las mismas comunidades autónomas, pero con la diferencia que el índice de Huglin obtiene una clase más. Esta diferencia en el número de clases para definir el mismo territorio, hace que el este índice (HI) presente una mejor diferenciación a la hora de caracterizar y zonificar el territorio peninsular español.

En el modelo espacial para el índice BEDD (Figura 5) se observa que responde a la variabilidad de la altitud si se compara con el mapa de elevación (Figura 1), puesto que coinciden las clases de mayor elevación con las primeras clases de este índice, donde la acumulación de calor es menor, esto confirma que son efectivos los ajustes adicionales que realiza este índice para tener en cuenta zonas con microclimas y mesoclimas. Según Anderson et al. (2012), es el índice más apropiado para diferenciar zonas cálidas, esta afirmación se pone de manifiesto, si comparamos el mapa del BEDD con el de los demás índices (Figura 2, 3 y 4), por lo que resulta ser el índice climático más eficaz para diferenciar la variabilidad climática en zonas más cálidas para el territorio de la península Ibérica.

## **4. Conclusiones**

---

Se ha caracterizado y zonificado vitícolamente España peninsular mediante índices climáticos vitícolas, todos de carácter térmico.

El conocimiento de la variación espacial de estos índices, de componente térmica, empleando técnicas de interpolación geoestadísticas, sobre el territorio de España peninsular, proporcionara la base para la caracterización y zonificación climática de las regiones vitivinícolas.

Estos índices responden a la variabilidad geográfica de la elevación, pero es el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD), en el que se aprecia una mayor respuesta a esta variable geográfica.

Los cuatro índices térmicos empleados tienen un comportamiento similar en el territorio analizado, y son capaces de caracterizar y zonificar el territorio español peninsular individualmente.

Sin embargo para poder definir las diferentes regiones vitícolas del territorio peninsular español, como se ha comentado en los diferentes apartados, se hace necesaria la combinación de varios índices, para poder realizar una adecuada clasificación de la vocación vitícola de la zona tratada.

Los resultados de las interpolaciones climáticas sirven para modelar la distribución potencial actual y futura de del cultivo del viñedo. La caracterización y zonificación vitícola del territorio peninsular español tiene interés como herramienta en la gestión agronómica y enológica para el cultivo del viñedo y con mayor relevancia si cabe aun, teniendo en cuenta que estamos bajo un clima cambiante.



## CAPÍTULO III

# Aplicación del Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola a España



## 1. Introducción

---

Caracterizar bioclimáticamente una región debe ser el punto de partida para delimitar qué zonas son potencialmente apropiadas para un determinado cultivo. El cultivo de la vid, al igual que otros muchos cultivos, es adecuado sólo en algunos tipos de climas, dónde podrá desarrollarse de una forma óptima, por lo que el estudio del territorio a través de índices bioclimáticos adecuados, que integren parámetros relacionados con el cultivo de esta especie, proporcionará la información necesaria para definir y delimitar diferentes regiones vitivinícolas y agruparlas según su similitud en zonas homogéneas.

Se han desarrollado numerosos índices climáticos para analizar y caracterizar el clima de un territorio, y algunos de ellos han sido adaptados a cultivos específicos, entre ellos la vid. Estos índices integran diversos tipos de parámetros, principalmente utilizan componentes térmicas, o integran parámetros heliotérmico. Aunque los índices térmicos son los más empleados y los primeros desarrollados para caracterizar el clima vitícola (comentado en el capítulo anterior), también es importante que cuando se caracteriza el clima para evaluar la idoneidad climática de una zona, se tenga en cuenta el aspecto hídrico, puesto que los índices térmicos no tienen en cuenta el nivel de agua en el suelo. Este nivel de agua afecta a la calidad de la uva y se refleja en la calidad del vino

Jackson y Cherry (1988), muestran que en regiones con una alta precipitación, la capacidad de maduración de la uva es menor que la predicha por los índices térmicos climáticos. Galet (1993), observa que en las regiones templadas que generalmente no sufren sequías, una cierta falta de agua durante el período de maduración, es favorable a la calidad organoléptica del vino. Bravdo y Hepner (1987) mostraron que un déficit de agua puede mejorar la calidad de la uva. Carbonneau (1988), coincidió con esta afirmación siempre que estos déficits sean moderados. Sin embargo, estos resultados pueden ser contrapuestos dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo, como afirma Medrano et al. (2003) en su estudio. Por lo expuesto, en este capítulo utilizaremos a parte de índices térmicos otro con componente hídrica.

Se han buscado también relaciones entre las características climáticas y parámetros de calidad de la uva y las cualidades que éstas transmiten al vino, por lo que algunos, aportan

también información relacionada con las características fisiológicas de la vid. Pero, en cualquier caso, la utilización de un solo índice, conlleva el uso de una información parcial (monocriterio), por lo que a la hora de zonificar un territorio, el resultado puede ser diferente según el índice utilizado, y por otro lado puede llevar a no diferenciar regiones que realmente si presentan una variabilidad climática.

Por ello para completar la información ofrecida por cada índice de forma individual se han usado diferentes combinaciones de ellos para realizar estudios de zonificación climática. Por citar algunos trabajos previos, Hall y Jones (2010), Jones et al. (2010) y Anderson et al. (2012) utilizaron el GST, GDD, HI y BEDD para caracterizar las regiones vitivinícolas en Australia, el oeste EE.UU. y Nueva Zelanda, respectivamente.

Blanco-Ward et al. (2007) estudió la variabilidad espacial y la viticultura en el valle del río Miño (Galicia) empleando 14 variables climáticas de las cuales 9 son índices climáticos de la vid. En dicho trabajo analizaron las relaciones entre los índices empleados encontrando altas correlaciones entre ellos, lo que pone de manifiesto la posibilidad de utilizar un número reducido de índices y variables climáticas para caracterizar una región vitícola. Asimismo aplicaron también en dicho trabajo el denominado Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola (SCCMG) demostrando que es un buen método para realizar una zonificación vitícola de una región.

El SCCMG, se basa en la integración de tres índices climáticos: el índice heliotérmico de Huglin (HI), el índice de sequía (*Dryness Index*, DI), y el índice de frescor nocturno o de noche fría (*Cold Nighth Index*, CI), desarrollado por Tonietto (1999; 2007) y Tonietto y Carbonneau (2004) para caracterizar el clima vitícola de cualquier región, clasificarlo y agruparlo. Estos índices tienen en cuenta los principales parámetros del clima que influyen sobre la fisiología de la vid y maduración de la uva y además se complementan entre ellos.

El SCCMG permite la identificación de zonas homogéneas, actuando como un sistema de referencia para la viticultura mundial, facilitando las comparaciones entre los de climas vitivinícolas de diferentes regiones. Con la información obtenida de la aplicación de estos índices climáticos se ha generado una base de datos y creado un sitio web en Internet (Embrapa uva e vinho, 2007), para publicar el SCCMG y poner a disposición para la comunidad científica Internacional la base de datos de climas vitícolas resultantes. El sitio

web puede ser accesible en la dirección <http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm>. En él se presenta información general acerca del cálculo de los índices vitícolas, permitiendo realizar diferentes tipos de búsquedas, a nivel mundial o limitadas a países, o bien búsquedas a través de las diferentes clases de cada uno de los tres índices. Los resultados son presentados en una tabla (Figura 1), especificando la localización, los valores de los índices, las clases y la fuente de los datos usados.

Según indica Tonietto (1999) la terminología a utilizar cuando se discute sobre el clima debe ser clara y precisa, aclarando este autor que las variables climáticas interesantes en términos de la viticultura no tienen por qué ser necesariamente las mismas que para otros cultivos u otros campos de la actividad humana. Por ello propone dos nuevos conceptos, el primero el *clima vitícola* y el segundo el de *grupo climático*.

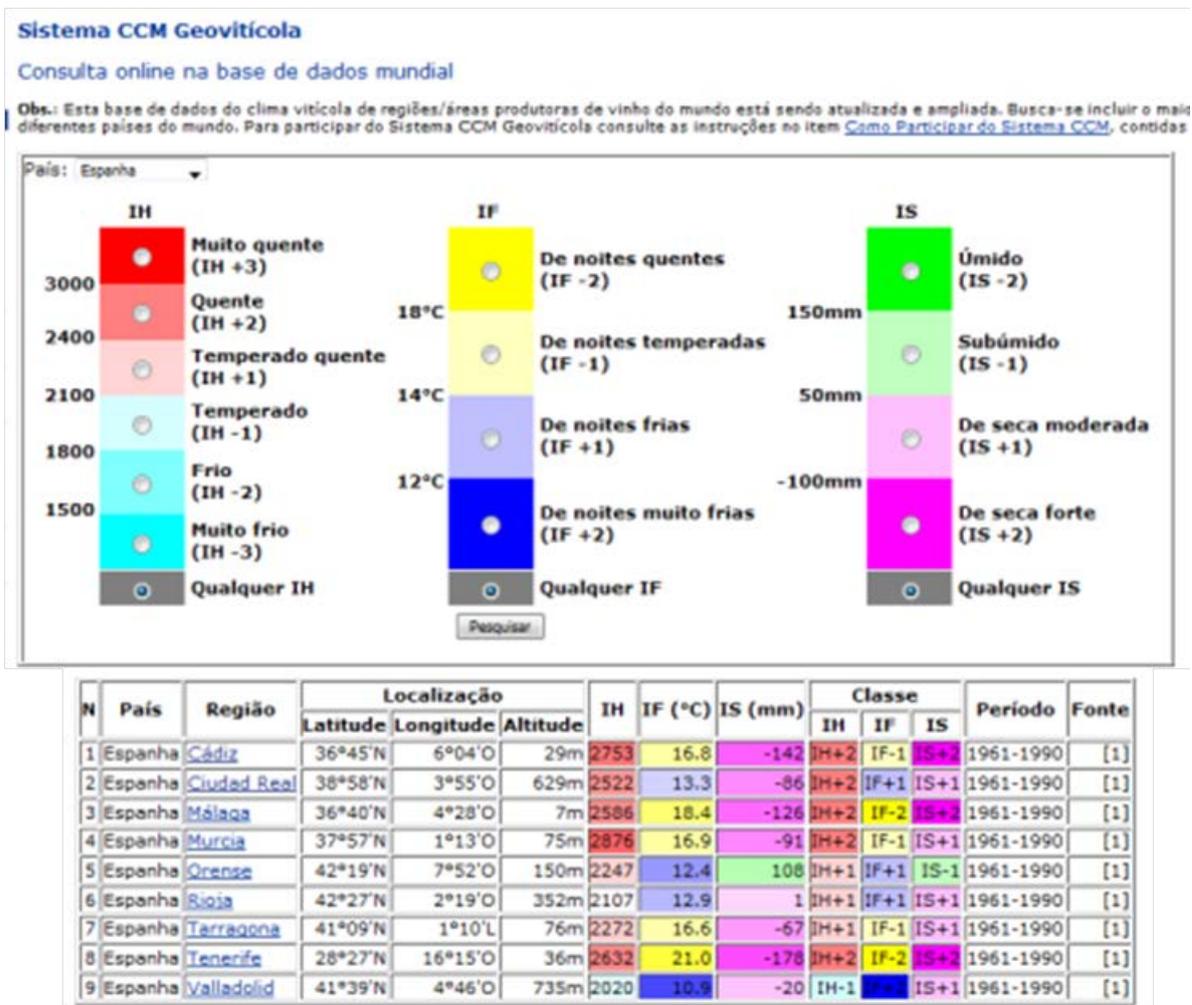


Figura 1. Tabla de resultados del SCCMG, con la información de la consulta realizada online, en la página Web de <http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm>.

Así se define *Clima vitícola* como el clima de un viñedo, una localidad o una región vitivinícola, más o menos extensa, clasificada por los tres índices climáticos. Como las condiciones meteorológicas de un lugar cambian de un año a otro, este concepto se puede referir al “clima medio vitícola” o bien al “clima vitícola en un intervalo de tiempo determinado (cosechas)”. Por otra parte, *Grupo climático*: es el conjunto de viñedos, localidades o regiones vitícolas que presentan el mismo *clima vitícola*.

En climas cálidos tropicales y subtropicales, donde es posible tener más de una cosecha por año, se puede definir un *Clima vitícola con variabilidad intra-anual*, es decir, el clima vitícola de una región que, en condiciones naturales, cambia de clase de clima como consecuencia de la diferente época del año en la que las uvas se pueden producir.

El SCCMG amplía la caracterización de los factores climáticos que afectan a la adaptación de las variedades, a la calidad de la uva (azúcar, acidez, color) y la tipificación de los vinos, los cuales no son bien discriminados por índices monocriterio (Tonietto y Bello, 2012). Este SCCMG fue concebido también con el concepto de Geovitícola (Carbonneau y Tonietto, 1998), puesto que hace posible el identificar y comparar los climas vitícolas de diferentes regiones del mundo, caracterizar la variabilidad de estos en las regiones y establecer grupos climáticos de regiones con producciones de uva con similar potencial climático.

### **1.1. Objetivos**

Se tienen dos objetivos principales:

- a) Aplicar la herramienta propuesta en el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola, como parte del estudio de zonificación y clasificación del territorio de la península española, propuesto en este trabajo, y su idoneidad para el cultivo del viñedo.
- b) Elaborar los mapas de clasificación y zonificación del territorio peninsular español de cada uno de los tres índices (HI, CI, y DI) que componen el SCCMG, diferenciando cada zona según sus respectivas clases.

Hasta la fecha los resultados de los *grupos vitícolas* proporcionados por el SCCMG, son representados mediante colores en tablas y de forma individualizada. En este trabajo se propone por primera vez, elaborar un mapa donde estén integrados a la vez todos los diferentes *grupos climáticos* obtenidos por la aplicación del SCCMG en el territorio peninsular español.

## 2. Materiales y métodos

---

### 2.1. Tratamiento de los datos.

Los datos utilizados son los mismos que los descritos en los anteriores capítulos, por lo que las estaciones meteorológicas de donde proceden así como su ubicación en la península Ibérica pueden consultarse en la Tabla 1 del capítulo I, en la Figura 1 y Tablas 1 y 5 del capítulo II. A partir de dichos datos, se han calculado los tres índices bioclimáticos, que utiliza el SCCMG y elaborado los mapas de la península Ibérica para cada uno de ellos y así como el mapa de los diferentes grupos vitícolas.

### 2.2. Índices bioclimáticos del SCCMG

El Sistema CCM Geovitícola se compone de 3 índices climáticos vitícolas, sintéticos y complementarios, por lo tanto constituye un sistema multicriterio. Estos índices incorporan los parámetros más directamente relacionados con el cultivo de la vid, la maduración de la uva y sus propiedades estando adaptados para un ciclo vegetativo medio de la viña, por lo que son adecuados para caracterizar el potencial climático vitivinícola de una región. Estos tres índices son: el índice de Huglin (*Huglin Index, HI*), el índice de sequía (*Dryness Index, DI*), y el índice de frescor nocturno o de noche fría (*Cold Nigth Index, CI*).

### **2.2.1. Índice heliotérmico de Huglin**

Tal y como se definió en el capítulo II, relaciona las temperaturas medias y máximas diarias durante el período activo de vegetación de la vid (abril-septiembre) con la duración del día, para ello introduce un coeficiente que varía según la latitud. Se relaciona con el requerimiento térmico de las variedades, y la riqueza de azúcares de las bayas, ya que ambos parámetros, temperatura y horas de luz, están directamente relacionados con la actividad fotosintética de la planta. Su fórmula ha sido ya descrita en el capítulo anterior.

En el SCCMG, se definen seis clases dentro de este índice, en vez de las ocho clases en las que se ha subdividido en el capítulo anterior, fusionándose las clases 6 y 7 (*Cálida* y *Muy Cálida*) quedando ahora comprendida entre los valores 2400 a 3000°C y por otro lado se fusionan las clases 1 y 2 (*Demasiado Fría* y *Muy Fría*) caracterizada ahora por valores menores de 1500°C (Tabla1).

### **2.2.2. Índice de frío nocturno**

Es un índice climático vitícola desarrollado para estimar las condiciones térmicas nocturnas asociadas al periodo de maduración de las uvas (Tonietto, 1999; Tonietto y Carbonneau, 2004). Se calcula mediante la media de las temperaturas mínimas nocturnas durante el período de maduración, considerando este período el mes de septiembre en el hemisferio norte y marzo en el hemisferio sur. Se mide en °C.

Está relacionado con la producción de metabolitos secundarios (polifenoles, aromas, color) en las uvas y vinos, ya que la temperatura nocturna es un factor que favorece procesos como la acumulación de compuestos relacionados con la calidad organoléptica de las uvas. También se sabe que, si bien la acumulación de azúcares está fuertemente determinada por la luminosidad, el destino de éstos depende del régimen térmico, especialmente de las temperaturas nocturnas. Las noches frescas tienden a frenar el crecimiento de los brotes, favoreciendo así la generación de excedentes de carbohidratos acumulables en los frutos. Contrariamente, las noches cálidas favorecen el crecimiento continuo de los brotes, compitiendo fuertemente con los frutos (INIA, 2010).

### 2.2.3. Índice de sequía

Este índice permite caracterizar la componente hídrica del clima de una región vitícola, estando fuertemente relacionado con las características cualitativas de la uva y el vino. Tiene en cuenta en su elaboración la demanda climática de un viñedo estándar, la evaporación del suelo desnudo y la precipitación, sin considerar la escorrentía superficial ni el drenaje interno del suelo, informando de la disponibilidad hídrica potencial del suelo.

Se basa en una adaptación realizada por Tonietto (1999) y Tonietto y Carbonneau (2004) a partir del balance hídrico potencial de Riou (Riou et al., 1994), y desarrollado especialmente para el viñedo. Permite determinar la disponibilidad de agua en el suelo obteniendo información para decidir en qué regiones sería apropiado el aporte hídrico.

Es calculado en el hemisferio norte para el período del 1 de abril al 30 de septiembre (del 1 de octubre al 31 de marzo para el hemisferio sur) mediante la siguiente expresión.

$$DI \Rightarrow W = W_0 + P - T_v - E_s$$

donde  $W$  es la reserva estimada de agua en el suelo al final del periodo (mm),  $W_0$  es la reserva inicial de agua en el suelo (mm) que es accesible por las raíces,  $P$  es la precipitación (mm),  $T_v$  es la transpiración potencial del viñedo (mm),  $E_s$  es la evaporación directa a partir del suelo (mm),  $T_v$  y  $E_s$  están relacionadas con la evapotranspiración potencial (Tonietto y Carbonneau, 2004).

En el SCCMG, la evapotranspiración potencial (ETP) se calcula utilizando el método de Penman (1948), pero al no disponer, en las series meteorológicas obtenidas de la base de datos de ECA&D (2013), de los registros necesarios para el cálculo de la fórmula propuesta, se utiliza el método de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) de acuerdo con Vanderlinden et al. (2004). Este método ha sido también utilizado por Brixner et al. (2014) para calcular la ETP y poder aplicar el índice de sequía en zonas vitícolas de Brasil.

La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para la evapotranspiración potencial necesita solamente datos de temperaturas y de radiación solar. Su expresión general es la siguiente:

$$ETO = 0,0135 (t_{med} + 17,78) R_s$$

Donde *ETO* es la evapotranspiración potencial diaria (mm/día), *t<sub>med</sub>* es la temperatura media (°C), *R<sub>s</sub>* es la radiación solar incidente (mm/día), que se evalúa a partir de la radiación solar extraterrestre (la que llega a la parte exterior de la atmósfera, que sería la que llegaría al suelo si no existiera la atmósfera).

El índice se calcula mes a mes, basado en los valores mensuales de *P*, *ETP*, *T<sub>v</sub>* y *E<sub>s</sub>*. Al valor de *W* obtenido en el momento final y adoptando *W<sub>o</sub>* un valor de 200 mm se le denomina índice de sequía (DI). *W<sub>o</sub>* toma valor de 200 mm por ser una cantidad adoptada para la reserva inicial de agua en el suelo para el viñedo (Riou et al., 1994). Es importante tener en cuenta que *W* puede ser negativo, para expresar el déficit potencial de agua, pero no debe ser mayor que *W<sub>o</sub>*

Aunque se toma como reserva de agua útil en el suelo la cantidad de 200mm, ésta lógicamente puede ser diferente de una región vitivinícola a otra, incluso en zonas más pequeñas como parcelas, ya que dependerá de las características del suelo, por lo que el cálculo de este índice, para una determinada zona, será más exacto si se utilizan datos reales sobre la capacidad hídrica del suelo.

Existen varios modelos de balance hídrico, pero pocos han sido adaptados para la vid. Entre las dificultades para su elaboración, se puede citar la falta de conocimiento de la profundidad del sistema radicular o la distinción entre la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas (Gladstones, 2011).

### **2.3. Clases de clima vitícola**

Para cada uno de los tres índices climáticos, el SCCMG define diferentes intervalos que los denomina clases de clima, tal y como se muestran en la en la Tabla 1. El concepto de clase climática se relaciona con el hecho de que cada clase puede representar no sólo las diferencias climáticas, sino también las respuestas de la vid, uvas o sus productos a los

factores climáticos definidos por el índice considerado, permitiendo así la agrupación de las regiones vitivinícolas homogéneas.

La combinación de las diferentes clases de climas vitícolas reflejadas en la tabla 1, da como resultado la diferenciación de 96 posibles agrupamientos, lo que supone una amplia gama de clasificación que puede complicar la interpretación de los diferentes grupos climáticos. Esta riqueza clasificatoria es el resultado del estudio de las 97 regiones vitícolas del mundo, pertenecientes a los 29 países que analizaron Tonietto y Carbonneau (2004) en su trabajo. La buena relación encontrada entre los grupos climáticos y la reconocida tipicidad de los diferentes tipos de vinos, por sus características organolépticas (Tonietto, 1999; Tonietto y Carbonneau, 1999), sirvió para validar el SCCMG propuesto.

**Tabla 1.** Clases para los diferentes índices bioclimáticos, índice heliotérmico de Huglin, índice de frío nocturno e índice de sequía. <http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm>

Índices climáticos vitícolas	Clima vitícola	Sigla	Intervalo
Índice Heliotérmico (HI, °C)	Muy frío	HI-3	$HI \leq 1500$
	Frío	HI-2	$1500 < HI \leq 1800$
	Templado	HI-1	$1800 < HI \leq 2100$
	Templado-Cálido	HI+1	$2100 < HI \leq 2400$
	Cálido	HI+2	$2400 < HI \leq 3000$
	Muy cálido	HI+3	$3000 < HI$
Índice de Frío Nocturno (CI, °C)	Noches muy frías	CI+2	$CI \leq 12$
	Noches frías	CI+1	$12 < CI \leq 14$
	Noches templadas	CI-1	$14 < CI \leq 18$
	Noches cálidas	CI -2	$CI > 18$
Índice de Sequía (DI, mm)	Húmedo	DI-2	$150 < DI$
	Subhúmedo	DI-1	$50 < DI \leq 150$
	Moderadamente seco	DI+1	$-100 < DI \leq 50$
	Muy seco	DI+2	$DI \leq -100$

Este sistema multicriterio puede ser de ayuda para el estudio de la variabilidad del clima vitícola a lo largo del mundo, el estudio de los rangos de clima vitícola de regiones (variabilidad interanual) y la evolución del clima vitícola en función del cambio climático (Tonietto et al., 2002), así como el estudio de nuevas aéreas para el cultivo del viñedo. Por último, y no menos importante que las demás aplicaciones, permite comparar las variedades y las técnicas de cultivo entre regiones que compartan la misma clase de *clima vitícola* o incluso entre *grupos climáticos*.

### 2.3.1. Interpretación de las clases de clima vitícola

Las clases propuestas para los diferentes índices y su interpretación, está basada en el estudio de base de datos del trabajo que Tonietto y Carbonneau (2004), publicaron sobre las 97 regiones vitícolas del mundo. Estas se describen a continuación.

#### Clases según el índice heliotérmico de Huglin (HI)

- HI - 3: Clase *Muy Fría* de clima vitícola, incluye las regiones que están en el límite térmico inferior de la vid; bajo estas condiciones sólo las variedades muy tempranas pueden alcanzar la madurez, especialmente las variedades blancas. Bajo condiciones invernales muy frías, algunas regiones utilizan híbridos interespecíficos o vides americanas que son más resistente que *Vitis vinifera*.
- HI - 2: Clase de clima vitícola *fría*, el potencial heliotérmico permite una gama muy grande de variedades de uvas, blancas o tintas.
- HI - 1: Clase de clima vitícola *fresco*, en esta clase, variedades más tardías, como Cabernet Sauvignon, pueden alcanzar la madurez.
- HI + 1: Clase climática *templado*, las variedades como Garnacha o Monastrell pueden madurar. En principio no hay limitación heliotérmica para que puedan madurar todas las variedades cultivadas (excepto algunas excepciones como las variedades sin semillas).
- HI + 2: La clase de clima vitícola *cálida* es caracterizada por un potencial heliotérmico que supera las necesidades para madurar las variedades, incluso las tardías, incluso puede haber algunos riesgos asociados de estrés.

- HI + 3: En la clase *muy cálida* del clima vitícola, no hay limitación heliotérmica para la maduración de las uvas, y puede ocurrir que en zonas de clima tropical sea posible, en ciertos casos, tener más de una cosecha año.

#### **Clases según el índice de frío nocturno (CI)**

- CI - 2: En las noches de clase *cálida*, la región vitivinícola se somete a un período de maduración de la uva con altas temperaturas nocturnas para todas las variedades, que pueden afectar al color y potencial aromático de las bayas.
- CI - 1: En la clase de clima vitícola de noches *templadas*. Las variedades tardías madurarán en condiciones de más bajas temperaturas de la noche que para las variedades tempranas.
- CI +1: Clase de noches *frías*, la maduración se produce en condiciones que pueden ser más o menos frescas, dependiendo del tiempo de maduración de las variedades. Sin embargo, por lo general, las condiciones son más frías que en clase CI-1, pero de modo que la temperatura nocturna, es favorable para la maduración de cualquier variedad.
- CI + 2: Clase de clima vitícola de noches *muy frías*, con temperaturas nocturnas bajas, que puede ser un efecto positivo en la maduración de las uvas, para ciertas variedades, siempre y cuando el potencial heliotérmico garantice un buen nivel de maduración de las bayas.

#### **Clases según el índice de sequía (DI)**

- DI - 2: Clase climática vitivinícola *húmedo*, esta clase del clima corresponde a "ausencia de sequía", con un alto nivel de disponibilidad de agua en el balance hídrico, lo que puede mermar la calidad, normalmente se obtiene una maduración más óptima de la uva en años menos húmedos.
- DI - 1: Clase *subhúmedo* del clima vitícola, comparte con el anterior la "ausencia de sequía". Adopta un valor mínimo de 50 mm, siendo éste un valor crítico que indica el haber alcanzado un mínimo de disponibilidad hídrica, con condiciones de restricción en verano.

- DI + 1: Clima vitícola *moderadamente seco*, donde la vid hace frente a ciertas condiciones potenciales de sequía, situación que es, generalmente, favorable para la maduración, aunque el riego se practica en ciertos casos. Alrededor de DI menores de 50mm empezamos a encontrar regiones clasificadas como de tipo mediterráneo, con déficit de agua en el verano.
- DI + 2: Clima *muy seco* por debajo de -100mm, con marcado potencial de sequía, por lo que suele haber problemas debidos al estrés hídrico y en la mayoría de los casos es frecuente el aporte de agua. Para valores de DI -200mm, caracteriza a regiones que tendrán un elevado déficit de agua por lo que el aporte hídrico será necesaria para evitar un estrés severo.

#### **2.4. Algoritmos de interpolación: krigado ordinario y regresión-krigado.**

La mayoría de los métodos de interpolación dan lugar a unos resultados semejantes cuando los datos son abundantes. Sin embargo, cuando escasean, las asunciones que se realizan, sobre la variación del atributo en los lugares muestreados y la elección del método apropiado, son críticas, si se desea evitar unos resultados pobres.

Para obtener estimaciones de los valores de la variable estudiada en las ubicaciones no muestreadas, teniendo en cuenta la distribución espacial de los puntos de muestreo, la geoestadística ofrece una gran variedad de métodos.

Los métodos geoestadísticos muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pudiéndose estimar valores puntuales, así como métodos para incorporar información secundaria. Todos estos métodos dan lugar a unas superficies muy suaves, además de una estimación de la varianza en todos los puntos, lo cual no puede realizarse con otros métodos de interpolación.

Estos métodos geoestadísticos de interpolación, conocidos como krigado, intentan optimizar la interpolación mediante la división de la variación espacial. Esta técnica de interpolación se basa en la premisa de que la variación espacial continúa con el mismo patrón. Fue desarrollada inicialmente por Danie G. Krige en 1951, a partir del análisis de

regresión entre muestras y bloques de mena, las cuales fijaron la base de la geoestadística lineal.

El krigado puede ser entendido como una predicción lineal, puesto que parte del principio de que los puntos próximos en el espacio tienden a tener valores más parecidos que los puntos más distantes. La técnica de krigado asume que los datos recogidos de una determinada población se encuentran correlacionados en el espacio.

El krigado se considera un método lineal porque sus estimaciones son combinaciones lineales ponderadas de los datos existentes y, a su vez insesgado porque procura que la media de los errores (desviaciones entre el valor real y el valor estimado) sea nula, es un buen estimador porque los errores de estimación tienen una variancia (variancia de estimación) mínima.

El krigado, o krigaje, es el nombre genérico utilizado por los usuarios de la geoestadística para denominar a una familia de algoritmos de regresión mediante mínimos cuadrados.

Existen numerosos algoritmos de interpolación geoestadística, los más usados son los algoritmos de regresión lineal por mínimos cuadrados, apropiados para los datos que solo tengan en cuenta el atributo continuo que se desee estimar, uno de estos algoritmos es el denominado, krigado ordinario.

Se emplea el cokrigado cuando se considera una serie de información secundaria que se puede obtener sobre el fenómeno investigado. Frecuentemente las medidas directas del atributo tratado se complementan con información referente a otros atributos, los cuales muestran una relación con el principal. Cuando los datos muestrales son escasos o están muy pocos correlacionados en el espacio, la estimación mejora sustancialmente cuando se incorpora esa información adicional.

Todos los estimadores del tipo krigaje no son sino variantes del estimador lineal básico, definido como:

$$Z^*(x) - m(x) = \sum_{i=1}^n w_i(x) \cdot [Z(x_i) - m(x_i)]$$

Donde  $w_i$  son los pesos asignados a los datos  $z(x_i)$ , siendo éstos realizaciones de la variable aleatoria  $Z(x_i)$ . Los valores esperados de las variables aleatorias  $Z(x)$  y  $Z(x_i)$  son  $m(x)$  y  $m(x_i)$  respectivamente.

El número de datos,  $n$ , considerado en la estimación, varía de un lugar a otro. En la práctica se emplean los datos existentes en las proximidades del punto a estimar, dentro de un entorno definido al principio.

Debido a que tanto los valores desconocidos,  $z(x)$ , como los datos  $z(x_i)$ , son realizaciones de las variables aleatorias  $Z(x)$  y  $Z(x_i)$ , se puede definir el error de la estimación,  $Z^*(x) - Z(x)$ , como una variable aleatoria.

Todos los tipos de kriging comparten el objetivo de minimizar la varianza del error (o de la estimación),  $\sigma_E^2(x)$ , con la restricción de ser un estimador insesgado, o sea:

$$\sigma_E^2(x) = \text{Var}[Z^*(x) - Z(x)] \rightarrow \text{Mínimo}$$

con la restricción,

$$E[Z^*(x) - Z(x)] = 0$$

Las clases de kriging varían en función del modelo adoptado para la función aleatoria  $Z(x)$ . Esta se descompone en una componente residual,  $R(x)$ , y otra relativa a la tendencia,  $m(x)$ :

$$Z(x) = R(x) + m(x)$$

La componente residual se modela como una función aleatoria estacionaria con la media nula y covarianza  $C(h)$ :

$$E[R(x)] = 0$$

$$\text{Cov}[R(x), R(x+h)] = E[R(x) \cdot R(x+h)] = C(h)$$

Así, se tiene:

$$E[Z(x)] = m(x)$$

En función del modelo considerado para la tendencia,  $m(x)$ , se pueden distinguir tres tipos de krigado, simple, universal y el krigado ordinario que será el algoritmo que describamos a continuación.

El krigado ordinario considera las fluctuaciones locales de la media, limitando el dominio de estacionariedad de la misma a un ámbito local:  $m(x) = \text{constante}$ , pero desconocida. Por lo tanto, la media no es una constante en toda la zona de estudio, sino que varía localmente y, además, no se conoce, así que es necesario trabajar directamente con la variable en estudio  $Z$ . La predicción es:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n W_i(x) Z(x_i)$$

Al no conocer la media se hace necesario garantizar la propiedad de insesgamiento en la que es imprescindible que se cumpla que:

$$\sum_{i=1}^n W_i(x) = 1$$

Por lo que hay que buscar los valores  $W_i$  que minimizan la varianza y que satisfagan que su suma sea igual a 1, para garantizar la condición de insesgamiento. Este tipo de problema de minimización con restricciones se resuelve utilizando una técnica denominada *multiplicadores de Lagrange*, puesto que la resolución mediante la condición de sesgo nulo añadiría otra ecuación de difícil resolución (Moral 2003). Para evitar ese problema, se introduce otra incógnita, el parámetro de Lagrange,  $\mu$ , en la expresión de la varianza del error:

$$\sigma_E^2(x) = \text{Var}[Z^*(x) - Z(x)] \rightarrow \text{Mínimo}$$

Así la expresión la ecuación de la varianza mínima del error, o varianza del krigado ordinario, quedaría:

$$\sigma_{KO}^2(x) = \sigma^2 - \sum_{i=1}^n w_i C(x_i - x) - \mu$$

Si se expresa en función del variograma, considerando la relación  $C(h) = C(0) - \gamma(h)$ , el sistema del krigado ordinario queda de la forma:

$$\sum_{j=1}^n \omega_j \gamma(x_i - x_j) - \mu = \gamma(x_i - x) \quad i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n \omega_i(x) = 1$$

Siendo  $\gamma(x_i-x_j)$  la semivarianza para la distancia entre  $x_i$  y  $x_j$ , y  $\gamma(x_i-x)$  la semivarianza para la distancia entre  $x_i$  y el punto estimado  $x$ .

La varianza de la estimación, en función del variograma será:

$$\sigma_{KO}^2(x) = \mu + \sum_{i=1}^n \omega_i \gamma(x_i - x)$$

Por lo que el error no depende directamente de los datos si no de la continuidad espacial de estos.

Los algoritmos o modelos que se han utilizado en este capítulo para elaborar los mapas de las diferentes clases y grupos climáticos vitícolas, ha sido el de regresión-krigeado para los índices HI y CI (ya descrito en el capítulo anterior punto 2.5) y para el índice sequía (DI), el procedimiento de krigado ordinario.

Cuando se utiliza la técnica de regresión-krigeado, se hacen predicciones por separado para la tendencia y los residuos. Por lo tanto, cualquier variable en un nuevo punto sin muestrear, es estimada. La tendencia es generada mediante regresión lineal y los residuos, utilizando el algoritmo de krigado ordinario. Al igual que para generar los mapas del capítulo anterior, en este estudio, se utilizarán los mismos predictores, la elevación y la latitud. El algoritmo de regresión-krigeado da lugar a estimaciones más precisas que el krigado ordinario. Se puede obtener más información sobre esta técnica en el capítulo II (apartado 2.5).

El análisis geoestadístico se realizó con la extensiones *Geostatistical Analyst* y *Spatial Analyst* de ArcGIS v.10. El mapa del kriging estimado proporciona una representación visual de la caracterización y zonificación de los diferentes *grupos climáticos* según el SCCMG para la viticultura de la península Ibérica.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Análisis descriptivo de las estaciones.

A partir de los datos meteorológicos, procesados y analizados en el capítulo primero, se ha calculado el valor de los tres índices bioclimáticos del SCCMG, para cada una de las series de datos de las estaciones meteorológicas objeto de este estudio. El resultado del análisis descriptivo se recoge en el Anexo I (Tablas 3 5 y 6). En el Anexo II se muestra mediante gráficos (Figuras 5,6 y 9 a 12), la clasificación para cada una de las estaciones, según las clases de cada índice.

En la tabla 2 del presente capítulo, se muestra el valor medio del conjunto de todas las estaciones, para cada uno de los índices, junto con algunos estadísticos descriptivos. Como puede observarse en dicha tabla, que son similares la media y la mediana de los índices HI, CI, y DIE. Este último índice (DI), presenta un coeficiente de variación negativo, y alto en valor absoluto, expresando que no es del todo válido a la hora de interpretar su distribución. Además obtiene valores negativos también para la media. Los valores de asimetría y curtosis, son cercanos a cero, y sus errores típicos, presentan también unos valores bajos. En consecuencia, todo ello nos indica, que estos datos siguen una distribución normal. Para HI, la mediana es menor que el valor medio. Sin embargo, para los otros índices (CI, DI), la mediana es mayor que la media, por lo que para ellos sus distribuciones se desplazan a valores más altos.

**Tabla 2.** Estadísticos descriptivos de los índices climáticos de las estaciones seleccionadas, para el período. CV, coeficiente de variación (%), HI, índice heliotérmico de Huglin (°C), CI, índice de frío nocturno (°C) y DI, índice de sequía (mm).

Índice	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Error típ. curtosis	Asimetría	Error típ. asimetría	CV %
HI	2471,4	2447,9	615,76	229,2	3974,5	-0,66	0,10	-0,06	0,05	24,92
CI	14,5	14,6	3,43	4,3	22,8	-0,60	0,10	-0,13	0,05	23,57
DI	-39,5	-52,0	107,93	-321,0	200,0	-0,32	0,10	0,42	0,05	-273,13

Los coeficientes de variación (CV) fueron muy similares para los dos índices térmicos (Tabla 2), aunque para el DI muestra una gran variación, puesto que su rango es muy amplio, abarcando valores positivos y negativos, motivado por la ausencia o presencia en exceso de agua en el suelo. Este coeficiente indica la variabilidad espacial significativa que existe en el territorio peninsular español, lo que sugiere que es posible definir diferentes grupos dentro del territorio, característica que vuelve a ponerse de manifiesto al clasificar las estaciones meteorológicas según las diferentes clases de cada índice, ya que tal y como se observa en la Tabla 4, dentro del territorio peninsular español quedan representadas todas las clases excepto la clase HI-3.

En la tabla 3 se muestran las correlaciones existentes entre los índices bioclimáticos y las variables geográficas (latitud, longitud y altitud) de las estaciones. Existe una alta correlación entre la altitud y los dos índices térmicos, lo que indica que estos índices van a mostrar una mayor respuesta a la variación de la altitud. Por otro lado la correlación entre la latitud y los tres índices es muy similar, y en los tres casos significativa, siendo negativa para el HI y CI y positiva para el DI. En cuanto a la relación entre los índices existe una correlación positiva entre HI y CI, y negativa entre DI y HI, y no existe entre los índices DI y CI.

**Tabla 3.** Matriz de correlación lineal entre los índices, índice de Huglin (HI), índice de frescor nocturno (CI), índice de sequía (DI) y la longitud, latitud y elevación de las estaciones meteorológicas.

	Altitud	Longitud	Latitud	HI	CI	DI
HI	<b>-0,523</b>	<i>0,235</i>	<b>-0,673</b>	1		
CI	<b>-0,781</b>	<i>0,237</i>	<b>-0,606</b>	<b>0,695</b>	1	
DI	-0,078	0,010	<b>0,668</b>	<b>-0,741</b>	-0,152	1

Valores en cursiva indican correlación significativa al nivel 0,05 y en negrita al nivel < 0,01 .

Según los valores medios de los tres índices, calculados a partir de las series meteorológicas analizadas, las 65 estaciones se clasificaron, según muestra la Tabla 4, en un total de 26 *climas vitícolas*, que corresponden a 26 combinaciones diferentes de las 96 posibles, lo que muestra una gran variedad de tipos climáticos diferentes. Cabe indicar que en el estudio que Tonietto y Carbonneau (2004) realizaron a nivel mundial para las regiones vitícolas, obtuvieron 36 *climas vitícolas*.

**Tabla 4.** Clasificación según el Sistema CCM Geovitícola para las estaciones empleadas.

ESTACION	HI	CI	DI
Colmenar Viejo/Famet	HI+1	CI+1	DI+1
Pamplona (Observatorio)	HI+1	CI+1	DI+1
Braganza	HI+1	CI+2	DI+1
Ponferrada	HI+1	CI+2	DI+1
Salamanca Aeropuerto	HI+1	CI+2	DI+2
Valladolid	HI+1	CI+2	DI+2
Zamora	HI+1	CI+2	DI+2
Tarifa	HI+1	CI-2	DI+1
Huesca	HI+2	CI+1	DI+1
Logroño-Agoncillo	HI+2	CI+1	DI+1
Ourense	HI+2	CI+1	DI+1
Albacete Los Llanos	HI+2	CI+1	DI+2
Daroca	HI+2	CI+2	DI+1
Barcelona -Fabra	HI+2	CI-1	DI+1
Ciudad Real	HI+2	CI-1	DI+1
Girona/Costa Brava	HI+2	CI-1	DI+1
Lisboa Geofísica	HI+2	CI-1	DI+1
Reus/Aeropuerto	HI+2	CI-1	DI+1
Cáceres Ciudad	HI+2	CI-1	DI+2
Madrid - Retiro	HI+2	CI-1	DI+2
Madrid/Getafe	HI+2	CI-1	DI+2
Zaragoza Aeropuerto	HI+2	CI-1	DI+2
Barcelona/Aeropuerto	HI+2	CI-1	DI-1
Cádiz	HI+2	CI-2	DI+1
Castellón	HI+2	CI-2	DI+1
Murcia/San Javier	HI+2	CI-2	DI+1
Granada/Aeropuerto	HI+3	CI+1	DI+2
Tortosa – Observatorio Del Ebro	HI+3	CI-1	DI+1
Badajoz/Talavera La Real	HI+3	CI-1	DI+2
Beja	HI+3	CI-1	DI+2
Córdoba Aeropuerto	HI+3	CI-1	DI+2
Granada	HI+3	CI-1	DI+2
Jerez De La Frontera	HI+3	CI-1	DI+2
Murcia	HI+3	CI-1	DI+2
Murcia/Alcantarilla	HI+3	CI-1	DI+2
Alicante	HI+3	CI-2	DI+1
Alicante El Altet	HI+3	CI-2	DI+1
Almería	HI+3	CI-2	DI+1
Valencia	HI+3	CI-2	DI+1
Valencia/Aeropuerto	HI+3	CI-2	DI+1
Málaga Aeropuerto	HI+3	CI-2	DI+2
Sevilla/San Pablo	HI+3	CI-2	DI+2
Madrid/Torrejón	HI-1	CI+1	DI+1
A Coruña/Alvedro	HI-1	CI+1	DI-1
Bilbao Aeropuerto	HI-1	CI+1	DI-1
Vigo Peinador	HI-1	CI+1	DI-1
Burgos-Villafria	HI-1	CI+2	DI+1
León Virgen Del Camino	HI-1	CI+2	DI+1
Molina De Aragón	HI-1	CI+2	DI+1
Soria	HI-1	CI+2	DI+1
Valladolid (Villanubla)	HI-1	CI+2	DI+1
Vitoria Aeródromo	HI-1	CI+2	DI+1
Santiago De Compostela/Labacolla	HI-1	CI+2	DI-1
Morón De La Frontera	HI-1	CI-1	DI+1
Toledo Lorenzana	HI-1	CI-1	DI+1
A Coruña	HI-1	CI-1	DI-1
Santander Centro	HI-1	CI-1	DI-1
Santander/Parayas	HI-1	CI-1	DI-1
San Sebastián/Fuenterrabía	HI-1	CI-1	DI-2
Asturias/Avilés	HI-2	CI+1	DI-1
Oviedo	HI-2	CI+1	DI-1
Cuenca	HI-2	CI+2	DI+1
Guadalajara (Instituto)	HI-2	CI+2	DI+1
Lugo/Rozas	HI-2	CI+2	DI+1
San Sebastián - Igueldo	HI-2	CI-1	DI-2

Destaca la clase de *clima vitícola muy cálido de noches templadas* y con potencial de sequía *muy seco* (HI+3 CI-1 DI+2) presentado por el 10,8% de las estaciones, seguida de la clase (HI-1 CI+2 DI+1) con un 9,25% y con un 7,7% el grupo climático formado por, clima *cálido de noches templadas y moderadamente seco* (HI+2 CI-1 DI+1).

En la Tabla 5 se muestra el porcentaje de estaciones con respecto a cada una de las clases de los índices. Cabe destacar que ninguna de las estaciones presenta clasificación para el índice HI, *muy frío* (HI-3). Estos valores térmicos bajos para el desarrollo del viñedo, fueron motivo de estudio por Fraga et al. (2013), que consideraron un umbral más bajo para HI (900°C en lugar de 1200°C) que el propuesto por el SCCMG, con el fin de incluir las regiones vitivinícolas del norte de Europa, donde las condiciones de vinificación son marginalmente adecuadas. De hecho, en dos estudios anteriores realizado por Jones et al. (2010) y Hall y Jones (2010), encontraron que por encima de 850 °C, el índice de Winkler (WI; Winkler et al., 1974) era ya adecuado para el crecimiento de la vid en el oeste de Estados Unidos y Australia, respectivamente. Además, Santos et al. (2012) mostraron una clara correspondencia entre los patrones de WI y HI de Europa utilizando 850°C y 900°C como límites inferiores, respectivamente. En este caso el SCCMG, propone fijar el umbral del límite térmico inferior para el viñedo en la clase HI-3, para valores del índice de  $\leq 1500$  °C. Las dos clases con mayor acumulación de calor (HI+2 y HI+3) contienen más del 50% de las estaciones.

Respecto al índice de frío nocturno CI, que aporta información sobre temperatura nocturna durante el mes de maduración, se obtiene el mayor porcentaje de las estaciones para la clase CI-1, con un 38,46% seguida de la clase CI+2.

La mayor parte de las estaciones, quedan clasificadas dentro de la clase DI+1, clima *moderadamente seco*, con un 53.85%, lo que hace que el índice de sequía, sea poco diferenciador dentro del territorio español. Este dato unido al hecho de que el 27.69% pertenezcan a la siguiente clase DI+2, calificada como clima *muy seco*, indican, por otro lado, el carácter de déficit hídrico que presenta la mayor parte del territorio peninsular español.

**Tabla 5.** Porcentaje de las estaciones meteorológicas seleccionadas en la península Ibérica, para cada clase de los índices HI, CI y DI según el SCCMG, en el periodo 1980 a 2010.

Índice	Período	Clases	Sigla	Frecuencia (%)		
HI	1 abril	Muy frío $\leq 1500$	HI -3	0,00		
°C	30 septiembre	Frío 1500-1800	HI -2	09,20		
		Fresco 1800-2100	HI -1	26,20		
		Templado 2100-2400	HI+1	12,30		
		Cálidas 2400-3000	HI+2	27,70		
		Muy cálidas $>3000$	HI+3	24,60		
CI	Septiembre	Noches muy frías, $< 12$	CI+2	24,62		
		Noches frías, 12 - 14	CI+1	20,00		
		Noches templadas, 14 - 18	CI -1	38,46		
		Noches cálidas $> 18$	CI -2	16,92		
DI	1 abril	Muy seco , $< -100$	DI+2	27,69		
		mm	30 septiembre	Moderadamente seco, $-100 - (+ 50)$	DI+1	53,85
				Subhúmedo, 50 - 150	DI -1	15,38
		Húmedo, $>150$	DI -2	03,08		

### 3.2. Análisis descriptivo de los índices por comunidades autónomas.

Los datos mostrados en la Tabla 6, corresponden a los valores medios, máximos y mínimos de los índices para las diferentes comunidades autónomas obtenidos mediante krigeado ordinario y regresión-krigeado y en la Tabla 7 la clasificación obtenida, respecto al tipo de *clima vitícola*, para cada una de las comunidades.

Los valores medios del índice HI (Tabla 6), oscilan aproximadamente entre los 1500°C y los 2500°C, y para el índice CI se obtienen valores medios comprendidos entre los 10 y 14°C para la mayoría de las comunidades, siendo tres de ellas: Extremadura, Región de Murcia y Andalucía las que superan los 14°C. En aquellas regiones donde hay una mayor variabilidad orográfica, como ocurre por ejemplo en las comunidades de Aragón o Cataluña, con el marcado contraste que supone la zona del valle del Ebro con las zonas altas de los Pirineos, presentan mayores diferencias entre los valores máximos y mínimos de estos dos índices. En el otro extremo se sitúan las comunidades más pequeñas, en

cuanto a su superficie, como la Rioja o el País Vasco que además cuenta con la influencia moderadora del mar.

**Tabla 6.** Valores medios, mínimos y máximos de los índices HI, CI y DI para cada comunidad autónoma de España peninsular, ordenados de menor a mayor con respecto al HI medio.

CCAA	HI (°C-día)			CI (° C)			DI (mm)		
	Min	Media	Max	Min	Media	Max	Min	Media	Max
P. de Asturias	910	1642	1903	1,32	11,28	14,78	-149,69	37,76	1156,80
Cantabria	771	1664	1902	-0,55	11,37	14,79	-179,68	47,15	1150,72
La Rioja	1156	1709	1984	2,96	10,48	13,93	-161,55	-28,41	31,05
Castilla y León	838	1745	2318	0,31	10,05	15,45	-267,23	-57,75	74,34
País Vasco	1311	1748	1917	6,23	12,21	14,86	-73,59	47,31	1148,60
C. Foral de Navarra	1162	1751	2036	4,26	11,64	14,69	-106,29	10,35	90,40
Galicia	1203	1762	2130	3,71	12,09	15,63	-145,26	31,48	1162,87
Aragón	591	1852	2215	-3,82	11,09	15,66	-260,19	-50,05	28,00
Cataluña	713	1857	2373	-2,26	11,76	16,51	-234,93	-22,68	1117,31
C. de Madrid	1301	2009	2226	2,55	11,45	14,15	-230,99	-89,86	-54,96
Castilla-La Mancha	1303	2178	2623	3,14	12,17	16,05	-279,58	-118,04	-42,75
C. Valenciana	1674	2328	2827	6,21	13,98	18,16	-213,99	-93,81	995,53
Extremadura	1365	2415	2685	2,52	14,76	17,15	-255,31	-88,27	-38,23
Región de Murcia	1930	2577	2890	6,28	14,95	18,36	-290,38	-139,45	955,44
Andalucía	1556	2668	3152	-0,41	15,24	19,32	-452,80	-157,45	942,69

El índice DI presenta otro comportamiento diferente, siendo las comunidades costeras, sobre todo las del norte peninsular, las que presentan un mayor contraste entre los valores máximos y mínimos, y menor en las interiores. En estas últimas además, encontramos los valores medios más bajos, y siempre negativos, excepto en la comunidad de Navarra. De las 15 comunidades, 12 pertenecen a la misma clase, DI +1, y las tres restantes, Andalucía, Castilla-La Mancha y Región de Murcia, presentan un índice DI+2, calificado como *muy seco*, con un elevado déficit hídrico. El índice DI, solo obtiene representación de dos de sus clases en el territorio peninsular, informando de poca variabilidad, y por consiguiente zonificación para el balance hídrico.

Según se observa en la tabla 7, las comunidades se clasifican en siete tipos diferentes de *clima vitícola*. El tipo predominante es el HI-2 CI+2 DI+1, es decir *clima frío*, con *noches muy frías* y *moderadamente seco*, formando un *grupo climático* integrado por las comunidades siguientes: Principado de Asturias, Cantabria, Castilla y León, Comunidad Foral de Navarra y La Rioja. Extremadura comparte un *clima vitícola* similar al de Andalucía y Región de Murcia, aunque difiere en el índice de sequía, más bajo para estas dos últimas. Sin embargo las tres comparten la característica de poseer la clase más elevada (HI+2), del índice HI de entre todas las comunidades. El resto de comunidades varían en cuanto a sus características entre estos grupos climáticos extremos.

**Tabla 7.** Clasificación de *clima vitícola*, según el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola para las comunidades autónomas de España peninsular.

CCAA	HI	CI	DI
P. de Asturias	HI-2	CI+2	DI+1
Cantabria	HI-2	CI+2	DI+1
Castilla y León	HI-2	CI+2	DI+1
C. Foral de Navarra	HI-2	CI+2	DI+1
La Rioja	HI-2	CI+2	DI+1
Galicia	HI-2	CI+1	DI+1
País Vasco	HI-2	CI+1	DI+1
Aragón	HI-1	CI+2	DI+1
Cataluña	HI-1	CI+2	DI+1
C. de Madrid	HI-1	CI+2	DI+1
C. Valenciana	HI+1	CI+1	DI+1
Castilla-La Mancha	HI+1	CI+1	DI+2
Extremadura	HI+2	CI-1	DI+1
Andalucía	HI+2	CI-1	DI+2
Región de Murcia	HI+2	CI-1	DI+2

### 3.3. Representación espacial de los índices climáticos según el SCCMG en la península ibérica.

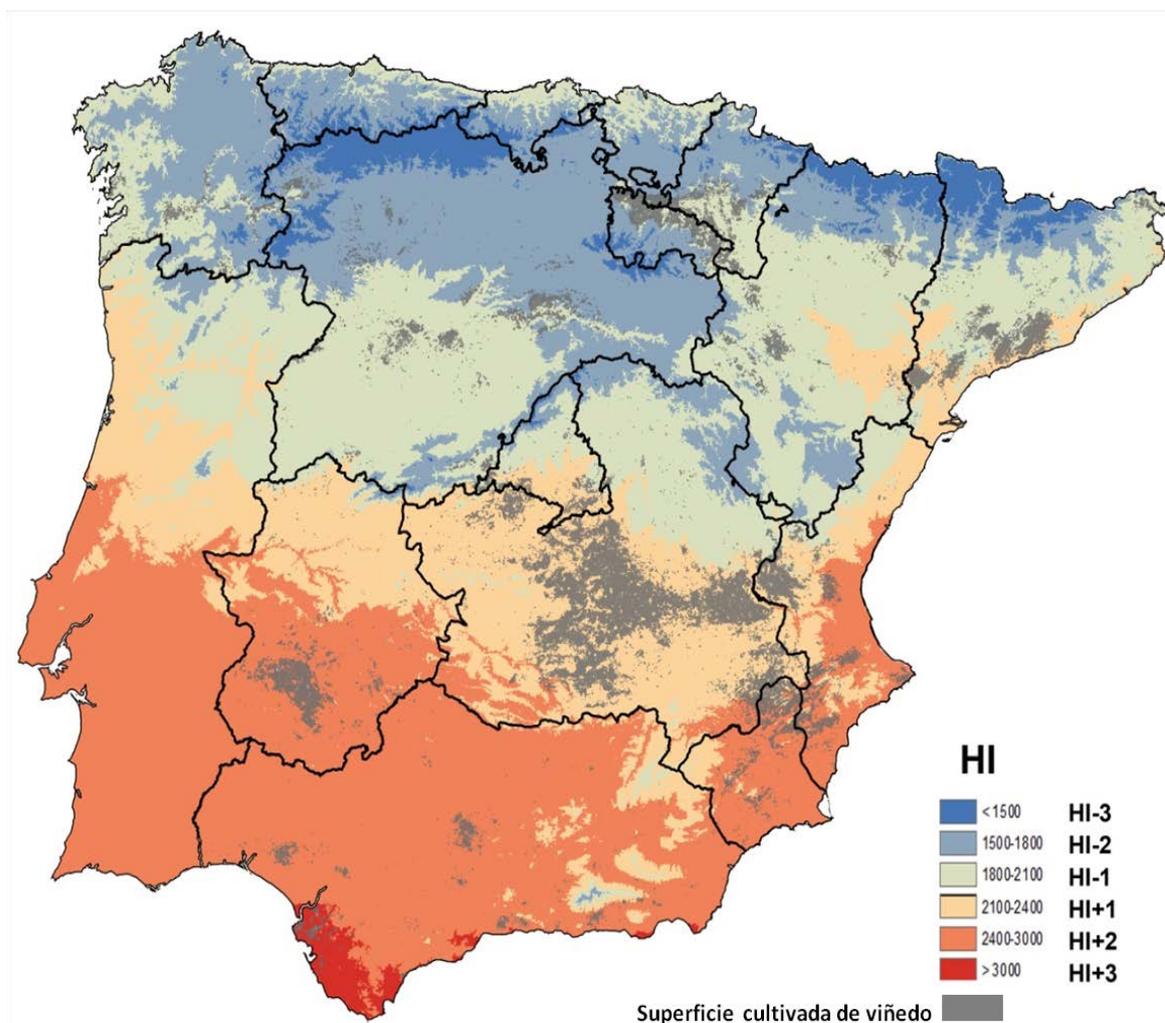
La representación espacial sobre un mapa, de cualquier variable, es indudablemente una herramienta muy útil para visualizar de forma sintética y eficaz dicha variable. Para ello se han elaborado los mapas peninsulares para cada uno de los índices bioclimáticos

utilizados en este capítulo y el mapa correspondiente a los diferentes grupos climáticos vitícolas, surgidos de la aplicación del SCCMG.

En las Figuras 2, 3 y 4 se muestran los mapas peninsulares correspondientes al índice de Huglin, índice de frío nocturno, CI e índice de sequía DI, respectivamente, obtenidos tras extrapolar a todo el territorio el cálculo de los índices y aplicar la correspondiente clasificación. En las Tablas 8, 9 y 10 se indican los porcentajes para cada una de las clases de los diferentes índices para cada una de las comunidades autónomas.

Según los porcentajes obtenidos para el índice de Huglin (Tabla 8), vemos que las cuatro clases intermedias (HI-2, HI-1, HI+1 y HI+2) ocupan prácticamente el mismo porcentaje de territorio peninsular, entre el 20,5 y el 27,0%, estando muy poco representadas las dos clases de los extremos, mientras que el índice de frío nocturno (Figura 3), presenta su mayor porcentaje para la clase más fría CI+2 (43%) (Tabla 9), y un porcentaje similar para las clases intermedias (CI+1 y CI+2), estando muy poco representada la clase correspondiente a la *noches cálidas*. En cuanto al índice de sequía, los porcentajes se dividen entre las dos clases con mayor déficit hídrico, la clase de clima *muy seco* con un 30,7% y la clase *moderadamente seco* con un 63,3%.

El mapa correspondiente al índice HI, es muy similar al elaborado en el capítulo anterior (capítulo II) para este mismo índice, si bien, en el presente capítulo y siguiendo el criterio del SCCMG se subdivide en 6 clases en vez de 8. Esto hace que su representación en el mapa cambie ligeramente, quedando ahora englobadas en la misma clase, HI+2, la mitad sur de la comunidad de Extremadura, Andalucía, Región de Murcia y parte de la comunidad Valenciana. Cambia también ligeramente el norte peninsular, desapareciendo pequeñas manchas correspondientes a la clase *demasiado fría*, que se extendían por las zonas montañosas de Aragón y Cataluña (Pirineos) y zonas montañosas de Castilla y León.



**Figura 2.** Zonificación de las clases de clima vitícola para el índice de Huglin HI, según el SCCMG.

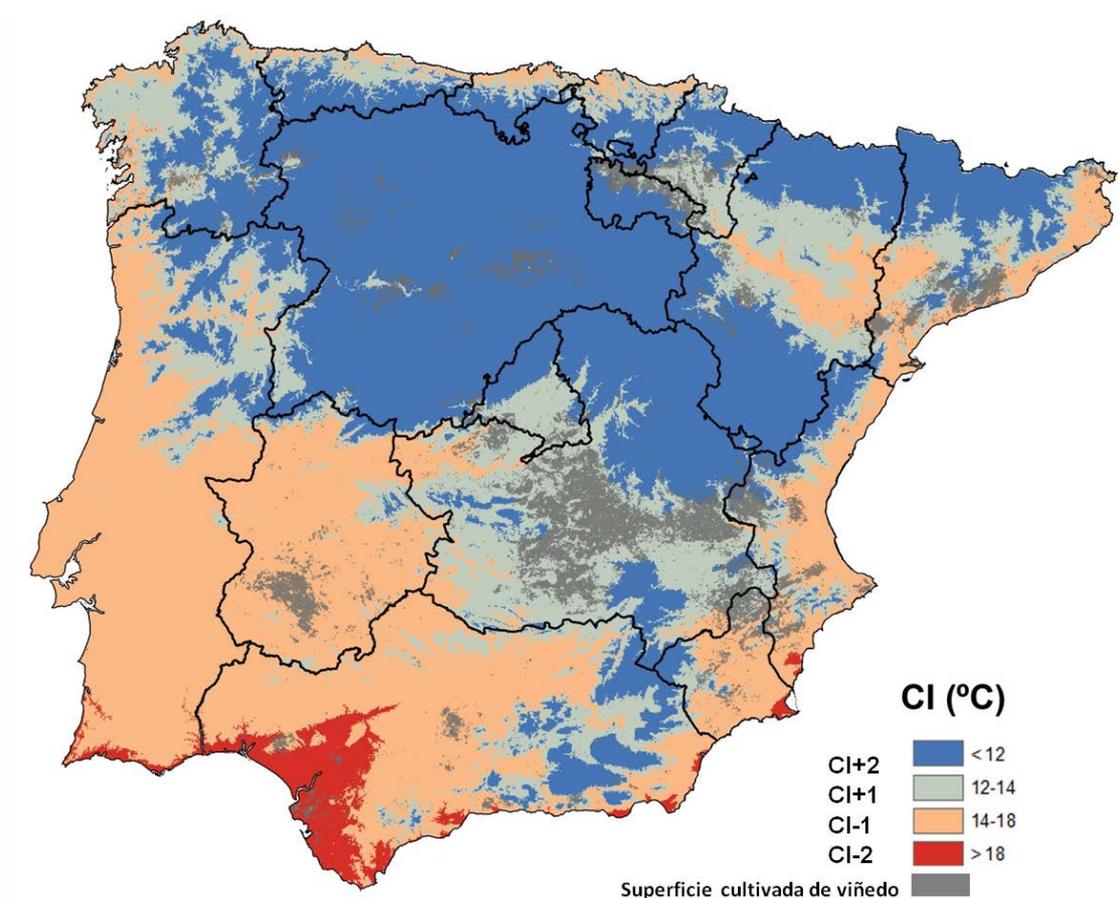
**Tabla 8.** Porcentaje del territorio de las comunidades autónomas españolas dentro de cada clase del índice de Huglin HI, según el SCCMG.

HI	Muy frío	Frío	Fresco	Templado	Caliente	Muy caliente
MCC SYSTEM	HI-3	HI-2	HI-1	HI+1	HI+2	HI+3
%	< 1500	1500-1800	1800-2100	2100-2400	2400-3000	> 3000
Andalucía	0,0	0,1	1,2	8,7	84,3	5,6
Aragón	7,2	23,5	61,6	7,7	0,0	0,0
P. Asturias	19,6	61,6	18,8	0,0	0,0	0,0
Cantabria	16,9	51,8	31,3	0,0	0,0	0,0
Castilla y León	9,7	49,3	40,3	0,7	0,0	0,0
Castilla-La Mancha	0,1	6,6	21,5	65,8	6,0	0,0
Cataluña	14,0	16,5	50,6	18,9	0,0	0,0
C. Valenciana	0,0	0,6	17,1	41,9	40,4	0,0
Extremadura	0,1	0,7	3,1	37,7	58,5	0,0
Galicia	2,5	60,8	36,6	0,1	0,0	0,0
C. de Madrid	2,1	12,7	43,9	41,3	0,0	0,0
R. de Murcia	0,0	0,0	0,5	17,1	82,4	0,0
C. Foral Navarra	5,8	53,3	40,9	0,0	0,0	0,0
País Vasco	1,6	63,7	34,7	0,0	0,0	0,0
La Rioja	10,4	55,8	33,8	0,0	0,0	0,0
España peninsular	4,5	22,2	27,0	20,5	24,7	1,0

Respecto a la clase *muy cálida*, HI+3, que representa un 1% de la superficie, se localiza prácticamente en su totalidad en el sur peninsular, en la provincia de Cádiz, desde la desembocadura del río Guadalquivir hasta Tarifa, coincidiendo con los viñedos de las denominaciones de origen que comparten consejo regulador de Jerez-Xérès-Sherry y Manzanilla-Sanlúcar de Barrameda. Esta zona también está clasificada para el índice CI con su clase mayor (CI-2) donde las noches son más calurosas (Figura 3). Por el contrario es clasificada para el índice de sequía como *moderadamente seco*, DI+1 (Figura 4). Esta región vitivinícola de clima cálido con influencia atlántica, donde la uva adquiere características particulares (García de Lujan et al., 1988), y famosa por la elaboración tan especial de sus vinos, es clasificada por Sotés et al. (2012) como de clima cálido, con noches templadas y de sequía moderada (HI+2, CI-1, DI+1).

Andalucía, gran parte de Extremadura, incluida aquella donde se asientan los viñedos extremeños y parte del Levante español comparten en su mayor parte del territorio las mismas características en cuanto a los índices térmicos, HI y CI. Son regiones *cálidas* (HI+2) y de *noches templadas* (CI-1). En esta zona están comprendidos la gran mayoría de los viñedos cultivados en estas comunidades, y que pertenecen a denominaciones de origen que recorren esta zona de oeste a este, como son: D.O. Ribera del Guadiana, Montilla-Moriles, o Jumilla en la Comunidad Valenciana.

La zona con mayor densidad de viñedos de España, es clasificada como de clima *templado* (HI+1). Esta zona que corresponde a los viñedos de las D.O. La Mancha y Valdepeñas, situadas en la comunidad de Castilla-La Mancha, presenta además una clasificación CI+1, en el índice de frescor nocturno, que corresponde a *noches frías*. Para esta amplia zona vitivinícola, Sotés et al. (2012) la clasifican para el índice HI con una categoría superior (HI+2) que la obtenida en el presente trabajo, pero coincide con la clasificada por el índice CI. Según Tonietto (1999), las *noches frías*, con temperaturas que no superan cierto umbral durante el período de maduración de la uva, son un factor muy importante en la viticultura, pues favorecen la coloración y la formación de aromas en las bayas. Algunos viñedos situados en las zonas costeras catalanas, comparten también esta clasificación en cuanto a estos dos índices (Figura 2). La mitad sur de la D.O. La Mancha y la D.O. Valdepeñas son clasificadas para el índice de sequía como *muy seco*, a diferencia de los viñedos catalanes que obtienen una clase con menor déficit hídrico, *moderadamente seco* (DI+1) (Tabla 10).



**Figura 3.** Zonificación de las clases de clima vitícola para el índice frescor nocturno CI, según el SCCMG.

**Tabla 9** Porcentaje del territorio de las comunidades autónomas españolas dentro de cada clase del índice de frescor nocturno CI, según el SCCMG.

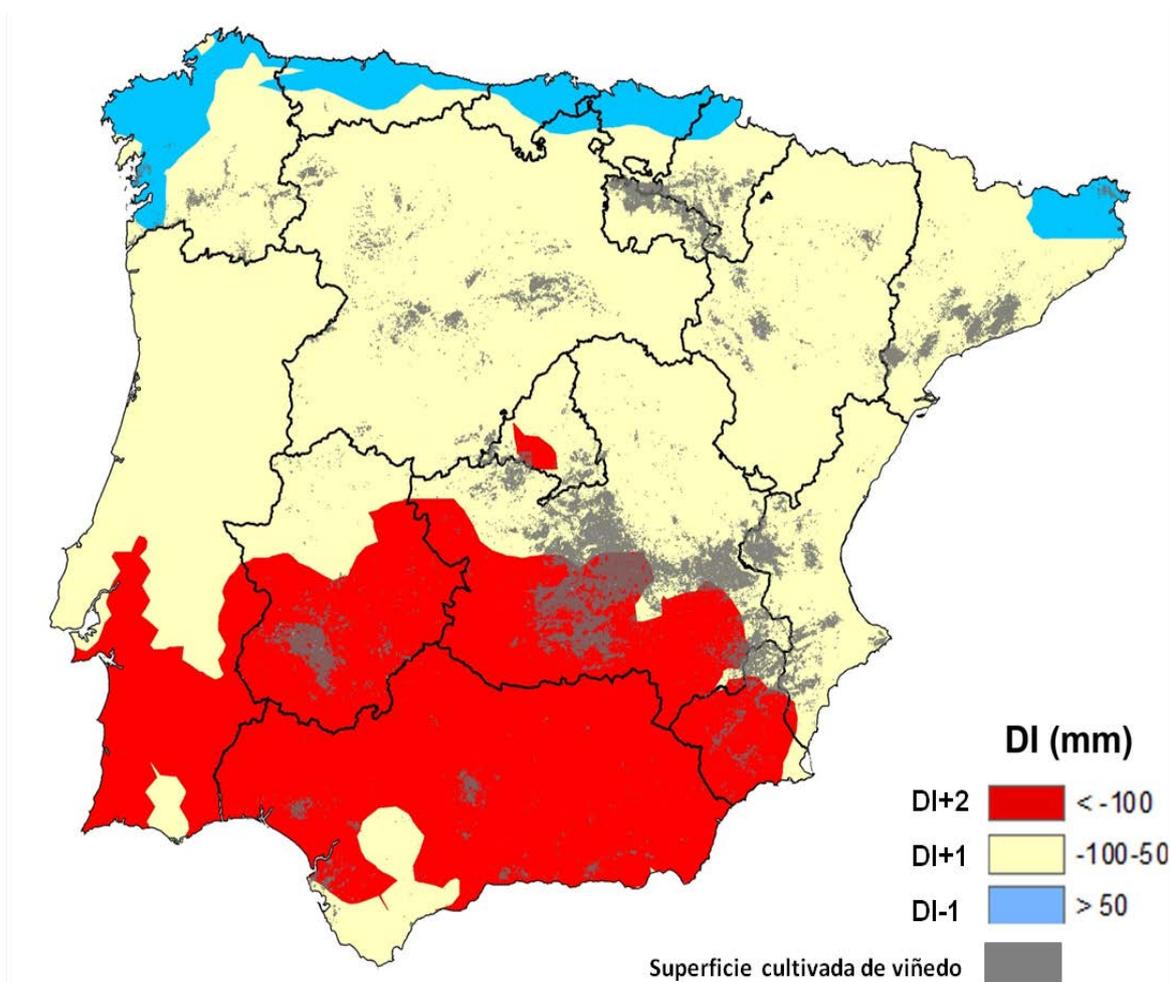
%	N. Muy frías	N. Frías	N. Templadas	N. Calientes
	CI+2 < 12	CI+1 12-14	CI-1 14-18	CI-2 > 18
Andalucía	11,2	16,2	57,7	15,0
Aragón	56,6	30,9	12,5	0,0
P. Asturias	54,8	34,2	11,0	0,0
Cantabria	53,2	26,2	20,6	0,0
Castilla y León	96,0	3,8	0,2	0,0
Castilla-La Mancha	36,3	55,6	8,1	0,0
Cataluña	39,7	28,5	31,8	0,0
C. Valenciana	21,2	27,8	50,0	0,9
Extremadura	4,0	10,2	85,8	0,0
Galicia	44,8	42,8	12,4	0,0
C. de Madrid	41,9	57,3	0,8	0,0
R. de Murcia	9,5	21,3	66,5	2,7
C. Foral Navarra	50,8	47,3	1,9	0,0
País Vasco	45,7	39,4	14,8	0,0
La Rioja	69,8	30,2	0,0	0,0
España peninsular	43,3	26,4	27,5	2,8

Castilla y León es clasificada por el CI de *noches muy frías* prácticamente en su totalidad, puesto que obtiene un 96,0% de su territorio en esta categoría. Sin embargo para el índice HI se encuentra dividida en dos zonas: la sur, con las denominaciones de origen Rueda, Tierra del Vino de Zamora, Toro y Arribes zonificada como de clima *fresco* (HI-1) y la zona norte con las demás D.O. como *fría* (HI-2). Las comunidades de La Rioja y Navarra comparten la misma clasificación para el índice HI que la zona sur de Castilla y León, HI-1, pero no comparten la misma clase para el índice CI, puesto que son clasificadas como CI+1, de *noches frías*, sin embargo, vuelven a compartir la misma clase de *moderadamente seco* para el índice DI. En estas dos últimas comunidades, la superficie de viñedo coincide con las clases comentadas. En general, en las regiones más frías, se produce vinos más ácidos y menos alcohólicos que los vinos de las regiones más cálidas, siendo zonas productoras principalmente de vinos blancos (Peynaud, 1971 Branas 1974, Winkler et al. 1974 Becker (1977), como pueden ser las D.O. de Rueda o Cigales. Estas regiones, pueden sufrir heladas tardías que pueden poner en peligro la producción (Hidalgo, 1999).

Respecto al índice de sequía DI (Tabla 10), el territorio peninsular queda claramente dividido en dos zonas (Figura 4), la zona sur (30,7%) con la clase de mayor déficit hídrico DI+2 (*muy seco*) y el centro y norte (63,3%) ocupado por la clase DI+1 *moderadamente seco*. La tercera clase de clima vitícola representada DI-1 (*subhúmedo*) se localiza en el norte ocupando las zonas cercanas a la costa en las comunidades de Galicia, las comunidades limítrofes con el mar Cantábrico y parte de la zona noroeste de Cataluña, si bien los viñedos de la península se reparten entre las dos anteriores, a excepción de la mayoría de las viñas pertenecientes a la D.O. Rias Baixas.

Destaca para este índice la zonificación que produce en el sur de la provincia de Cádiz y el noroeste de la de Sevilla, donde clasifica la zona como *moderadamente seco* (DI+1), siendo precisamente, la zona con más acumulación térmica del territorio, según nuestro estudio. Puede ser esto debido, a la influencia de dos parajes naturales de alto valor ecológico, que están contiguos: el Parque Natural de Los Alcornocales y el Parque Natural de la Sierra de Grazalema, que es catalogada como la zona con mayor pluviometría de España (Gallego, 2003).

El sur de la comunidad de Madrid es clasificada como *muy seco* (DI+2), esta zona se corresponde con parte de los viñedos que van desde Chinchón a San Martín de



**Figura 4.** Zonificación de las clases de clima vitícola para el índice de sequía DI, según el Sistema CCM Geovitícola.

**Tabla 10.** Porcentaje del territorio de las comunidades autónomas españolas dentro de cada clase del índice de sequía DI, según el SCCMG.

DI %	Muy seco	Moderado seco	Subhúmedo	Húmedo
	DI+2 < -100	DI+1 > -100 < 50	DI-1 > 50 < 150	DI-2 > 150
Andalucía	89,9	10,1	0,0	0,0
Aragón	0,0	100,0	0,0	0,0
P. Asturias	0,0	55,3	44,7	0,0
Cantabria	0,0	45,3	53,9	0,7
Castilla y León	0,9	98,2	0,9	0,0
Castilla-La Mancha	42,0	58,0	0,0	0,0
Cataluña	0,0	85,9	14,1	0,0
C. Valenciana	1,3	98,7	0,0	0,0
Extremadura	67,0	33,0	0,0	0,0
Galicia	0,0	63,9	36,1	0,0
C. de Madrid	16,3	83,7	0,0	0,0
R. de Murcia	81,6	18,4	0,0	0,0
C. Foral Navarra	0,0	86,5	12,9	0,5
País Vasco	0,0	42,3	50,9	6,7
La Rioja	0,0	100,0	0,0	0,0
España peninsular	30,7	63,3	5,8	0,1

Valdeiglesias, pasando por el valle del río Guadarrama, pertenecientes a la D.O. Vinos de Madrid. En el trabajo que realizan Sotés et al. (2012), utilizando la estación situada en Retiro (Madrid), clasifica a los viñedos de la D.O. Vinos de Madrid como *muy secos* (DI+2).

Varios autores han indicado que un leve a moderado déficit hídrico tiene un efecto positivo sobre la uva y la producción de vino de calidad. De hecho, la concentración de compuestos fenólicos en la piel de la baya (antocianas y taninos) es mayor si las vides están expuestas a un moderado déficit hídrico (Roby et al., 2005; Castellarin et al., 2007), e igualmente puede tener un efecto beneficioso sobre el contenido en compuestos fenólicos, características sensoriales de los vinos y concentración de azúcar (Zsófi et al., 2009; Roby et al., 2005)

Comparando los resultados obtenidos para el índice DI, con los datos de la superficie de viñedo que se riega en España, se observa, que no hay una correspondencia entre las necesidades reales de agua del cultivo y el riego. Así comunidades que presentan un índice DI moderadamente alto, como por ejemplo, la Comunidad Foral de Navarra y La Rioja, que obtienen una clasificación climática idónea para producir uva de calidad y, que necesitan un menor aporte hídrico, para obtenerlas, tienen el 27,8% y 54,2% de su superficie cultivada de vid en riego (Tabla 1, capítulo II), en cambio la comunidad de Castilla y León que comparte la misma categoría para el DI, sólo tiene el 3,8% de la superficie, dedicada al viñedo en riego. Por otro lado comunidades como Castilla-La Mancha y Extremadura, con unos índices de sequía más bajos, y calificadas como *muy seco*, tienen tan sólo un 26,6% y un 8,2%, respectivamente, de la superficie dedicada a este cultivo en riego.

#### ***3.4. Representación espacial de los grupos climáticos según el SCCMG en la península ibérica.***

La información gráfica del proceso de superposición de cada una de las capas generadas por los índices que conforman el SCCMG, para el territorio español peninsular se representa en el mapa de la Figura 5. Se han obtenido 36 grupos climáticos de los 96 posibles, 10 más que utilizando las medias de las estaciones (Tabla 7). Según este sistema

de clasificación, y la distribución de la gama de colores propuestos, se aprecia que pasan los tonos rojos y naranjas del sur, a los verde y amarillos en el centro, para terminar ocupando el norte con los tonos azules. Esta apreciación de la gama de colores, muestra una correspondencia con las clases vitícolas del índice HI, quedando definidas cuatro grandes zonas (Figura 5), y las diferentes tonalidades de los colores descritos son provocados por las diferencias entre los índices CI y DI.

La mayoría de las regiones vitivinícolas de España se caracterizan por presentar una estación estival larga y una alta insolación, debido a estas condiciones, predominan los niveles del índice de Huglin, HI, suficientemente elevados como para permitir una buena maduración de las variedades de uva, incluso la de ciclo largos. Además, aproximadamente el 70% del territorio estudiado (Tabla 9) presenta un CI menor de 14°C (clases CI +2 y CI+1), es decir, noches suficientemente frescas como para favorecer una buena producción de azúcares, conservación de ácidos y aromas (Sotés, 2004), esto hace del territorio peninsular español un lugar idóneo para el cultivo de la uva para vino, ya que este tipo de clima es el adecuado para la producción de vinos de calidad.

Fraga et al. (2014), realizó un estudio de algunas zonas vitivinícolas peninsulares con denominación de origen, utilizando los tres índices bioclimáticos del SCCMG, pero subdividiéndolos en categorías diferentes, así el índice CI lo reduce a dos categorías, mayor de 14°C y menor de 14°C. Según sus resultados, la mayor parte de los viñedos peninsulares estarían situados en zonas con un índice menor de 14°C, lo que coincide con los resultados de este trabajo (Tabla 9). Sin embargo, para el índice HI, encontró valores por debajo de los 1500°C en las D.O. de Castilla y León, País Vasco, Galicia y La Rioja, situando gran parte del norte peninsular por debajo de este umbral. Mientras que según los resultados del presente estudio, ninguna de las superficies de viñedo de las D.O. de estas Comunidades autónomas se encuentran por debajo de este valor.

Con el propósito de comparar los resultados del presente trabajo con otros realizados recientemente, se han elaborado dos tablas (Tabla 11 y 12) con las que poder comparar la clasificación de los *grupos climáticos* obtenidos, con los resultados de otros autores utilizando el mismo sistema de clasificación. Además, en la tabla 12 se expone la clasificación de otras regiones vitivinícolas de algunos países europeos, junto con el valor medio de los tres índices climáticos, según Jones et al. (2009).

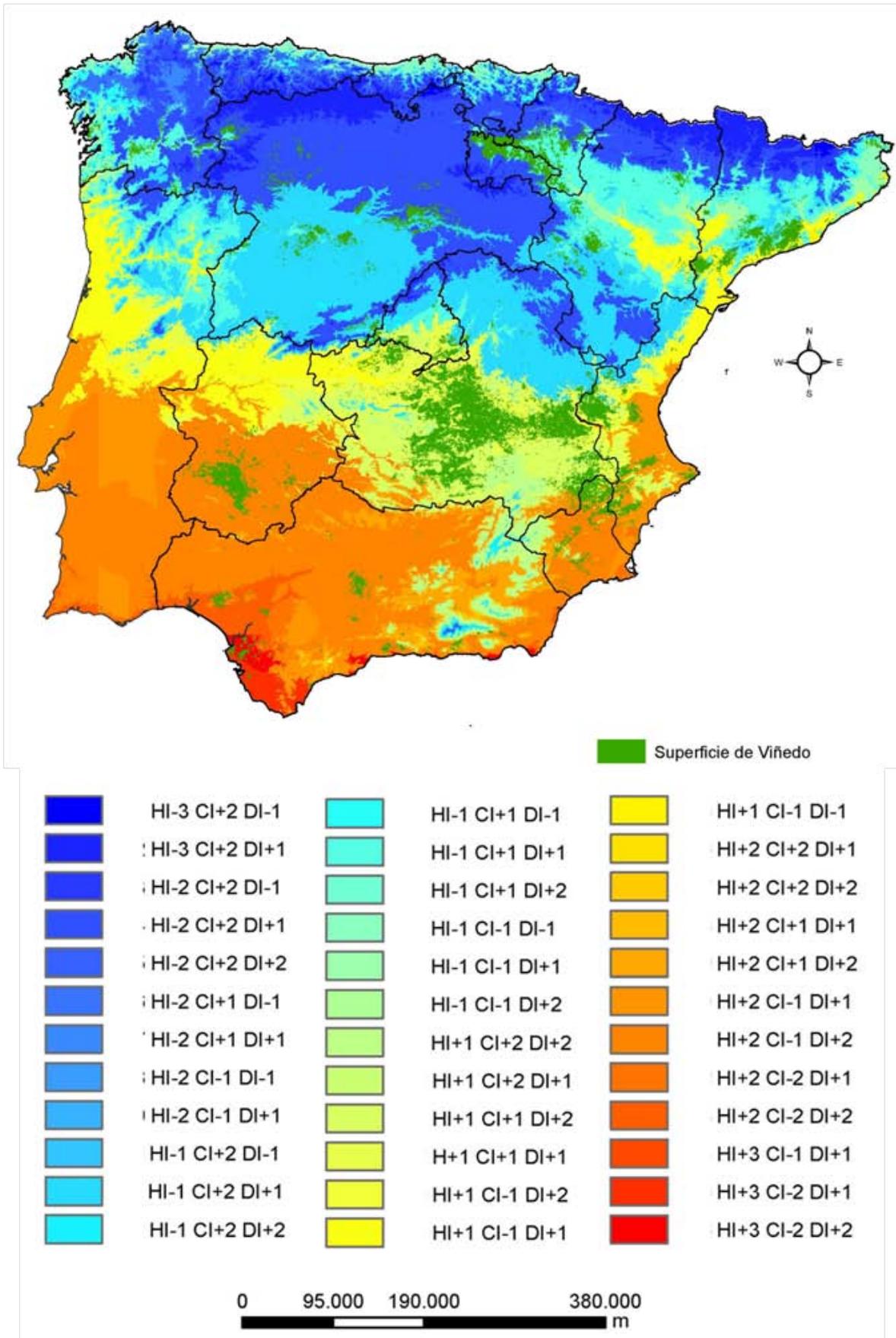


Figura 5. Grupos climáticos según el SCCMG y superficie de viñedo en la península Ibérica.

La superficie de viñedo perteneciente a la D.O. Rioja, queda englobada prácticamente en su totalidad (Figura 5) en el *grupo climático* de clima *templado de noches frías y moderadamente seco* (HI-1, CI+1, DI+1), al igual que los viñedos de la D.O. Vino de Navarra. Este *grupo climático*, discrepa en la clasificación para los índices HI y CI (Tabla 11), en el trabajo de Sotés et al. (2012). Si comparamos estas dos D.O. con otras regiones europeas que aparecen en la Tabla 12, obtienen equivalencia para las regiones de Chianti Classico y Vino Nobile di Montepulciano en Italia y con la región de Vinho Verde en Portugal.

**Tabla 11.** Clasificación de algunas denominaciones de origen de España peninsular y su clasificación de *grupo climático* por el SCCMG, según Sotés et al. (2012).

Comunidad autónoma	Denominación de origen	<i>Grupo climático</i> SCCMG
Galicia	Rías Baixas	HI-1 CI+1 DI-1
	Ribeiro	HI+1 CI+1 DI-1
Castilla y León	Bierzo	HI+1 CI+2 DI+1
	Ribera del Duero	HI+1 CI+2 DI+1
	Cigales	HI+1 CI+2 DI+1
	Rueda	HI+1 CI+2 DI+1
	Toro	HI+2 CI+1 DI+2
La Rioja	Rioja	HI+1 CI+2 DI+1
Foral de Navarra	Navarra	HI+1 CI+2 DI+1
Aragon	Calatayud	HI+1 CI+2 DI+1
	Cariñena	HI+2 CI+1 DI+2
	Somontano	HI+2 CI+1 DI+1
	Campo de Borja	HI+2 CI-1 DI+1
Cataluña	Tarragona y Priorato	HI+1 CI-1 DI+1
	Penedés	HI+1 CI-1 DI+1
Madrid	Vinos de Madrid	HI+1 CI-1 DI+2
Murcia	Jumilla	HI+2 CI-1 DI+2
Castilla-La Mancha	La Mancha	HI+2 CI+1 DI+2
	Valdepeñas	HI+2 CI+1 DI+2
Extremadura	Ribera del Guadiana	HI+2 CI-1 DI+2
Andalucía	Málaga	HI+2 CI-2 DI+2
	Jerez	HI+2 CI-1 DI+1

El *grupo climático* descrito anteriormente (HI-1, CI+1, DI+1), es compartido en la comunidad de Galicia con las D.O. Ribeiro, Ribera Sacra y Valdeherras (Anexo III, Figura 1). Por el contrario para los viñedos situados más cercanos a la costa, la D.O. Rias Baixas pertenece al *grupo climático* de clima *templado de noches templadas* (HI-1, CI-1) y dependiendo de la localización de los viñedos (Figura 5) cambia el DI, siendo

clasificados los viñedos más al norte (Anexo III, Figura 1) como *subhúmedo* (DI-1) y *moderadamente seco* (DI+1) los del sur. Estos viñedos de la D.O. Rias Baixas localizados en el sur, difiere en el *grupo climático* para el índice de frescor nocturno (*noches frías* CI+1) y para el índice de sequía (*subhúmedo*, DI-1), en la de la clasificación que realizan Blanco-Ward et al. (2007).

Cabe destacar según se observa en el mapa de la Figura 5, que los viñedos situados en el norte peninsular tienden a situarse en los enclaves que resultan más cálidos por su situación orográfica, como ocurre en los valles de los ríos. Hecho que se refleja en los viñedos de Galicia, situados sobre todo en el valle del Miño, o los de la Rioja, Navarra y Aragón situados en el valle del Ebro.

La superficie de viñedo más extensa de España, situada en la comunidad de Castilla-La Mancha, esta dividida en dos *grupos climáticos*, diferenciados por el índice DI (HI+1 CI+1 DI+1 y DI+2) (Figura 5), clasificación que coincide solo para el CI, pero no para los otros dos índices, en los estudios realizados por Sotés et al. (2012) y Jones et al. (2009) (Tabla 11). Presentaría correspondencia, en cuanto a su clasificación, con la localidad de Porto en Portugal (Tabla 12).

**Tabla 12.** Valores medios para el índice de Huglin, el índice de frescor nocturno CI y el índice de sequía DI, y de los *grupos climáticos*, según la calificación del SCCMG, de regiones vitivinícolas europeas, según Jones et al. (2009).

País	Región	HI (°C)	CI (°C)	DI (mm)	Grupo climático
Germany	Baden	1602	10.4	149	HI+2, CI+2, DI-1
	Mosel	1411	9.7	131	HI-3, CI+2, DI-1
	Rheinhessen	1473	9.5	109	HI-3, CI+2, DI-1
France	Bordeaux	1890	12.1	85	HI-1, CI+1, DI-1
	Bourgogne	1648	11	125	HI-2, CI+2, DI-1
	Champagne	1492	9,9	106	HI-3, CI+2, DI-1
	Côtes du Rhône Méridionales	2067	12.9	39	HI-2, CI+1, DI+1
Italy	Barolo	1960	14.6	90	HI-1, CI-1, DI-1
	Chianti Classico	2112	13,8	32	HI-1, CI+1, DI+1
	Valtellina Superiore	1880	11,7	175	HI-1, CI+2, DI-1
	Vino Nobile di Montepulciano	2057	13.2	18	HI-1, CI+1, DI+1
Spain	Jerez-Xéres-Sherrv	2441	18.8	-57	HI+2, CI-2, DI+1
	La Mancha	2417	13.5	-122	HI+2, CI+1, DI+2
	Rioja	1886	12.3	14	HI-1, CI+1, DI+1
Portugal	Porto	2155	13.1	-45	HI+1, CI+1, DI+1
	Vinho Verde	1987	13,7	19	HI-1, CI+1, DI+1

En la Figura 5, se puede observar que la comunidad de Extremadura, presenta la mayor concentración de su superficie dedicada al viñedo (D.O. Ribera del Guadiana), dentro del grupo climático, denominado *cálido de noches templadas y muy seco* (HI+2 CI-1 DI+2), clasificándola igual que Sotés et al. (2012), en el estudio de las regiones vitivinícolas iberoamericanas (Tabla 11), empleando una sola estación. Esta región extremeña, presenta la misma clase de grupo climático que la región de Mendoza en Argentina, o la de Toulon en Francia (GMCCS, 2015). Según Sotés (2004) en esta región se producirán condiciones donde las uvas tendrán graduaciones altas y escasa acidez, no siendo aconsejable para producción de uvas de la mejor calidad (Tabla 13).

**Tabla 13.** Condiciones climáticas durante la maduración y el impacto de la temperatura en la composición de la baya, según Sotés, 2004.

Clima	Impacto en la composición de la baya
Días cálidos y noches cálidas	Buena producción de azúcares, escasa acidez, poco color y baja concentración de taninos Condiciones buenas para uva de mesa y pasificación No aconsejable para producción de uva de calidad
Días cálidos y noches frías	Buena producción de azúcares Conservación de ácidos, color y aromas El mejor para producir vinos de calidad
Días fríos y noches cálidas	Bajo contenido en azúcares, pocos aromas y poca producción de color Elevada acidez (en condiciones de estrés hídrico). La baya no alcanza la madurez total
Días fríos y noches frías	Adecuado para la actividad general reducida Poco aconsejable durante la maduración

En la comunidad de Andalucía donde se agrupan los viñedos del marco de Jerez, con las denominaciones de origen Jerez-Xérès-Sherry y Manzanilla- Sanlúcar de Barrameda (Anexo III, Figura 1), destaca por ser, como se comento anteriormente, una zona calificada como *muy cálida con noches cálidas y muy seca* (HI+3 CI-2 DI+2) o *moderadamente seca* (DI+1) para los viñedos situados más al sur. Sin embargo en el trabajo de Tonietto et al. (2004) y Sotés et al. (2007) es considerado dentro de las clases HI+2 y CI-1, junto con enclaves como Évora y Alentejo en Portugal, si bien hay que considerar que en su estudio ambos autores sólo consideran la estación climática de Cádiz para clasificar esta zona. Tampoco coincide con Jones et al. (2009) (Tabla 12). Regiones clasificadas como estas dos D.O. son las regiones de Túnez y Cartago, en la Republica Tunecina (GMCCS, 2015).

## 4. Conclusiones

---

Según el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola, se han identificado 36 *grupos climáticos* diferentes mediante la aplicación de la técnica de interpolación geoestadística y 26 para las estaciones meteorológicas aplicando técnicas estadísticas clásicas, por lo que la aplicación de estas técnicas de interpolación geoestadísticas, permite una mayor diferenciación en la caracterización de la variabilidad climática vitícola para el territorio peninsular español.

Se ha realizado un mapa de la península ibérica, que consigue unificar de forma gráfica tres índices diferentes, y en la que están reflejados los grupos climáticos obtenidos al aplicar el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola.

Los índices con componentes térmicas, HI y CI, son los que diferencian una mayor discriminación en la zonificación climática vitícola, en el territorio peninsular español y el índice de sequía (DI) el que menos.

## CAPÍTULO IV

### Estructura del clima vitícola en España peninsular



## *1. Introducción*

---

El clima es un sistema complejo, resultado de la interacción de diferentes factores atmosféricos, biofísicos y geográficos que pueden cambiar en el tiempo y el espacio. Estos factores pueden ser la temperatura, la presión atmosférica, el viento, la humedad o la lluvia. Así mismo, algunos factores biofísicos y geográficos pueden determinar el clima en diferentes regiones, como por ejemplo, la latitud, la altitud, las masas de agua, la distancia al mar, el calor, las corrientes oceánicas, los ríos y la vegetación. La estrecha y compleja relación entre el clima y las plantas, ha llevado a la ciencia a tratar de explicar los procesos biológicos que suceden a las plantas y su relación con el medio, y dentro de este, los factores climáticos tienen gran importancia, por lo que el estudio para proponer modelos que expliquen el comportamiento y la respuesta de las plantas a esos factores es de sumo interés. Estos modelos se reflejan en expresiones matemáticas, resumiendo la información mediante índices.

En las expresiones matemáticas de algunos de estos índices, como ocurre en el caso de los empleados para la vid, se observa que comparten expresiones muy similares, creando una información redundante (Hidalgo, 1999), esto ocasiona dudas a la hora de decidir cuál de ellos emplear, en la búsqueda de las diferencias con las que poder explicar la variabilidad observada. Para el cultivo del viñedo existen varios índices bioclimáticos, unos de carácter térmico, basados en la suma de temperaturas o acumulación de calor (integral térmica), otros que solo reflejan la adaptación de la planta al medio, y otros que tienen en cuenta las temperaturas nocturnas. Por otro lado, son poco frecuentes los índices que utilizan la cantidad de agua disponible en el suelo y que pueden emplear las plantas para mantener un buen desarrollo, es decir, un índice con una componente hídrica. Estos índices bioclimáticos son empleados también para caracterizar regiones vitivinícolas, a veces de gran extensión, donde es interesante definir grupos homogéneos que compartan características, con los que se describa la variabilidad observada. Pero siempre es necesario manipular mucha información, sobre todo con las variables meteorológicas. El empleo de herramientas que permitan ordenar, discriminar y sintetizar la información se

hace imprescindible a la hora de realizar el estudio de caracterización y zonificación de un territorio o región.

El análisis factorial mediante el método de extracción denominado de *componentes principales*, es una técnica de reducción de datos que sirve para encontrar grupos homogéneos de variables a partir de un conjunto numeroso de variables. Estos grupos homogéneos se forman con las variables que están entre sí correlacionadas y procurando, únicamente, que unos grupos sean independientes de otros (Mallo, 1985). El análisis de componentes principales (ACP) es, por tanto, una técnica de reducción de la dimensionalidad de los datos. Su propósito último consiste en buscar el número mínimo de dimensiones capaces de explicar el máximo de información contenida en los datos (sin perder información). A diferencia de otras técnicas, en el análisis factorial todas las variables son independientes en el sentido de que no existe a priori una dependencia de unas variables sobre otras.

Tanto el análisis de conglomerados, también llamado en ocasiones *clúster* (AC), como el análisis de componentes principales, son técnicas estadísticas multivariantes (Llopis, 1996), que facilitan la interpretación en los estudios que requieran capturar abundante información de múltiples variables. Estas técnicas multivariantes de síntesis de información, se hacen imprescindibles, sobre todo en estudios donde están presentes los datos climatológicos. Una detallada discusión de estas técnicas pueden encontrarse, por ejemplo, en Bretherton et al. (1992). Entre las variables climatológicas puede existir una relación, a veces importante, como es el caso de la temperatura con la humedad relativa, o de la pluviometría con la altitud y la latitud.

Los estudios estadísticos multivariantes han sido utilizados para estimar los efectos individuales de las variables climáticas en ciencias atmosféricas e investigación del clima. Una extensa información sobre estas aplicaciones se tiene en la monografía realizada por Wilks (2006). El empleo de estas técnicas en la vitivinicultura se ha realizado tanto para definir las características del vino, diferenciar características varietales o caracterizar vitícolamente regiones; lo que se ha dado en llamar "*terroir*". En esta última aplicación existen trabajos donde el uso de estas técnicas se pone de manifiesto, como el realizado por Jones et al. (2000a), en el que emplean las dos técnicas de ACP y AC para agrupar y definir días con similares condiciones meteorológicas, para buscar la relación entre el clima y la viticultura, concretamente con la fenología de la vid, en la región de Burdeos,

encontrando que la calidad de la cosecha y la producción se reducen, al aumentar la ocurrencia de condiciones frías con humedad, por retrasar la fenología y al aumentar los vientos con lluvias en floración. Tello et al. (2015) utilizan el ACP para identificar y evaluar los elementos estructurales de la morfología del racimo involucrados en la determinación de su compacidad, en la calidad de la uva, el estado sanitario del fruto, y la homogeneidad de la maduración del racimo. También la influencia de los factores climáticos y la proximidad al mar en la maduración de la uva es estudiado por Montes et al. (2012), empleando el ACP.

Tonietto y Carbonneau (2004) aplican el ACP para obtener grupos homogéneos de las 97 regiones vitícolas estudiadas a nivel mundial. Otros trabajos son realizados solo en determinados países o regiones, como los de Blanco-Ward et al. (2007) y Anderson et al. (2012), que emplean estas técnicas estadísticas para determinar la estructura climática vitícola del valle del río Miño y de regiones vitícolas en Nueva Zelanda, respectivamente.

Otro trabajo en zonas con gran extensión es el trabajo de Bois et al. (2012), donde emplean el análisis de agrupamientos reiteradamente para determinar, en algunas regiones vitícolas europeas, zonas homogéneas. Fernández Seoane (2006) utiliza el análisis de regresión múltiple combinado con el análisis de componentes principales para la zonificación bioclimática vitícola, como base para la selección de variedades de vid, logrando diferenciar la región vitícola de La Rioja en dos zonas donde predominan variedades diferentes.

Herrera et al. (2011) realizaron un estudio para delimitar y definir zonas homogéneas en el área vitícola de la denominación de origen Montepulciano d'Abruzzo, en Italia, obteniendo 3 componentes principales mediante la aplicación del ACP. En este estudio, la primera componente está formada por los índices HI, CI y la radiación solar incidente (ISR), la segunda componente está formada por variables topográficas, como son la elevación y la pendiente, y la tercera con un 5% de la pendiente y la ISR.

Respecto al número de índices vitícolas empleados, existe variabilidad entre ellos. Así, por ejemplo, en el trabajo que realizaron Ramos et al. (2008) utilizaron hasta 21 índices climáticos para definir los parámetros climáticos que afectan a la uva en el noreste de España, mientras que Blanco-Ward et al. (2007) utilizaron 9. Por otra parte, Tonietto y Carbonneau (2004) emplearon tres índices, mientras que Jones et al. (2010), Hall y Jones

(2010), y Anderson et al. (2012) caracterizaron la costa oeste de los EE. UU., Australia y Nueva Zelanda, respectivamente, con cuatro índices térmicos. Santos et al. (2012), realizaron un estudio donde uno de los objetivos fue identificar cambios temporales y espaciales en los siete índices bioclimáticos vitícolas empleados, para un periodo de 50 años en Europa.

Una consecuencia de estos estudios dispares en el uso de los índices es una falta de consonancia de los datos que describen la relación de la temperatura con la zona vitivinícola, por lo que se hace difícil la comparación entre ellos. Sin embargo, las clasificaciones más detalladas están basadas en unos pocos índices, lo que permite la comparación entre diferentes regiones vitivinícolas

### **1.1. *Objetivos***

En este capítulo se propone determinar, el número mínimo de índices bioclimáticos que hacen falta para explicar la variabilidad climática vitícola de España peninsular, de entre todos los índices bioclimáticos empleados en capítulos anteriores, con la condición de que expliquen más del 90% de la variabilidad encontrada.

También, con el fin de buscar similitudes entre las estaciones meteorológicas utilizadas, se definirán las componentes principales que permitan realizar agrupamientos homogéneos.

## **2. *Materiales y métodos***

---

Para llevar a cabo este estudio se utilizaron las 65 estaciones seleccionadas y homogeneizadas de apartados anteriores, procedentes de EC&CA (2014) y en las que se completaron los datos faltantes (González-Rouco et al., 2001). Los índices tratados han sido los empleados en la caracterización térmica, que son: el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento o (*Growing Season Temperature*, GST), la integral térmica efectiva durante el periodo de crecimiento o grados día de crecimiento (*Growing*

*Degree Day*, GDD), el índice heliotérmico de Huglin (*Huglin Index*, HI), el índice biológico de los grados día efectivos (*Biological Effective Dregree Day*, BEDD), y los utilizados según el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geovitícola (SCCMG) además del HI, el índice de frescor nocturno (*Cold Nigth Index*, CI) y el índice de sequía (*Dryness Index*, DI). Como ya se expuso en el apartado anterior, algunos de estos índices comparten variables climáticas y son complementarios unos de otros, es decir, tienen información redundante.

### **2.1. Análisis de componentes principales.**

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística de síntesis de información, o de reducción de la dimensión (número de variables), pero con la premisa de perder la menor cantidad de información posible.

Para determinar la correlación entre las variables a estudiar, se crea la matriz de correlaciones donde observar la posible redundancia entre ellas, es decir, si la correlación entre las variables analizadas es lo suficientemente grande como para justiciar la aplicación del ACP. Para saber si las variables originales están correlacionadas, a la matriz de correlaciones se aplica la prueba de esfericidad de Bartlett. Esta prueba contrasta la hipótesis nula consistente en que la matriz de correlaciones es una matriz identidad, con la hipótesis alternativa, que afirma que las variables están correlacionadas. En caso de aceptarse la hipótesis nula, no existirían correlaciones significativas entre las variables y por tanto el modelo factorial no sería pertinente (Bartlett, 1975).

Dentro del ACP, el primer factor o componente sería aquel que explica una mayor parte de la varianza total, el segundo componente sería aquel que explica la mayor parte de la varianza restante, es decir, de la que no explicaba el primero y así sucesivamente. De este modo, sería posible obtener tantas componentes como variables originales existan. Los nuevos componentes principales o factores serán una combinación lineal de las variables originales, que gozan de la ventaja de estar incorrelacionados.

Cuanto mayor sea la varianza de la componente, mayor será la información que lleva incorporada. Por esta razón se selecciona como primera componente aquella que tenga mayor varianza, siendo la última la de menor varianza.

Del mismo modo, se ha de comprobar la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) (Kaiser, 1974), para probar la validez de las muestras tomadas, contrastando si las correlaciones parciales entre las variables son suficientemente pequeñas. El estadístico KMO varía entre 0 y 1. Los valores menores de 0,5 indican que no debe realizarse el análisis factorial con los datos muestrales que se están analizando.

El gráfico de sedimentación propuesto por Cattell (1966), sirve para determinar el número óptimo de factores, y consiste en la representación gráfica del tamaño de los autovalores, ordenados de mayor a menor. Los autovalores expresan la cantidad de la varianza total que está explicada por cada factor y los porcentajes de varianza explicada asociados a cada factor se obtienen dividiendo su correspondiente autovalor por la suma de los autovalores (la cual coincide con el número de variables). Cuando un autovalor se aproxima a cero, significa que el factor correspondiente a ese autovalor es incapaz de explicar una cantidad relevante de la varianza total. Cuando el punto de inflexión de la pendiente representada cambia de forma significativa y está próximo a uno, indica el número de factores que deben de extraerse y desechar el resto.

Conseguir una interpretación clara mediante la utilización de los datos no es fácil. Por este motivo se realizan diversos procedimientos que posibilitan, a partir de una solución inicial, conseguir unos factores que puedan interpretarse de un modo más sencillo.

Uno de estos procedimientos es la *Rotación Factorial* que transforma la matriz factorial inicial en otra denominada *matriz factorial rotada*, más fácil de interpretar, que consiste en una combinación lineal de la primera y que explica la misma cantidad total de varianza. Los factores rotados tratan de que cada una de las variables originales tenga una correlación lo más próxima a la unidad con uno de los factores, y correlaciones próximas a cero con los restantes, consiguiendo así correlaciones altas con un grupo de variables y baja con el resto.

Para facilitar la interpretación de la solución factorial y realizar la representación gráfica de las saturaciones, se emplea el método de rotación de la solución factorial, en este caso de rotación ortogonal (Varimax) que minimiza el número de variables y simplifica la interpretación de los factores.

## 2.2. *Análisis de conglomerados.*

Para obtener un agrupamiento de las variables bioclimáticas (índices), se realiza el análisis de conglomerados, que es una técnica multivariante que permite agrupar los casos o variables de un archivo de datos en función del parecido o similitud existente entre ellos. En este caso se utiliza el análisis de conglomerados jerárquico, que es un método que parte del análisis de los casos individuales e intenta ir agrupando casos hasta llegar a la formación de grupos homogéneos. Esta técnica es óptima cuando el número de casos no es grande (Gaspar et al. 2007).

Existen dos tipos de análisis de conglomerados: el *análisis de conglomerados jerárquico* y el *análisis de conglomerados de K medias* (no jerárquico).

El método de clasificación *jerárquico* es idóneo para determinar el número óptimo de conglomerados existente en los datos y el contenido de los mismos, mientras que el método de las *K medias* permite procesar un número ilimitado de casos, pero solo permite utilizar un método de aglomeración y requiere que se proponga previamente el número de conglomerados que se desea obtener.

Ambos métodos de análisis son de tipo aglomerativo, en el sentido de que, partiendo del análisis de los casos individuales, intentan ir agrupando casos hasta llegar a la formación de grupos o conglomerados homogéneos.

En el método *jerárquico* se calcula, en primer lugar, la media de todas las variables en cada conglomerado. A continuación, se calcula la distancia entre cada caso y la media del conglomerado, sumando después las distancias entre todos los casos. Posteriormente se agrupan los conglomerados que generan menos aumentos en la suma de las distancias dentro de cada conglomerado (Vilá et al., 2014). Este procedimiento crea grupos homogéneos y con tamaños similares.

El análisis de conglomerados de *K medias* es un método de agrupación de casos (estaciones) en subgrupos en función de su similitud (climática), es decir, obtener grupos homogéneos con valores similares entre sí, pero diferente a los demás. La distancia euclídea al cuadrado entre variables estandarizadas es usada como medida de similitud entre estaciones de acuerdo con Wilks (2006).

El proceso se realiza seleccionando primero los  $K$  casos más distantes entre sí, donde debemos determinar cuál será el número  $K$  de conglomerados que se desea obtener y a continuación, cada dato es asignando al centro más próximo según son incorporados, actualizando el valor de los centros a medida que se van incorporando nuevos casos. Una vez que todos los casos han sido asignados a uno de los  $K$  conglomerados, se inicia un proceso iterativo para calcular los centroides finales de esos  $K$  conglomerados.

Los centros de los conglomerados finales son de gran utilidad para interpretar la constitución de los conglomerados pues resume los valores centrales de cada conglomerado en las variables de interés (Vilá et al., 2014).

### ***2.3. Análisis de la varianza (ANOVA).***

El análisis de varianza (ANOVA) de un factor se emplea para comparar varios grupos mediante una variable cuantitativa. Esta prueba es una generalización del contraste de igualdad de medias para dos muestras independientes. Se aplica para contrastar la igualdad de medias de poblaciones independientes y con distribución normal. Los contrastes llamados comparaciones múltiples post-hoc, o a posteriori, se han utilizado para saber qué media difiere de qué otra. Esas comparaciones permiten controlar la tasa de error al efectuar varios contrastes utilizando las mismas medias.

El estadístico de Levene permite contrastar la hipótesis de igualdad de varianzas poblacionales. Si el nivel crítico es menor o igual que 0,05, se debe rechazar la hipótesis de igualdad de varianzas (homogéneas). Si es mayor, se acepta la hipótesis de igualdad de varianzas. En el caso contrario de no encontrar varianzas homogéneas, el test T3 de Dunnett es el utilizado como prueba no paramétrica, que nos permite discriminar o diferenciar las medias (Dunnett, 1980). El estadístico F nos permite determinar el nivel de significación (sig.) intraclass, que cuando es menor o igual que 0,05 es rechazada la hipótesis de igualdad de medias. Si es mayor se acepta la igualdad de medias, es decir, no existen diferencias significativas entre los grupos.

En el presente trabajo, estos análisis se realizaron con el programa estadístico IBM SPSS 19.0 (Chicago, IL, USA).

### 3. Resultados y discusión

El resultado del análisis de las características de las 65 estaciones empleadas en el presente trabajo se ha descrito en apartados anteriores Capítulo I, en las Tablas 2 y 3, puesto que resultaría redundante el realizarlo de nuevo otra vez aquí, solo se expondrá en este apartado el análisis descriptivo de los valores medios de los índices, puesto que si bien han sido expuestos y comentados por separado en el Capítulo II y Capitulo III, ahora lo exponemos en una sola tabla, la Tabla 1 que muestra estos datos del análisis descriptivo.

**Tabla 1.** Estadísticos descriptivos de los índices climáticos, el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST, °C), índice de los grados día durante el periodo de crecimiento (GDD, °C día), índice de Huglin (HI, °C), índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD, °C día), índice de frescor nocturno (CI, °C), índice de sequía (DI, mm), de las estaciones meteorológicas para el periodo 1980 a 2010.

Índice	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Asimetría	CV %
GST	18,60	18,28	2,73	8,98	25,10	-0,73	-0,06	14,66
GDD	1840,53	1771,10	583,49	-219,00	3231,70	-0,73	-0,06	31,70
BEDD	1451,27	1460,60	318,54	-411,80	1926,00	2,86	-1,03	21,95
HI	2471,41	2447,90	615,76	229,20	3974,50	-0,66	-0,06	24,92
CI	14,57	14,60	3,43	4,30	22,80	-0,60	-0,13	23,57
DI	39,51	-52,00	107,93	-321,00	200,00	-0,32	0,42	-273,13

Se observa que la desviación típica es poco elevada para los índices GST, HI, BEDD y CI con valores de CV < 25%, manifestando, por lo tanto, cierta regularidad en los datos dentro de la zona de estudio. Los índices GDD y sobre todo DI, son una excepción puesto que presentan valores altos, en ambos casos. Esta irregularidad presentada en los datos de estos dos últimos índices, sugiere que puede existir una variabilidad climática entre regiones.

#### 3.1. Análisis de componentes principales (ACP).

La prueba para la adecuación muestral, mediante la medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), obtuvo un valor de 0,817, es decir, comprendido entre 0,80 y 0,90, que nos permite considerar buena la adecuación muestral (Kaiser, 1974). En la prueba del test de

esfericidad de Barlett se obtuvo un valor de 0,001, con un nivel de significación del 0,05, indicando que la matriz de correlaciones es diferente de la matriz identidad, asegurando que el modelo factorial es adecuado.

En la matriz de correlaciones entre las diferentes variables (Tabla 2) se observa que el valor absoluto de los coeficientes es alto, a excepción de los valores medios que presenta el DI con los demás índices, menos con el HI que obtiene un valor absoluto de 0,741, obteniendo así, su mayor correlación. Otro índice que presenta valores no tan altos es el índice CI con HI con un valor de 0,673.

El valor del determinante es de  $2,43 \times 10^{-12}$ , estando muy próximo a cero e indicando que hay variables con correlaciones muy altas, lo que indica que una o más variables podrían ser expresadas como combinación lineal de otras variables. Además, este valor del determinante de la matriz es distinto de uno, es decir, la matriz de correlaciones es distinta de la matriz identidad (Pérez, 2009). Las variables presentan factores comunes, es decir, que están muy correlacionadas entre sí, siendo oportuno realizar el ACP y, de este modo, obtener una adecuada diferenciación de las mismas.

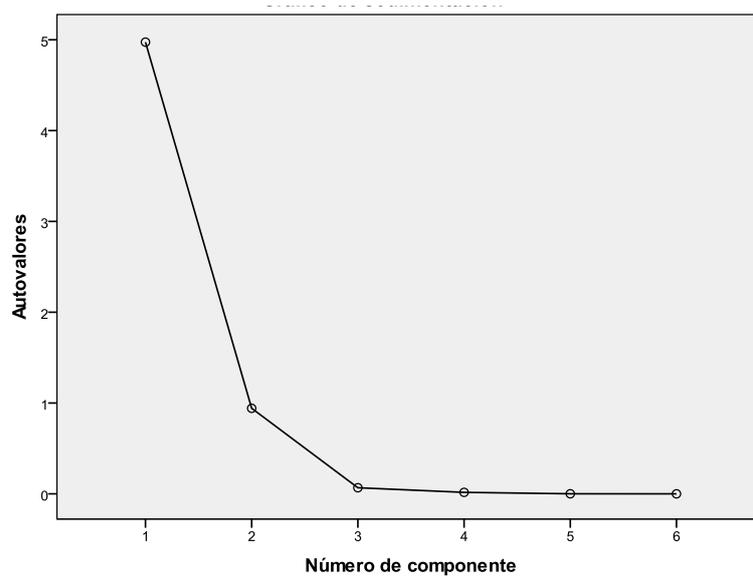
**Tabla 2.** Matriz de correlaciones para el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST, °C), el índice de los grados día durante el periodo de crecimiento (GDD, °C día), el índice de Huglin (HI, °C), el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD, °C día), el índice de frescor nocturno (CI, °C), y el índice de sequía (DI, mm), de las estaciones meteorológicas para el periodo 1980 a 2010.

	GST	GDD	BEDD	HI	CI	DI
GST	1,000	0,998	0,988	0,960	0,853	-0,570
GDD	0,998	1,000	0,988	0,960	0,853	-0,570
BEDD	0,988	0,988	1,000	0,946	0,847	-0,539
HI	0,960	0,960	0,946	1,000	0,673	-0,741
CI	0,853	0,853	0,847	0,673	1,000	-0,118
DI	-0,570	-0,570	-0,539	-0,741	-0,118	1,000

El valor de las comunialidades que se obtiene en el análisis factorial, para cada una de las variables originales, que expresa la proporción de varianza de la variable explicada por los factores o componentes, es muy alta para todas las variables. Son valores muy próximos a 1, variando desde 0,999 para GST y GDD hasta 0,972 para CI, indicando que

la variabilidad queda totalmente representada por todos los factores. Por ello, en principio, no se puede pensar en excluir ninguna de las variables del análisis.

En el gráfico de sedimentación de Cattell (1966) (Figura 1), el autovalor alcanza un valor cercano a la unidad para la componente o factor 2, siendo a partir de 3 donde coincide con el punto de inflexión, al cambiar la pendiente de forma significativa. Si un valor se aproxima a cero, esto significa que el factor correspondiente a ese autovalor es incapaz de explicar una cantidad relevante de la varianza total. Por tanto, un factor al que corresponde un autovalor próximo a cero se considera un factor residual y con muy poca aportación en el análisis. Esto ocurre en la componente o factor 3, indicando que sólo deben extraerse las dos primeras componentes y desechar las demás.



**Figura 1.** Gráfico de sedimentación de Cattell para las seis componentes estudiadas (índices). El punto de inflexión en la curva (número de componente o factor 3, con autovalor cercano a cero) indica el número de componentes a extraer, en este caso dos.

Las dos primeras componentes son las únicas que presentan autovalores superiores o cercanos a 1 (Tabla 3). La componente 1, con valor superior a 1, explica el 82,9% de la varianza total, y la componente 2 con un 15,7%, y valor próximo a 1, acumulan entre ambas un 98,6% de la varianza de los datos originales. Según se observa en la Tabla 3, las demás componentes aportan muy poco, siendo las dos primeras componentes principales

las que explican un valor próximo al 100%, por lo que el número de dimensiones necesarias para explicar los datos se reduce a dos.

La rotación de la solución original permite mejorar la interpretación de la estructura factorial, evitando así el efecto indeseable de que los primeros factores tienden a capitalizar la información de covariación contenida en la matriz de correlaciones, acumulando más información de la que posiblemente les corresponda, por lo que efectuando la rotación ortogonal, posiblemente se aclare un poco más la estructura de las variables.

**Tabla 3.** Autovalores, porcentaje de varianza explicada y suma de las saturaciones al cuadrado de la extracción, antes y después de la rotación, antes y después de la rotación.

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			Suma de las saturaciones al cuadrado de la rotación		
	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado
1	4,974	82,899	82,899	4,974	82,899	82,899	3,925	65,425	65,425
2	0,942	15,700	98,599	0,942	15,700	98,599	1,990	33,174	98,599
3	0,067	1,119	99,718						
4	0,016	0,272	99,990						
5	0,001	0,010	100,000						
6	7,681E-7	1,280E-	100,000						

Así, tras la rotación, se observa que hay un cambio significativo en los porcentajes de la varianza total explicada por cada factor, confirmando el éxito del proceso de rotación (Ho, 2006). Tras la rotación, el autovalor de la segunda componente es mayor que uno, obteniendo así una explicación de la varianza para la primera y segunda componente de 65,4 y 33,2 %, respectivamente (Tabla 3). En el trabajo que realizaron Tonietto y Carbonneau (2004), para las regiones vitivinícolas en todo el mundo, utilizando el ACP, las dos componentes extraídas explican un 94,3% de la variabilidad total de estudio. El 96,8% de la variabilidad es explicada también, por el peso de las dos componentes principales, en el trabajo que realizó Fernández (2006), empleando el ACP, en la zonificación bioclimática vitícola para seleccionar variedades de *Vitis vinífera*.

La Tabla 4 contiene las correlaciones (o saturaciones) entre las variables originales y cada uno de los factores. Esta solución factorial está compuesta por las dos componentes extraídas anteriormente, las cuales explican el 98,6% de la variabilidad de los datos.

El primer factor o componente CP estaría compuesto por las variables GST, GDD, BEDD, HI y CI (Tabla 4). Todas estas variables saturan en un único factor porque constituyen un grupo diferenciado de variables dentro de la matriz de correlaciones. Este factor (componente CP1) parece reflejar la dimensión “*térmica*” dentro de la caracterización climática vitícola. En ella se obtienen altas correlaciones positivas para las variables antes mencionadas.

El segundo factor CP2 recoge un grupo formado por una única variable, el *índice de sequía* o DI, con una correlación alta de forma inversa (negativa) y que es independiente de la dimensión “*térmica*”, puesto que prácticamente no satura en la componente primera.

Dos componentes principales son las que también Tonietto y Carbonneau (2004) obtienen en su estudio sobre las 97 regiones vitícolas del mundo, empleando en este caso solo los índices HI, CI y DI. En su caso, la componente térmica estaría compuesta por los dos primeros y la segunda, al igual que en el presente trabajo, por el índice de sequía o DI. Sotes et al. (2012) utilizó el ACP para diferenciar 12 grupos climáticos entre algunas de las regiones productoras de vinos en España, empleando los tres índices mencionados anteriormente.

Queijeiro et al. (2006), realizaron un estudio de zonificación climática para Galicia, empleando 14 variables entre parámetros e índices. Al aplicar el ACP, obtuvieron tres componentes principales con las que explicaron el 92,6% de la variabilidad de los datos. La primera componente agrupaba a las variables relacionadas con la precipitación y los índices que relacionan la precipitación con el sumatorio de temperaturas efectivas, la segunda agrupaba a los índices térmicos y la tercera a los índices relacionados con el frío, fundamentalmente el índice de frescor nocturno (CI) y el periodo medio libre de heladas. Una similitud se encuentra con el trabajo de Queijeiro et al. (2006), con la primera y segunda componente, existiendo diferencia con la tercera, la cual queda englobada en la segunda en el presente estudio.

Las dos técnicas de ACP y AC son empleadas también por Moral et al. (2015a) para analizar la idoneidad vitícola de Extremadura empleando índices climáticos. Dos

componentes son obtenidas también en dicho estudio, explicando un 96,6% de la variabilidad de los datos. La primera componente, denominada térmica, está formada por los índices GST, GDD, HI, BEDD, y DI. La segunda componente agrupa al índice de frescor nocturno, al igual que en el resultado de Quejeiro et al. (2006), para la amplitud térmica media de septiembre.

La correlación entre las dos componentes para las variables es lógica, puesto que a medida que aumentan los valores de las integrales térmicas, el balance hídrico (DI) es más negativo, representando zonas que a la vez que tienen mayor acumulación de calor presentan un valor más alto en el índice de sequía durante el periodo de vegetación de la vid.

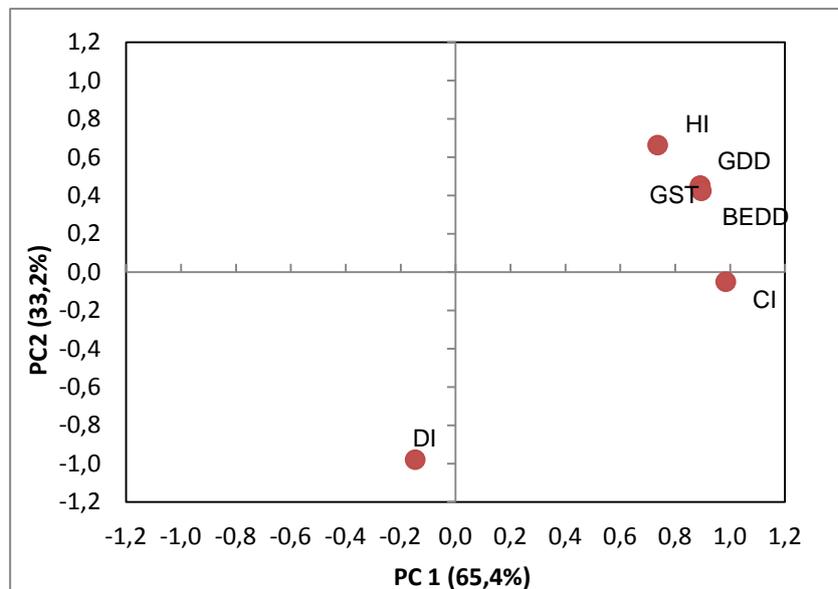
**Tabla 4.** Variables explicativas en las dos primeras componentes principales, indicando el valor para cada índice para cada factor. Índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST, °C), índice de los grados día durante el periodo de crecimiento (GDD, °C día), índice de Huglin (HI, °C), índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD, °C día), índice de frescor nocturno (CI, °C), y el índice de sequía (DI, mm).

Variable	Factor	
	CP1	CP2
GST	<b>0,892</b>	0,451
GDD	<b>0,891</b>	0,451
BEDD	<b>0,896</b>	0,425
HI	<b>0,737</b>	0,664
CI	<b>0,985</b>	-0,050
DI	-0,147	<b>-0,980</b>

El HI, es el índice de los que tienen en cuenta el periodo de crecimiento de la vid, que menos aporta a la componente térmica (Tabla4), pero por el contrario, es el que satura más en la segunda componente, o DI. La variable CI satura muy poco en la segunda componente, ocurriendo lo mismo con el DI pero en la CP1. Los otros cuatro índices tienen una correlación alta en la primera componente, denotando una saturación medio-baja en la segunda componente. Sin embargo CI (Tabla 4) el índice que alcanza una

mayor correlación en el CP1, con 0,985, y el que menos en la segunda componente, de los que forman la CP1, con un valor absoluto de 0,050.

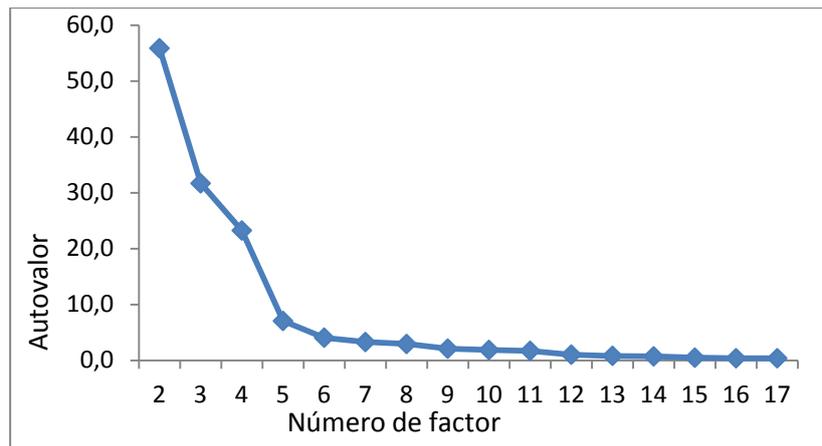
Como se comentó con anterioridad, la rotación de los ejes implica una variación de la saturación de cada variable para cada factor. Esa acción lleva a valorar la situación que muestra la Figura 2, donde las variables térmicas son positivas y están más cerca de la componente principal 1 (CP1), mostrándose agrupadas por la alta correlación que presentan. CI también queda muy definido por la CP1 (eje de abscisas), pero de forma negativa y muy cercana al eje. Por el contrario, DI queda claramente definido por la segunda componente principal (CP2) de forma negativa y también cercano al eje de ordenadas.



**Figura 2.** Representación gráfica rotada de los seis índices climáticos respecto a la primera y segunda componente principal.

### 3.2. Análisis de conglomerados

La Figura 3 representa el número de factores y su autovalor, en ella se aprecia que la pendiente de la curva, sufre el mayor cambio en su tendencia en el factor 6, pasando prácticamente a la horizontalidad, y es este factor, al primero que le corresponde un autovalor próximo a cero, indicando que es incapaz de explicar una cantidad relevante de la varianza total, por lo que se extraen 5 grupos.



**Figura 3.** Representación gráfica de la determinación del número de conglomerados. Indicando el número de factores y su autovalor. Se aprecia que el factor primero que obtiene un autovalor próximo a cero, es el factor 6, indicando que es incapaz de explicar una cantidad relevante de la varianza total, por lo que se deben extraerse 5 factores.

### 3.2.1. Clasificación no jerárquica, *K* medias

Como se muestra en la Tabla 5, el tamaño de los conglomerados es muy similar, siendo el agrupamiento 3 el que está formado por un número menor de estaciones.

**Tabla 5.** Número de estaciones o casos en cada conglomerado.

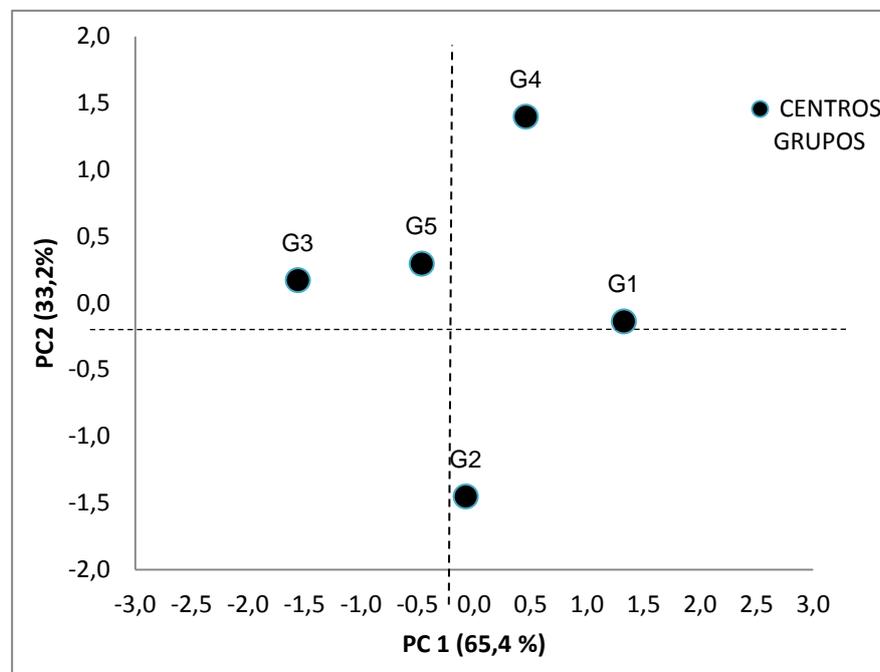
Conglomerado	Casos
1	14
2	14
3	10
4	11
5	16
Válido	65

Los centros de los conglomerados muestran valores diferentes para cada una de las dos componentes principales (Tabla 6). Así el conglomerado 3 se caracteriza por ser el que menos dista de la componente *térmica* y el conglomerado 2 es el que presenta el *índice de sequía* más negativo.

**Tabla 6.** Distancia de los centros de los conglomerados.

Componente	Conglomerado				
	1	2	3	4	5
CP 1 Térmica	1,32410	-0,07492	-1,56098	0,45642	-0,46489
CP 2 Índice de sequía	-0,13786	-1,45096	0,17138	1,39765	0,29517

La Figura 4 muestra los centroides de cada grupo climático, pudiéndose observar que los centroides de los grupos 1 a 4 quedan bien definidos, es decir, lo suficientemente separados como para establecer diferencias entre los grupos que representan. Por lo que quedarán más marcados por uno de los dos factores o componente principal. Así en el grupo G1, su centroide está definido por ser el más valor alcanza en la *componente térmica*, al contrario que el grupo G3. El grupo G4 y G2 quedan definidos por el *balance hídrico*, siendo positivo para el primero y negativo para el segundo. El centroide del grupo 5 queda en una posición central y cercana a ambos ejes, por lo que se necesitará para diferenciarlo de ambas componentes principales.



**Figura 4.** Representación gráfica de los centroides para los 5 grupos. El eje de abscisas representa la componente *térmica* y el eje de ordenadas la componente índice de sequía. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la variabilidad explicada por cada componente de la varianza total.

La distancia entre los centros de los conglomerados, indica lo cercanos que están unos de otros (Tabla 7), así el conglomerado 1 es el que más separado está del grupo 3, el conglomerado 2 es que más dista del 4 y el 5 obtiene una posición central pues dista un valor semejante entre los restantes.

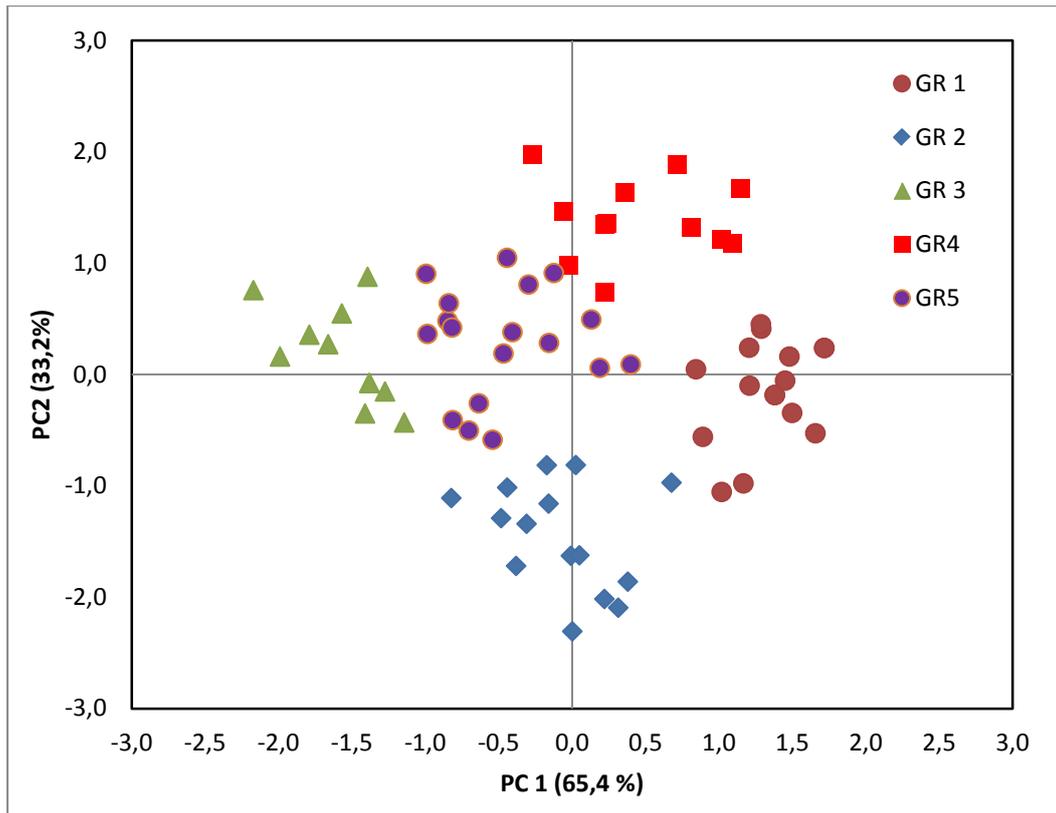
**Tabla 7.** Distancia entre los centros de los conglomerados finales para los 5 grupos.

Conglomerado	1	2	3	4	5
1		1,919	2,902	1,764	1,841
2	1,919		2,200	2,898	1,789
3	2,902	2,200		2,361	1,103
4	1,764	2,898	2,361		1,437
5	1,841	1,789	1,103	1,437	

Las estaciones meteorológicas agrupadas según las dos componentes principales, se muestran en la Figura 5. A continuación se describen los grupos según dichas componentes.

a) El grupo G1 está formado por 14 estaciones (21,5%). Se caracteriza por tener los valores más altos de la CP1 y, en consecuencia, la componente *térmica* más alta, es decir el grupo que obtiene los valores más altos, en conjunto, para los índices térmicos. Obtiene en la segunda componente valores similares a los grupos 3 y 5, pero superiores al grupo 4 e inferiores al grupo 2. Las estaciones meteorológicas situadas en el territorio peninsular español, pertenecientes a este grupo (Figura 6), están todas distribuidas próximas a la costa, concretamente en la del mar Mediterráneo.

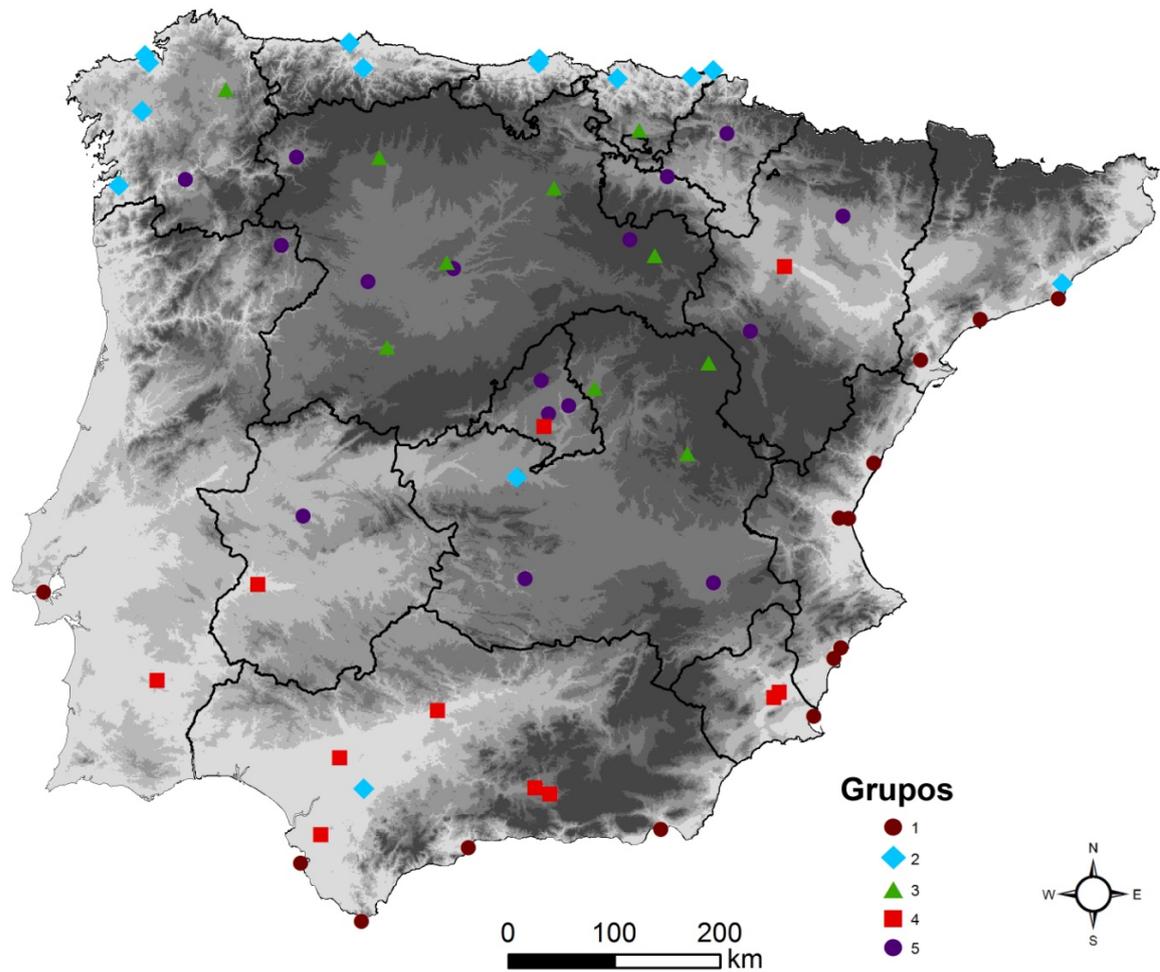
b) El Grupo 2 está formado por 14 estaciones (21,5%). Se caracteriza por tener una posición central en cuanto a la componente CP1 *térmica*, mostrando valores intermedios por los índices térmicos. Su posición sobre el eje de ordenadas la diferencia de los demás grupos, en la segunda componente o *índice de sequía*, al mostrar en unas condiciones hídricas más favorables. La gran mayoría de las estaciones están localizadas cercanas a la costa del mar Cantábrico y del océano Atlántico (Figura 6).



**Figura 5** Estaciones meteorológicas agrupadas según las componentes principales, según los 5 grupos resultantes. El eje de abscisas representa la componente *térmica* y el eje de ordenadas la componente índice de sequía. Entre paréntesis se indica el porcentaje de la variabilidad explicada por cada componente de la varianza total.

c) El Grupo 3 está formado por 10 estaciones (15,4%). Es el grupo más pequeño, caracterizándose por los valores más bajos para la CP1. Por consiguiente, es el grupo más fresco en cuanto a la *componente térmica*. Se sitúa respecto a la segunda componente, DI, con características hídricas medias. Las estaciones están localizadas (Figura 6) en la mitad norte de la península y cercanas a las grades cadenas montañosas.

d) El Grupo 4 está formado por 11 estaciones (16,9%). Los valores de la componente *térmica* no son tan altos como los del grupo 1, obteniendo unas condiciones térmicas intermedias. La componente que ejerce mayor influencia es el *índice de sequía*, con mayor déficit hídrico. Las estaciones están localizadas en el interior peninsular, generalmente en zonas de valles.



**Figura 6.** Mapa de la península ibérica donde están representadas las estaciones meteorológicas agrupadas por color para cada uno de los 5 grupos.

e) El Grupo 5 es el más numeroso, con 16 estaciones (24,6%), ocupando una posición central, mostrando condiciones térmicas e hídricas medias. Las localizaciones son todas en el interior peninsular (figura 6). Según las características que presenta para las dos componentes, este grupo se considerará como el más idóneo donde producir uvas de calidad.

### 3.3. Análisis de la varianza. Variables de las componentes principales.

El resultado del estadístico de Levene (Tabla 8) muestra que las variables GST, GDD, HI y BEDD no son homogéneas, por lo que a estas se les aplicará la prueba no paramétrica del test T3 de Dunnett, que permite discriminar o diferenciar las medias (Dunnett, 1980). El resto de variables (CI y DI) presentan varianzas homogéneas, por tanto la diferenciación de medias se realiza con el test de Tukey.

**Tabla 8.** Prueba de la homogeneidad de las varianzas con nivel de significación (sig.) al 0,05 intraclase para los índices: la temperatura media del periodo de crecimiento (GST), índice de los grados día durante el periodo de crecimiento, índice de Huglin (HI), grados día biológicamente efectivos (BEDD).

Índice	Estadístico	gl1	gl2	Sig.
GST	3,520	4	61	0,011
GDD	3,509	4	61	0,012
BEDD	2,550	4	61	0,047
HI	3,399	4	61	0,014
CI	0,818	4	61	0,518
DI	0,989	4	61	0,420

La componente principal térmica, por sí sola, no diferencia los 5 grupos, según el resultado que se muestra en la Tabla 9, puesto que entre las variables que lo forman solo llegan a diferenciar 4 grupos. Consecuentemente, es necesario emplear de manera conjunta la componente *índice de sequía* (DI) para diferenciar los 5 grupos.

**Tabla 9.** Valores medios de los índices de cada grupo y la significación estadística de las diferencias entre las medias.

GRUPO	GST	GDD	BEDD	HI	CI	DI
3	15,2 d	1114,1 d	1078,2 d	1851,7 d	9,8 d	-30,1 b
2	16,7 c	1426,9 c	1257,4 c	1883,8 d	14,3 bc	107,8 a
5	17,7 b	1646,9 b	1371,5 b	2334,8 c	13,0 c	-57,9 b
4	21,0 a	2354,7 a	1700,2 a	3159,2 a	15,5 b	-171,5 c
1	21,1 a	2379,4 a	1750,8 a	2907,9 b	18,4 a	-42,6 b

Con los índices CI y DI quedarían definidos los 5 grupos, puesto que el grupo 2 se diferenciaría del 4 y 5 por tener medias distintas para el DI. Esta opción conllevaría a basar la diferenciación de los cinco grupos sin utilizar ningún índice térmico en el que se tenga en cuenta el periodo de crecimiento de la vid, aspecto que es de gran interés, puesto que la vid responde a esa variable de forma directa, como es expuesto en el trabajo de Gladstones (2011) o en los trabajos ya comentados en el capítulo II. Aunque el CI es el índice que mas representatividad tiene en la primera componente y menos satura en la segunda.

Otra opción puede ser el empleo del HI, puesto que según Jones et al. (2010) es el índice, que por lo general se utiliza para hacer comparaciones entre regiones vitivinícolas de todo el mundo, debido a su capacidad de detectar la variabilidad climática en una región. También se podría utilizar el BEDD, puesto que según Anderson et al. (2012) es el índice climático más eficaz a la hora de diferenciar la variabilidad climática en las zonas cálidas.

Este índice BEDD, según lo comentado en el capítulo II, es el que mejor ha respondido a la variabilidad climática a la hora de caracterizar vitícolamente el territorio español, además es el índice, de los que tiene en cuenta el periodo de crecimiento de la vid, que más contribuye en la primera componente y el que menos satura en la segunda componente (Tabla 4).

## **4. Conclusiones**

---

Las zonas representadas por las estaciones meteorológicas, se han agrupado teniendo en cuenta las características de los seis índices vitícolas empleados, obteniéndose cinco grupos homogéneos que caracterizan vitícolamente España peninsular. Esto ha sido posible mediante la definición de dos componentes principales, uno térmico y otro hídrico.

El empleo bicomponente para poder definir la estructura del clima vitícola en el territorio peninsular español, pone de manifiesto la importancia del uso de índices térmicos en la caracterización vitícola (tratado en el capítulo II) y corrobora la importancia del recurso hídrico para la vid, haciendo necesario el empleo de un índice que valore dicho recurso (tratado en el capítulo III).

Con estos dos componentes se consigue explicar más el 98,6% de la variabilidad climática vitícola observada para el territorio de España peninsular. El índice de frescor nocturno (CI) es el que obtiene la mayor representatividad en el primer componente, el segundo componente está formado por el índice de sequía (DI).

Según se desprende del modelo propuesto en este capítulo, de los índices vitícolas térmicos empleados, los más idóneos para caracterizar y zonificar vitícolamente el territorio peninsular español son, GST, GDD, BEDD y CI, siendo el índice de Huglin (HI) el que menos representatividad obtiene.



## CAPITULO V

Estudio de la idoneidad climática  
vitícola en la España peninsular mediante la  
combinación del modelo de Rasch y técnicas  
geoestadísticas.



## **1. Introducción**

---

Las variaciones orográficas entre zonas que conforman un territorio, región o país, son de gran interés para la caracterización y zonificación del mismo, puesto que permite mediante el uso de variables bioclimáticas y la aplicación de análisis estadísticos, realizar estudios y elaborar modelos matemáticos explicativos de las variaciones debidas a esos cambios orográficos. Este proceso se hace imprescindible en estudios para caracterizar y zonificar un territorio, si tenemos en cuenta la idoneidad de éste para el desarrollo de un cultivo y la calidad de sus producciones, en nuestro caso el cultivo de la vid o la práctica de la vitivinicultura.

Cuando en el estudio de caracterización es necesario realizar una zonificación del territorio, el empleo de técnicas de interpolación geoestadística se hace indispensable, siendo los sistemas de información geográficas (SIG) la herramienta más empleada para la demarcación de áreas geográficas homogéneas. Las variables más empleadas en la caracterización y zonificación de áreas para la idoneidad de cultivos son las variables climáticas y bioclimáticas junto con las edáficas (Morales et al. 2006). El alcance del estudio puede ser tanto a nivel mundial como local, desarrollándose para ello diversos métodos de clasificaciones climáticas. Estas clasificaciones varían en función de los métodos utilizados para realizar la zonificación, las escalas cartográficas y el uso de la tecnología disponible en la época en que se generaron. El avance en los sistemas de Información Geográfica (SIG), ha permitido mayor grado de precisión en los estudios (Tonietto, 2005). Entre ellas, se conoce las realizadas en Francia para el cultivo de la vid (Tonietto y Carbonneau, 2002), las realizadas en Alemania en condiciones microclimáticas (Ihl, 1991), la primera realizada en Chile por Matus et al. (2005), o el estudio realizado por Fraga et al. (2014) en el que realiza un análisis integral del clima, suelo y topografía de las regiones vitícolas de la península ibérica.

El empleo de los recursos o herramientas estadísticas se hace indispensable para poder comprobar cómo se pueden combinar distintas variables, explicar el comportamiento observado y dar una visión conjunta de la realidad, integradora de los diferentes aspectos que determinan una cualidad determinada. Esto se consigue mediante el análisis estadístico, que en el caso de intervenir un conjunto de variables, es llamado análisis

multivariante. La mejor forma de representar ese comportamiento observado es mediante la elaboración de modelos. Estos explican unas variables a partir de otras o identifican variables latentes para resumir la información.

El análisis estadístico multivariante es utilizado como un sistema integrado para estimar los efectos individuales de las variables climáticas. Varios modelos se usan para desarrollar estas técnicas multivariantes, ya sean descriptivos o de interdependencia como por ejemplo el análisis de componentes principales (ACP) y el análisis factorial, o explicativos, denominado también de dependencia, como el análisis de regresión múltiple y el de varianza. Algunos ejemplos que ponen de manifiesto estos efectos en condiciones agrícolas son los estudios de: Resco et al. (2015), emplean el análisis multivariante para explorar las opciones de adaptación en el cambio climático de las regiones vitícolas de España. Montes et al. (2012), utilizan el análisis de componentes principales para determinar la influencia de los factores climáticos, y la proximidad al mar en la maduración de la uva, y los trabajos de Bois et al. (2012), utilizan el análisis de agrupamientos reiteradamente para determinar en zonas homogéneas en los viñedos de Europa. Además se tienen los estudios de Blanco-Ward et al. (2007) y Anderson et al. (2012), los cuales emplean el ACP y de clúster para determinar la estructura climática vitícola, del valle del río Miño y de regiones vitícolas en Nueva Zelanda respectivamente. Fernández Seoane (2006), utiliza el análisis de regresión múltiple combinado con el análisis de componentes principales, para la zonificación bioclimática vitícola, como base para la selección de variedades de vinífera.

Por otra parte, la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI), se desarrolló para dar respuesta a algunos de los problemas que planteaba la Teoría Clásica de los test (TC), en los estudios de la psicometría, trata de medir rasgos latentes (parámetro individual responsable de las características del sujeto) a través de una serie de modelos matemáticos. Como modelo de variables latentes, forma parte de los análisis de datos multivariante. En general, los modelos de variables latentes son modelos de regresión multivariantes que enlazan una variable respuesta con otra no observada (Rizopoulos, 2006).

Los principios de esta teoría se encuentran en Georg Rasch (1901-1980). Hace más de 50 años, Georg Rasch contribuyó a la fundación del campo de la Teoría de Respuesta al Ítem (TRI) con el modelo que lleva su nombre, caracterizada por el uso de un solo parámetro para modelar la relación entre la dificultad del ítem y la habilidad de una persona (Rasch,

1960, 1977, 1980). Esta aportación al modelo de la TRI supuso por primera vez poder separar la relación entre la respuesta y la cualidad de las personas que respondían y poder medirlo de una forma probabilística mediante una variable latente o constructo de forma lineal. La propuesta modelizada se puede aplicar para analizar la interrelación de las muestras con los ítems y de los ítems con las muestras, pudiendo conformar una línea de medición al posicionar los distintos elementos jerárquicamente de acuerdo con su importancia respecto a la influencia sobre la variable latente.

Este potente modelo matemático logístico y probabilístico de Rasch (1960) se ha empleado como variante de la TRI, y ha sido ampliamente empleado con éxito en educación, psicología, psicometría (Prieto y Delgado, 2003; Madi y Clinton, 2015) y últimamente en otros campos como el turístico (Ravelo et al., 2006), desarrollo social (Simmons et al., 2010), sanitario (Lambert et al., 2015) y alimentario (Álvarez et al., 1997). Más recientes son los trabajos realizados por Moral et al. (2012, 2014b), donde aplica este método a la medida de parámetros de calidad en el medio ambiente urbano, en estos trabajos combina el método de Rasch con algoritmos geoestadísticos para modelizar aéreas urbanas con niveles de ozono similares.

Las aportaciones de este método logístico potente pero a su vez sencillo, en el campo de la agronomía son también recientes y novedosas, su innovación radica en que permite determinar la probabilidad sobre la variable latente o constructo de las muestras con independencia de los ítems empleados, aspecto a tener muy en cuenta cuando se utilizan parámetros o variables que inciden repetitivamente sobre los ítems, como pueden ser las variables climatológicas sobre los índices de desarrollo y producción de las plantas cultivadas en agricultura. En las aportaciones de Rebollo y Álvarez (2009, 2010) muestran como el método de Rasch es utilizado para medir la idoneidad de desarrollo de plantas ornamentales arbóreas en parques de zonas urbanas y también la diversidad de estas especies en diferentes parques, permitiendo al mismo tiempo, sobre la variable latente, jerarquizar y discriminar las muestras de los ítems. En el trabajo de Moral et al. (2014c) el método de Rasch es empleado para evaluar el impacto de diferentes factores en el agrosistema de la dehesa, concluyendo que es una herramienta fundamental para comprender mejor las relaciones entre los factores que ejercen una influencia importante en este ecosistema de la dehesa, ayudando a identificar las amenazas más probables y

ofrecer una ayuda en el mantenimiento de este agrosistema y ser más respetuoso con el medio ambiente.

En los trabajos de Moral et al. (2010, 2011, 2012) se aplica el método de Rasch para determinar la variable latente “fertilidad potencial del suelo”. Verifica que todos los parámetros del suelo estudiados tienen una marcada influencia sobre la fertilidad, pero una vez categorizados y aplicada la metodología de Rasch, obtuvo que la conductividad eléctrica es la propiedad que más influye en la “fertilidad potencial del suelo”, obteniéndose además un ranking de las muestras en función de su fertilidad potencial. Además se completó este resultado con técnicas geoestadísticas (krigeado ordinario) permitiendo generar mapas para la fertilidad potencial del suelo en zonas homogéneas.

Marques da Silva et al. (2012) utiliza por primera vez una metodología probabilística para definir áreas de cultivo donde la probabilidad de obtener mayor potencial de rendimiento puede ser alta o baja. Para ello realizan un estudio para evaluar la posible aplicación del modelo de Rasch, en la interpretación de la producción espacial y la variabilidad temporal en la zona cultivada, durante varios años. El conjunto de datos heterogéneos de rendimiento del cultivo de maíz en varias campañas, fueron tenidos en cuenta para la aplicación de la metodología de Rasch, con el fin de encontrar la cosecha y las localizaciones que presentan comportamientos distintos con respecto a la pauta general y analizando los motivos de esas posibles anomalías. En este trabajo se utilizó, por primera vez, el método de Rasch para elaborar mapas de probabilidad del potencial de rendimiento e identificar los rendimientos anuales y las muestras que presentan comportamientos diferentes en cuanto al potencial de rendimiento.

Moral et al. (2015) utilizaron por primera vez el método de Rasch para estimar la idoneidad climática vitícola en una región, lo que permite determinar racionalmente aquellos lugares donde existe un alto potencial vitícola y establecer un ranking de los índices climáticos utilizados según la influencia que ejercen sobre la idoneidad vitícola en esa región. Además, a partir de las medidas de idoneidad climática de los puntos muestrales, pudieron estimar esta en el resto de la zona de estudio utilizando un algoritmo geoestadístico, estas estimaciones fueron utilizadas por los autores para asignar zonas climáticas vitícolas y determinar la idoneidad para la producción de uva de calidad en la región de Extremadura.

Estos trabajos muestran como el modelo de Rasch es empleado de una forma novedosa en el ámbito agrícola, constituyendo una nueva metodología de gran aplicación práctica.

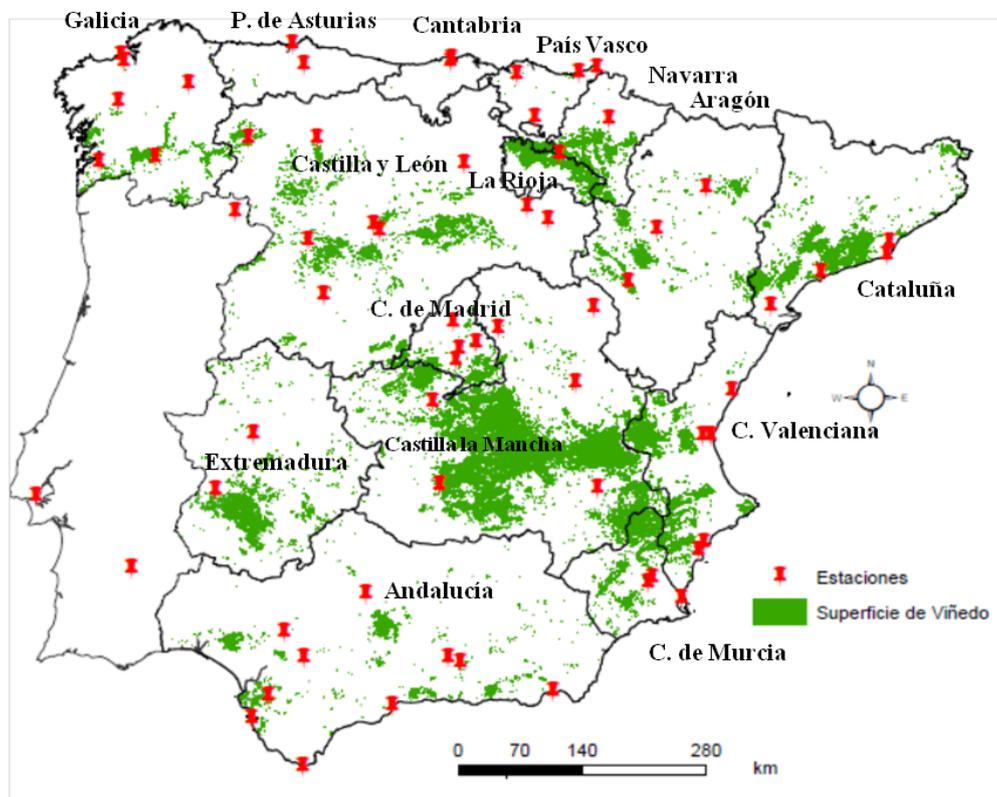
### **1.1. Objetivos**

El objetivo principal de este capítulo es la caracterización y zonificación del territorio peninsular español, según su idoneidad climática para el cultivo de la vid. Para ello se aplicará una metodología novedosa basada en la combinación de un modelo probabilístico objetivo (Rasch) con técnicas geoestadísticas. Esta aplicación permitirá determinar qué estaciones son las que mejor satisfacen las condiciones de los índices y qué zonas del territorio son las más idóneas para el cultivo del viñedo teniendo en cuenta todos los índices. También permitirá conocer qué índices son los que obtienen mayor influencia sobre la nueva variable latente, que en este caso, es la idoneidad vitícola en el territorio peninsular español. Además, a partir de los valores de los puntos muestrales (estaciones meteorológicas), se podrá estimar la medida en el resto de la zona de estudio utilizando un algoritmo geoestadístico. Estas estimaciones serán utilizadas para zonificar el territorio peninsular español en zonas homogéneas según su idoneidad vitícola.

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Área de estudio y datos climáticos

En este trabajo se ha considerado el territorio de España peninsular, dividido en las 15 comunidades autónomas, y se ha representado la superficie de viñedo localizadas en cada una de ellas (Sistema de Información de Ocupación del Suelo en España, SIOSE 2011). También se han utilizado las 65 estaciones meteorológicas georeferenciadas de la Península Ibérica (Figura 1), de las que se han obtenido las variables meteorológicas procedentes de *European Climate Assessment & Dataset* (ECA&D 2014). Por lo tanto, el tratamiento y el completado de datos ha sido el mismo, que se describe en el Capítulo I, donde se ha conseguido realizar una base de datos con las variables meteorológicas de las 65 estaciones, homogénea, fiable y de calidad para el periodo comprendido entre los años 1980 a 2010.



**Figura 1.** Área de estudio de la península ibérica. Se indican los límites de las diferentes comunidades autónomas y las localizaciones de las estaciones climatológicas seleccionadas.

## **2.2. Índices climáticos**

Este estudio se basa en los índices utilizados en capítulos anteriores (II y III) que comprenden los 5 térmicos, es decir el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST), el índice de los grados días en el periodo de crecimiento (GDD), el índice de Huglin (HI), el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD) y el índice de frescor nocturno (CI) y uno hídrico, el índice de sequia (DI). Las características, clasificación y cálculo de estos seis índices han sido tratadas en capítulos anteriores, resultaría redundante comentaros otra vez aquí, por lo que esta información se obviará ya que puede obtenerse en los Capítulos II y III. Para obtener la información con los valores de cada índice en cada estación, mes, período y año se elaboró una hoja de cálculo para obtener los datos.

## **2.3. Categorización de los datos**

La primera etapa para lograr una caracterización adimensional (Tristán, 2011) es la clasificación de los datos, estos son los valores obtenidos por las medidas de los índices climáticos, para cada estación. Estos datos tienen diferentes unidades, puesto que cada índice tiene sus clases y sus unidades correspondientes, por lo tanto para poderlos someter al análisis de Rasch, es necesario que tengan las mismas unidades, por lo tanto, se hace necesario la adecuación previa de las clases de los índices y la unificación de las unidades de estos. Para conseguir expresar esto de una manera uniforme, en una misma escala e iguales unidades es necesario categorizar los valores originarios obtenidos (Wright y Masters, 1982), en este caso es la media obtenida para estación e índice.

Puesto que en las clasificaciones de cada índice unas categorías son más idóneas que otras para la aptitud o idoneidad climática del viñedo, se ha procedido a categorizar cada una de las clases de cada índice en función de los valores comprendidos para cada clase. El criterio para esta categorización está basado en los trabajos de Tonietto (1999), Tonietto y Carbonneau (1998, 2004) y Tonietto et al. (2012), para el índice de frío nocturno (CI) y el índice de sequia (DI) empleados en el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio (SCCM). Para el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento (GST) se han tenido en cuenta los trabajos realizados por Jones (2006), Jones et al. (2005) y Hall y

Jones (2009). La categorización para el índice de los grados día en el periodo de crecimiento (GDD) se ha tenido en cuenta el trabajo de Winkler et al. (1974) con las modificaciones de Jones (2010). Para el índice de Huglin (HI) ha servido de base en la categorización el estudio de Huglin (1978) y el trabajo de Jones et al. (2010). Para finalizar, el índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD) fue categorizado teniendo en cuenta los trabajos iniciales de Gladstones (1992), que dio lugar al desarrollo de este índice y las clases propuestas en el trabajo realizado por Jones et al. (2010).

La categorización se realizó con los valores de 0 a 3, siendo el 0 el de menor valor y 3 el de mayor. Se obtiene el valor 0 cuando los valores del intervalo del índice correspondiente son menos indicados para la idoneidad climática vitícola, producido cuando las categorías de los índices expresan: la temperatura media en el periodo de crecimiento, los grados día para el buen desarrollo de la vid, la temperatura nocturna en el periodo de maduración o el déficit hídrico no es el más apropiado para producir uvas de calidad, por el contrario el valor 3 es obtenido por aquellas clases de los índices cuando cumplen con los valores que son los más apropiados para el desarrollo del viñedo teniendo en cuenta la temperatura media o el acúmulo de calor en el periodo de crecimiento, el déficit hídrico es óptimo o la temperatura nocturna durante el periodo de maduración es favorable para producir uvas de calidad. Por lo tanto una medida asignada a la categoría 0 indica la menor contribución al potencial de idoneidad climática para la viticultura y por contra, una medida asignada a la categoría 3 indica la más alta contribución al potencial de idoneidad climática para la viticultura.

#### **2.4. Modelo de Rasch**

El modelo de Rasch (1960) está basado en la relación matemática de la interacción de una muestra con un ítem. El modelo es uniparamétrico, lo que implica que solo mide un único parámetro (en este caso, idoneidad potencial climática vitícola) en la escala de medición conjunta de muestras (estaciones meteorológicas) e ítems (índices vitícolas). La caracterización del parámetro a medir (variable latente o constructo) vendrá determinada por el comportamiento que tengan las muestras respecto a los distintos ítems.

El modelo de Rasch, al igual que otros modelos enmarcados en la Teoría de Respuesta al Ítem parten de una serie de hipótesis referentes a los datos que se utilizan en la medición de la variable latente: monotonicidad, independencia local y unidimensionalidad.

La monotonicidad en la variable latente establece que la probabilidad de dar respuesta correcta a un ítem es una función no decreciente de la variable latente. O lo que es lo mismo, cuanto más elevada es la posición de una muestra en la variable latente (Figura 4) mayor es la probabilidad de satisfacer correctamente a los ítems (Tristán, 2001).

Los datos deben tener también independencia local, dado que considerando una muestra con una determinada capacidad de respuesta, la probabilidad de satisfacer a un ítem cualquiera es independiente del resto de ítems que se utilicen.

Así mismo, deben tener la característica de la unidimensionalidad (Tristán, 2001), entendida como que existe un factor único que explica la respuesta de las muestras a los ítems, una única dimensión o variable latente (idoneidad climática vitícola) que se pretende cuantificar a partir de las respuestas a los ítems. Es realmente complicado que solamente un factor sea el causante de las respuestas, por lo que se pueden dar también modelos multidimensionales, en los que son necesarias varias dimensiones para explicar las respuestas de los individuos (Badenes 2009).

Estas dos últimas características están relacionadas ya que si se fija una variable latente determinada y los ítems están relacionados, será porque se cuenta con varias dimensiones latentes en común. Así, cuando exista independencia local, existirá también la unidimensionalidad. Sin embargo, puede ocurrir que el modelo sea multidimensional y aún así presente independencia local (Badenes 2009).

La intención del modelo, en este caso, es valorar la influencia sobre la variable latente que sintetiza el potencial de idoneidad para el cultivo del viñedo, que ejercen un conjunto de índices vitícolas obtenidos a partir de los datos de las estaciones repartidas por España peninsular.

Una característica del modelo de Rasch es que transforma los datos obtenidos directamente en el campo de estudio en unidades posicionadas sobre la línea que define teóricamente el constructo o variable latente. Esta variable está conformada por el conjunto de medidas que están relacionadas con la variable a estudiar mediante su rasgo

latente. Se tiene que unidades absolutamente independientes son clasificadas en una escala de calificación uniforme cuya unidad de medida es el logit<sup>1</sup>, de uso común en todas las mediciones de Rasch.

La importancia de las medidas mencionadas se deriva de su relación con la incidencia probabilística que ejercen sobre el constructo. De esta manera, ítems totalmente independientes, estarán relacionados en función de su influencia sobre la variable latente (idoneidad climática para la viticultura), quedando así ordenados jerárquicamente en función de la probabilidad que tienen de intervenir en el constructo cuando se interrelacionan con las distintas muestras (estaciones meteorológicas). Esta relación probabilística tiene una convergencia empírica sobre la estructura de la variable latente, que es unidimensional. De esta manera, algo que no estaba relacionado sino solo de manera hipotética, ahora aparece clasificado y relacionado de una manera ordinal.

Como define Tristán (2001), se establece la probabilidad de respuesta ante un estímulo dado en términos de diferencia entre la medida del ítem y el rasgo de la muestra, no midiendo esta directamente sino a través de su capacidad (rasgo latente) para satisfacer un determinado atributo. Por lo anterior, su medida no corresponde a un valor exacto sino a una probabilidad de respuesta, de ahí que el modelo sea estocástico, y por tanto, no determinista.

Este modelo, de variable latente, se fundamenta en la modelación matemática del comportamiento resultante de la interacción de un sujeto con su ítem (Tristán, 2001). Es un modelo uniparamétrico, es decir, un solo parámetro de medición, que corresponde con una sola dimensión relativa a una única escala para medir tanto la clasificación de las estaciones meteorológicas como la de los índices vitícolas.

Mediante los algoritmos matemáticos que a continuación se exponen, magnitudes escalarmente independientes se relacionan en una clasificación de mayor a menor, apareciendo ordenados los ítems y las muestras en función de su interacción.

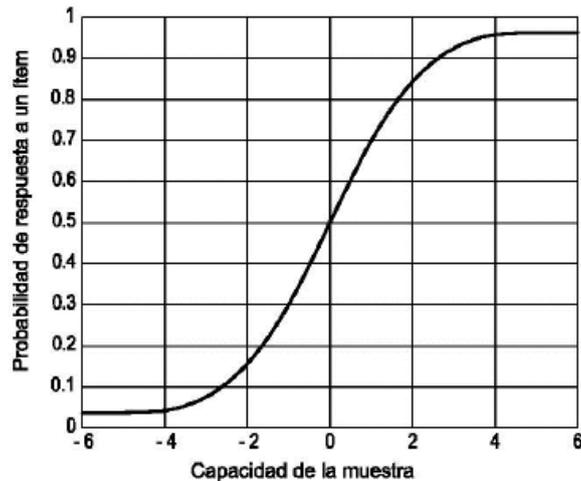
---

<sup>1</sup> Logit: unidad de medida usada en el modelo de Rasch para la calibración de los ítems y la medida de las personas. Se trata de una transformación del logaritmo natural del momio de la probabilidad de una respuesta correcta. Tristán (2001), definiendo esta unidad de medida, dice “logito es una traducción libre de la unidad de medida definida en inglés por “*Logit*”. La palabra “*logit*” es una forma abreviada de “*log odd ratio unit*”, que se traduce por unidades en logaritmo natural del momio”.

La probabilidad de un resultado positivo al encontrarse una muestra,  $\beta_n$ , bajo la influencia de un ítem o propiedad,  $\delta_i$ , viene dada para todas las  $\beta_n$  y  $\delta_i$  por la siguiente expresión:

$$\Pr \{X_{ni} = 1 \mid \beta_n, \delta_i\} = \frac{e^{(\beta_n - \delta_i)}}{1 + e^{(\beta_n - \delta_i)}}$$

Dicha probabilidad responde a la representación gráfica mostrada en la Figura 2.



**Figura 2.** Curva de probabilidad de que una muestra alcance a un determinado ítem.

De lo anterior se deduce que:

$$\begin{aligned} \text{Si } (\beta_n - \delta_i) > 0 & \longrightarrow \Pr \{X_{ni} = 1\} > 0.5 \\ \text{Si } (\beta_n - \delta_i) < 0 & \longrightarrow \Pr \{X_{ni} = 1\} < 0.5 \\ \text{Si } (\beta_n - \delta_i) = 0 & \longrightarrow \Pr \{X_{ni} = 1\} = 0.5 \end{aligned}$$

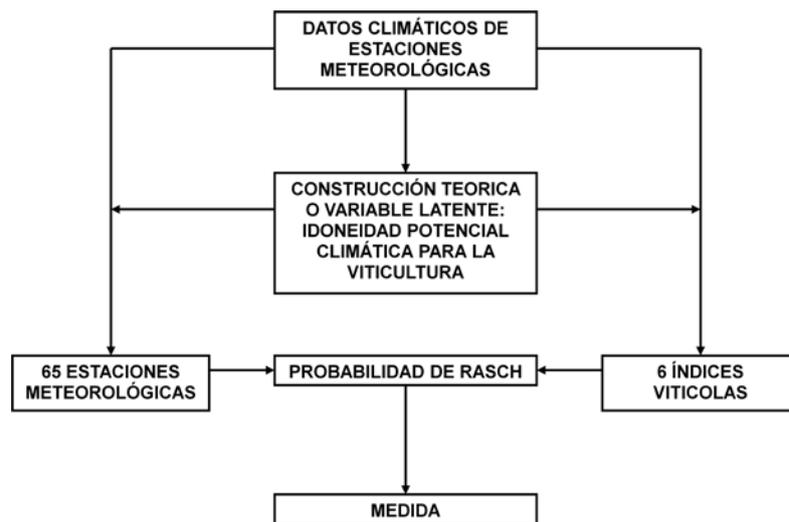
La probabilidad que  $X_{ni} = 0$ , es decir, cuando una muestra no alcance a un determinado ítem será:

$$\Pr \{X_{ni} = 0 \mid \beta_n, \delta_i\} = 1 - P \{X_{ni} = 1 \mid \beta_n, \delta_i\} = 1 - \frac{e^{(\beta_n - \delta_i)}}{1 + e^{(\beta_n - \delta_i)}} = \frac{1}{1 + e^{(\beta_n - \delta_i)}}$$

Debe apreciarse que no adquieren relevancia los valores individuales de las muestras,  $\beta_n$ , y de los ítems,  $\delta_i$ , sino la diferencia entre ellos que es la medida (el logit) en una escala común. Esto implica que valores diferentes de  $\beta_n$  y  $\delta_i$ , si la diferencia entre ellos es la misma, haga que la probabilidad de alcanzar a un determinado ítem sea idéntica.

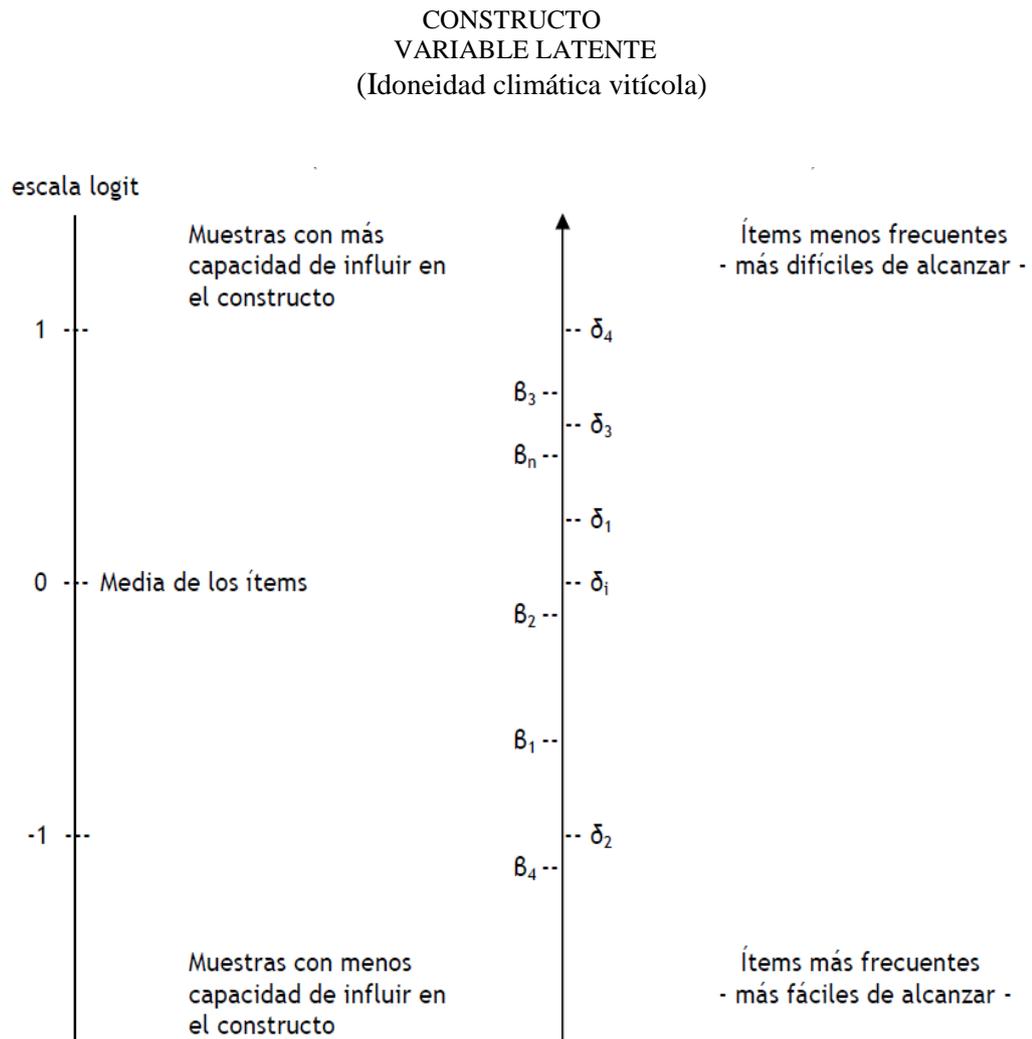
Rasch (1960) propone que un ítem eficaz debe ser alcanzado por una muestra que posea características suficientes para satisfacerlo, o inversamente, no debe ser alcanzado por aquellas muestras que no posean la competencia requerida. Con estas condiciones se procederá a determinar el nivel de dificultad de los ítems y las competencias de las muestras, con una medida que se aplicará a las muestras  $\beta_n$  y los ítems  $\delta_i$ .

En la Figura 3 se muestra el mapa conceptual del procedimiento seguido para realizar el análisis de datos.



**Figura 3.** Mapa conceptual de la medida de Rasch. Pasos secuenciales del fundamento teórico desarrollado para la aplicación de Rasch a la medida de la idoneidad climática vitícola.

La posición de varias muestras clasificadas por su cumplimiento con distintas propiedades y, por tanto, con la necesidad de mantenimiento que provocan, indicarán su importancia relativa en el constructo. Así observando la Figura 4, se deduce que la muestra  $\beta_2$  presenta menos potencial de idoneidad climática vitícola que la  $\beta_3$ . Así mismo,  $\delta_2$  es el ítem que aparece con más frecuencia y, por tanto, es el que más influye en la idoneidad climática vitícola;  $\delta_4$  es el que menos influye, es decir, el más difícil o el más raro; en definitiva, es el menos (solicitado). La dificultad estriba en que es muy difícil determinar con un mismo patrón cómo interactúan las distintas estaciones meteorológicas con los diferentes índices vitícolas, para poder determinar, de manera objetiva la necesidad de idoneidad potencial climática vitícola en las estaciones meteorológicas.



**Figura 4.** Distribución de muestras e ítems a lo largo de la línea que representa la variable latente.

El análisis de acuerdo al modelo de Rasch identifica aquellos ítems que no han sido alcanzados por muestras que deberían hacerlo y también se identifican a los ítems que fueron alcanzados por muestras que no tienen capacidad suficiente para satisfacerlos.

La realización de todos los cálculos que supone el análisis de los datos mediante el modelo de Rasch se ha efectuado mediante el programa informático denominado comercialmente Winsteps v.3.75 (Linacre, 2012)

## **2.5. Interpolación geoestadística.**

La geoestadística designa a un conjunto de herramientas y técnicas que sirven para analizar y predecir los valores de una variable que se muestra distribuida en el espacio, o en el tiempo, de una forma continua.

Aunque existen muchos algoritmos para estimar las ubicaciones no muestreadas, es ampliamente reconocido que los métodos geoestadísticos tienen algunas ventajas importantes (por ejemplo, Goovaerts 1997). Las técnicas geoestadísticas utilizadas para la interpolación tienen en cuenta la variación espacial de cualquier variable continua, en este caso de estudio la idoneidad climática para la viticultura. Esta variación se describe por una superficie estocástica, lo que significa que la variable considerada se distribuye de forma continua (variable regionalizada), teniendo como resultado una serie de valores de acuerdo con alguna distribución de probabilidad dentro del área de estudio.

La correlación espacial de la variable en un estudio geoestadístico generalmente se cuantifica mediante semivariogramas, o simplemente variogramas (Isaaks y Srivastava, 1989). Mediante el variograma se resume la información que se puede obtener de una variable en un punto, a partir del conocimiento de una serie de valores en las proximidades de dicho punto. Las variaciones espaciales correlacionadas que se tratan en el variograma, muestran información para optimizar los pesos y elegir unos radios precisos de búsqueda de datos. Ello permite que el método del krigado, tenga en cuenta la variabilidad espacial de la propiedad o fenómeno objeto de estudio.

La herramienta base para la estimación del variograma es el denominado variograma experimental, constituido a partir de los datos muestrales, el cual debe ajustarse a un modelo adecuado que se integre en el krigado. Dicho ajuste no se realiza en base a una metodología definida, dejando un margen extenso de maniobra a la experiencia del usuario y a unas decisiones subjetivas del mismo.

El variograma experimental se estima de la siguiente manera:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$$

donde  $\gamma(h)$  es el valor de la semivarianza experimental en la distancia de intervalo  $h$ ,  $Z(x_i)$  son los valores de las muestras medidos en los puntos de muestreo  $x_i$ , en los que hay datos  $x_i$  y  $x_i+h$ ;  $N(h)$  es el número total de pares de muestras separados por una distancia  $h$ .

Para obtener estimaciones de los valores de la variable estudiada en las ubicaciones no muestreadas, teniendo en cuenta la distribución espacial de los puntos de muestreo, la geoestadística ofrece una gran variedad de métodos, conocidos como kriging. Estos métodos geoestadísticos de interpolación, intentan optimizar la interpolación mediante la división de la variación espacial.

Todos los estimadores geoestadísticos son variantes del estimador de regresión lineal  $Z^*(x)$ :

$$Z^*(x) - m(x) = \sum_{i=1}^n w_i(x) \cdot [Z(x_i) - m(x_i)]$$

donde cada dato,  $Z(x_i)$ , tiene un peso asociado,  $w_i(x)$ ,  $m(x)$  y  $m(x_i)$  son los valores esperados de  $Z^*(x)$  y  $Z(x_i)$  respectivamente. Los pesos kriging deben determinarse para minimizar la estimación de la varianza,  $\text{Var}[Z^*(x) - Z(x)]$ , garantizando al mismo tiempo el no sesgamiento del estimador,  $E[Z^*(x) - Z(x)] = 0$ . Los pesos,  $w_i(x)$ , correspondientes a cada punto de muestra, se generan resolviendo un sistema de ecuaciones lineales donde el variograma (teórico) ajustado, controla la variabilidad espacial de la variable estudiada (Isaaks y Srivastava 1989). Los diferentes tipos de kriging se distinguen en función del modelo elegido para la tendencia  $m(x)$ , de la función aleatoria  $Z(x)$  (Moral, 2003). Por lo tanto,  $m(x)$  es desconocido en la técnica del kriging ordinario y se considera que fluctúa localmente, manteniendo la estacionalidad dentro de la vecindad inmediata.

El análisis geoestadístico se realizó con las extensiones Geostatistical Analyst y Spatial Analyst de ArcGIS v.10. El mapa del kriging estimado proporciona una representación visual de la distribución del potencial de la idoneidad climática para la viticultura peninsular de España.

### **3. Resultados y discusión**

---

#### **3.1. Determinación del potencial de idoneidad climática para la viticultura en las estaciones meteorológicas.**

La transformación de los datos a una escala común (Wright y Masters, 1982) es la primera etapa para llevar a cabo la formulación del modelo de Rasch, como se dijo anteriormente. En consecuencia, se realizó una transformación a categorías comunes de los valores correspondientes a todos los índices climáticos. Por lo tanto, los índices climáticos se codificaron categóricamente de acuerdo con la ponderación descrita anteriormente, donde cada índice se califica en una escala (0-3) para cada estación meteorológica.

La Tabla 1 muestra la categorización para los índices que serán utilizados para formar la matriz categorizada con los valores de las estaciones para cada clase de índice. Los datos ya categorizados están dispuestos en forma de matriz, donde las filas son las estaciones meteorológicas y las columnas los índices vitícolas. Cada elemento de la matriz puede representarse por  $X_{ni}$ , donde “n” varía de 1 a 65 (estaciones), e “i” varía de 1 a 6 (índices vitícolas). Podría establecerse una jerarquización o ranking sumando por filas o por columnas, pero dichas sumas establecen escalas por separado para las estaciones y para los índices. Sin embargo, de esta manera, no se discrimina a las estaciones en términos de los índices vitícolas ni a los índices vitícolas en términos de las estaciones meteorológicas. Este problema quedaría resuelto al aplicar una clasificación única de los índices vitícolas y las estaciones meteorológicas encontrando una variable latente que sintetice a ambas (Álvarez y Morán, 2001).

La Tabla 2 muestra la matriz resultante de la categorización de los valores medios del periodo de estudio (1980-2010) para los 6 índices empleados en las 65 estaciones. Para los 6 índices climáticos empleados, la puntuación más elevada posible de las estaciones es 18 (la idoneidad potencial más alta) y la puntuación más baja posible es 0 (la idoneidad potencial más baja). Teniendo en cuenta todas las estaciones, la puntuación más alta posible para los índices climáticos es de 195 y la puntuación más baja posible es 0.

**Tabla 1.** Categorización de los índices según sus clases.

Índice	Clases/ Límites	Categorización
Temperatura Media del Periodo de Crecimiento GST (°C)	1. Demasiado fría <13°C	<b>0</b>
	2. Fría = 13-15°C	<b>1</b>
	3. Intermedia = 15-17°C	<b>2</b>
	4. Templada = 17-19°C	<b>3</b>
	5. Cálido =19-21°C	<b>2</b>
	6. Muy cálido =21-24°C	<b>1</b>
	7. Demasiado cálido >24°C	<b>0</b>
Grados día en el periodo de Crecimiento GDD (C° día)	1. Demasiado fría <850	<b>0</b>
	2. Región I 850-1389	<b>1</b>
	3. Región II 1389-1667	<b>3</b>
	4. Región III 1667-1944	<b>3</b>
	5. Región IV 1944-2222	<b>2</b>
	6. Región V 2222-2700	<b>1</b>
	7. Demasiado cálido >2700	<b>0</b>
Índice de Huglin HI (C°)	1. Demasiado fría <1200	<b>0</b>
	2. Muy fría 1200-1500	<b>1</b>
	3. Fría 1500-1800	<b>2</b>
	4. Templada 1800-2100	<b>3</b>
	5. Cálido/Templada 2100-2400	<b>2</b>
	6. Cálido 2400-2700	<b>2</b>
	7. Muy cálido 2700-3000	<b>1</b>
	8. Demasiado cálido >3000	<b>0</b>
Grados día Biológicamente Efectivos BEDD (C° día)	1. <1000	<b>0</b>
	2. 1000-1200	<b>1</b>
	3. 1200-1400	<b>1</b>
	4. 1400-1600	<b>2</b>
	5. 1600-1800	<b>3</b>
	6. 1800-2000	<b>1</b>
	7. >2000	<b>0</b>
Índice de Sequia  (DI, mm)	200 < DI > 150	<b>0</b>
	Húmedo 150 < DI	<b>1</b>
	Subhúmedo 50 < DI ≤ 150	<b>2</b>
	Moderadamente seco -100 < DI ≤ 50	<b>3</b>
	Muy Seco -150 < DI ≤ -100	<b>1</b>
- 200 < DI < -150	<b>0</b>	
Índice de Frio Nocturno (CI, °C)	Noches muy frías CI ≤ 12	<b>0</b>
	Noches frías 12 < CI ≤ 14	<b>2</b>
	Noches templadas 14 < CI ≤ 18	<b>3</b>
	Noches cálidas CI > 18	<b>1</b>

**Tabla 2.** Matriz con las estaciones y categorización según el valor de la media para los 6 índices empleados.

Estación	GST		GDD		BEDD		HI		CI		DI	
	Media	Valor	Media	Valor	Media	Valor	Media	Valor	Media	Valor	Media	Valor
A Coruña	16,6	2	1414,5	3	1231,0	1	1809,9	3	14,9	3	115,3	2
Alvedro	16,3	2	1340,0	1	1269,4	1	1870,7	3	12,9	2	74,0	2
Albacete	18,6	3	1840,8	3	1440,3	2	2651,1	2	13,0	2	-129,1	1
Alicante	21,7	1	2502,5	1	1808,1	1	3133,2	0	18,0	3	-87,4	3
El Altet	21,8	1	2523,1	1	1808,2	1	3087,6	0	18,9	1	-75,0	3
Almería	22,5	1	2667,0	1	1838,4	1	3164,9	0	20,0	1	-95,3	3
Avilés	15,8	2	1238,0	1	1100,8	1	1674,4	2	13,7	2	134,2	2
Badajoz	21,0	1	2360,5	1	1730,8	3	3220,7	0	14,9	3	-187,6	0
Fabra	18,8	3	1892,6	3	1493,7	2	2385,5	2	16,4	3	53,8	2
Barcelona	19,4	2	2021,3	2	1591,0	2	2529,7	2	17,1	3	63,5	2
Beja	20,2	2	2188,8	2	1686,8	3	2995,7	1	15,1	3	-174,5	0
Bilbao	16,7	2	1440,6	3	1335,9	1	1987,1	3	13,4	2	93,7	2
Braganza	16,6	2	1415,1	3	1249,0	1	2148,9	2	11,6	0	-58,6	3
Burgos	14,4	1	933,5	1	914,6	0	1690,7	2	8,9	0	-26,8	3
Cáceres	19,4	2	2003,5	2	1504,1	2	2566,4	2	16,3	3	-65,2	3
Cádiz	21,4	1	2440,2	1	1765,7	3	2800,4	1	20,0	1	-26,6	3
Castellón	21,3	1	2409,1	1	1766,6	3	2981,6	1	18,1	1	-26,4	3
Ciudad Real	20,6	2	2262,7	1	1602,4	3	3052,8	0	14,8	3	-162,9	0
Colmenar viejo	17,7	3	1645,7	3	1286,9	1	2270,8	2	13,6	2	-58,3	3
Córdoba	22,2	1	2612,2	1	1783,5	3	3490,6	0	16,2	3	-219,1	0
Cuenca	15,4	2	1154,9	1	1105,0	1	1730,1	2	11,6	0	9,9	3
Daroca	17,1	3	1528,8	3	1307,2	1	2306,8	2	11,4	0	-58,2	3
Girona	18,9	3	1901,5	3	1550,2	2	2626,9	2	14,1	3	-21,5	3
Granada	19,9	2	2126,1	2	1581,8	2	2935,7	1	14,1	3	-176,4	0
Granada/Aeropuerto	20,0	2	2141,6	2	1636,9	3	3067,7	0	12,9	2	-209,8	0
Guadalajara	15,4	2	1156,7	1	1115,3	1	1734,7	2	11,2	0	-19,2	3
Huesca	18,4	3	1790,3	3	1454,9	2	2527,9	2	13,6	2	-49,8	3
Jerez Frontera	21,6	1	2482,5	1	1793,3	3	3239,1	0	16,7	3	-175,0	0
León	15,0	2	1079,7	1	1043,7	1	1837,2	3	9,9	0	-45,2	3
Lisboa	20,1	2	2152,3	2	1713,4	3	2672,7	2	17,2	3	-65,2	3
Logroño	17,9	3	1682,1	3	1432,3	2	2407,5	2	12,9	2	-60,4	3
Lugo/Rozas	15,0	2	1074,2	1	1071,3	1	1768,0	2	9,9	0	28,8	3
Madrid	19,3	2	1985,5	2	1501,5	2	2636,1	2	15,0	3	-91,0	3
Getafe	19,5	2	2040,2	2	1520,2	2	2796,6	1	14,2	3	-128,3	1
Torrejón	16,2	2	1330,1	1	1204,5	1	1821,7	3	13,2	2	0,7	3
Málaga	21,6	1	2484,5	1	1802,8	1	3034,4	0	18,7	1	-111,6	1
Molina De Aragón	14,6	1	986,1	1	1029,5	1	1890,1	3	7,2	0	-59,4	3
Morón Frontera	17,3	3	1571,6	3	1306,4	1	1926,0	3	16,3	3	-1,7	3
Murcia	22,2	1	2607,9	1	1816,9	1	3368,2	0	17,3	3	-157,4	0
Alcantarilla	22,0	1	2576,1	1	1810,3	1	3347,5	0	17,1	3	-159,0	0
San Javier	20,8	2	2306,8	1	1733,7	3	2824,1	1	18,4	1	-54,7	3
Ourense	18,6	3	1831,1	3	1571,2	2	2660,3	2	12,4	2	-86,2	3
Oviedo	15,9	2	1265,6	1	1183,5	1	1777,6	2	13,1	2	98,1	2
Pamplona	16,7	2	1436,7	3	1285,3	1	2102,5	2	12,3	2	5,9	3
Ponferrada	17,0	3	1504,4	3	1347,5	1	2261,4	2	11,5	0	-55,1	3
Reus	19,7	2	2075,1	2	1634,9	3	2658,3	2	16,6	3	20,5	3
Salamanca	16,3	2	1345,1	1	1239,0	1	2177,0	2	10,0	0	-96,0	3
Igueldo	16,1	2	1302,7	1	1103,2	1	1687,5	2	14,7	3	194,4	1
Fuenterrabía	16,8	2	1461,9	3	1293,5	1	1905,2	3	14,3	3	182,0	1
Santander	16,9	2	1477,9	3	1252,2	1	1845,9	3	15,4	3	168,4	1
Parayas	16,8	2	1446,6	3	1316,4	1	1926,0	3	14,0	3	138,4	2
S.Compostela/Lavacolla	15,4	2	1160,3	1	1122,1	1	1766,0	2	11,8	0	95,2	2
Sevilla	23,0	1	2778,4	0	1841,3	1	3577,9	0	17,5	3	-205,6	0
Soria	15,0	1	1068,3	1	1013,5	1	1859,2	3	9,1	0	-42,5	3
Tarifa	19,7	2	2072,9	2	1605,1	3	2350,2	2	19,1	1	8,8	3
Toledo	17,1	3	1519,0	3	1279,0	1	1915,5	3	14,9	3	21,3	3
Tortosa	21,4	1	2442,5	1	1773,3	3	3135,1	0	17,2	3	-53,4	3
Valencia	21,3	1	2421,7	1	1775,5	3	2945,8	1	18,6	1	-16,9	3
Manises	21,6	1	2474,7	1	1791,4	3	3062,7	0	18,3	1	-39,9	3
Valladolid	17,2	3	1537,7	3	1323,0	1	2356,8	2	11,3	0	-105,9	1
Villanubla	15,5	2	1177,5	1	1115,0	1	1980,4	3	10,0	0	-71,7	3
Vigo Peinador	16,2	2	1327,1	1	1242,5	1	1830,5	3	13,5	2	103,2	2
Vitoria	15,3	2	1139,8	1	1106,9	1	1850,5	3	10,2	0	-4,4	3
Zamora	17,2	3	1543,7	3	1328,2	1	2301,4	2	11,9	0	-86,7	3
Zaragoza	19,7	2	2079,5	2	1598,0	2	2817,9	1	14,7	3	-102,1	1

La Tabla 3 muestra los resultados después de procesar todos los datos. La puntuación total es la suma de puntos de todas las variables para cada estación meteorológica. Se organizaron las estaciones meteorológicas según la medida obtenida (logit) para cada una de las estaciones de mayor a menor. Las estaciones de Girona, Morón de la Frontera y Toledo son las que obtienen la puntuación más alta con valor de 16 de los 18 posibles como máximo en la puntuación total y por consiguiente también en la medida de Rasch (1,78 logit), estas estaciones se encuentran geográficamente muy distantes y pertenecen a comunidades autónomas diferentes. La puntuación menor es de 5 puntos que la obtienen las estaciones de Málaga y Sevilla (-0,79 logit), estando esta última estación cercana a la de Morón de la Frontera que es una de las que obtiene el valor más alto, las tres están en la comunidad autónoma de Andalucía.

Como resultado del modelo de Rasch, todos los índices y estaciones meteorológicas se muestran en la misma escala (Figura 5). La distribución relativa de las estaciones aparece en la mitad izquierda del continuo, de acuerdo con la idoneidad climática asociada para la viticultura, que han obtenido por medio de los seis índices vitícolas climáticos considerados y viceversa, los índices climáticos aparecen en la mitad derecha del diagrama, clasificados de acuerdo con la idoneidad climática asociada para la viticultura de las estaciones.

La Figura 5, representa el mapa que se obtiene al posicionar jerárquicamente las estaciones y los índices utilizando una única escala de medición y su influencia sobre la variable latente. Puede observarse que los índices vitícolas que obtuvieron la medida más alta están en la parte superior (los más alejados del cero o media de los ítems, representada como M, en la línea que representa a la variable latente), estos dos índices son el índice de los grados día biológicamente efectivos BEDD, y el índice de Huglin HI, con una medida de 0,25 y 0,19 respectivamente (Tabla 4), son los que ejercen una menor influencia en la variable latente; obtuvieron la puntuación más baja y la medida de Rasch más alta. Los índices HI y BEDD aunque su cálculo está basado en la suma de calor, comparten el ajuste por la influencia de la latitud en la duración del día. Esta apreciación de la influencia de la latitud es comentada por Fregoni (2007), afirmando que los cambios producidos por el efecto invernadero influyen en las regiones vitícolas afectando a la selección de vides, las prácticas culturales, los sistemas de conducción, en concordancia con la latitud y la altura, por lo que la viticultura mundial reaccionará frente a la latitud.

**Tabla 3.** Resultados obtenidos después de aplicar el modelo de Rasch: medida de Rasch de cada una de las estaciones para la idoneidad potencial climática vitícola y zona a la que pertenece.

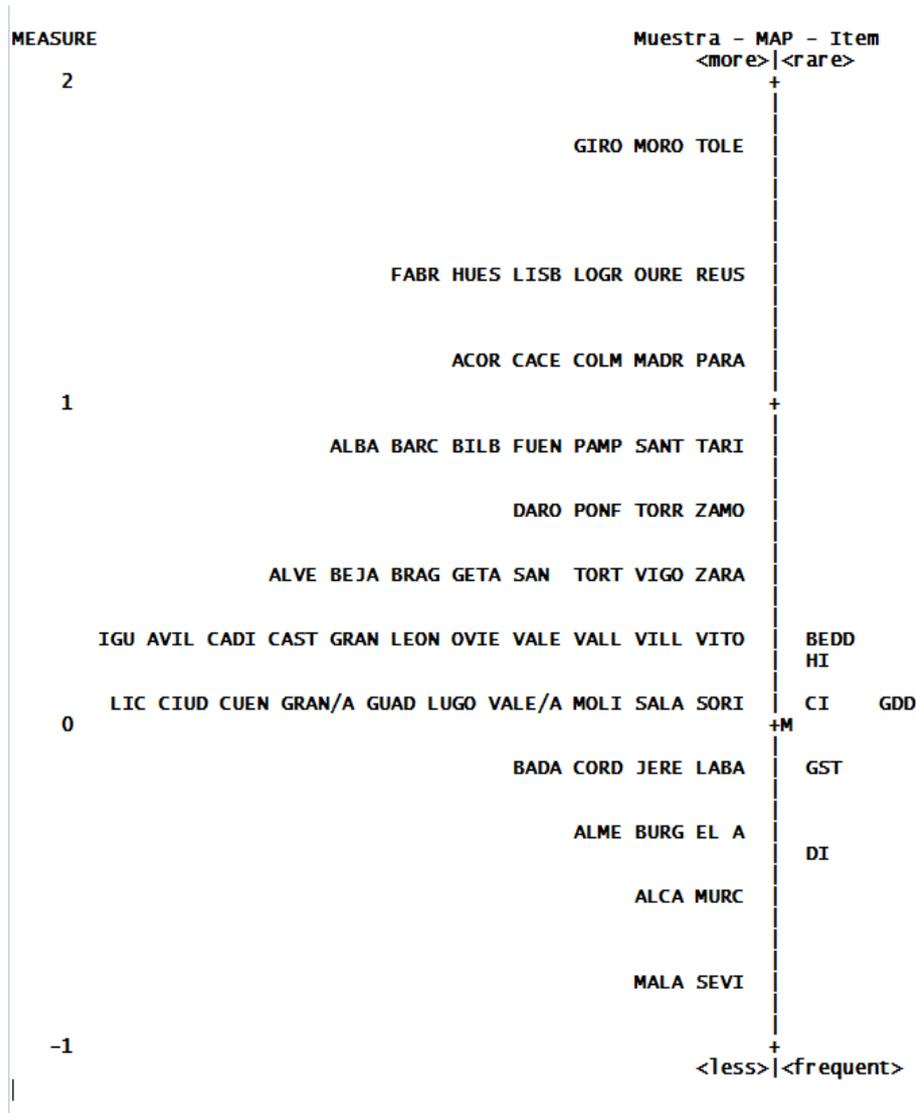
Estación	Zona	Medida de Rasch
Girona	3	1,78
Morón Frontera	3	1,78
Toledo	3	1,78
Fabra	3	1,39
Huesca	3	1,39
Lisboa	3	1,39
Logroño	3	1,39
Ourense	3	1,39
Reus	3	1,39
A Coruña	3	1,10
Cáceres	3	1,10
Colmenar viejo	3	1,10
Madrid	3	1,10
Parayas	3	1,10
Barcelona	3	0,86
Bilbao	3	0,86
Pamplona	3	0,86
Fuenterrabía	3	0,86
Santander	3	0,86
Tarifa	3	0,86
Torrejón	3	0,86
Getafe	3	0,86
Daroca	2	0,65
Ponferrada	2	0,65
Zamora	2	0,65
Soria	2	0,65
Alvedro	2	0,45
Burgos	2	0,45
Beja	2	0,45
Braganza	2	0,45
Tortosa	2	0,45
Vigo Peinador	2	0,45
Zaragoza	2	0,45
Avilés	2	0,26
Castellón	2	0,26
León	2	0,26
Oviedo	2	0,26
Igueldo	2	0,26
Valladolid	2	0,26
Villanubla	2	0,26
Vitoria	2	0,26
Lugo/Rozas	2	0,26
Molina De Aragón	2	0,26
Albacete	2	0,26
Alicante	1	0,07
Ciudad Real	1	0,07
Cuenca	1	0,07
Granada/Aeropuerto	1	0,07
Guadalajara	1	0,07
Salamanca	1	0,07
Valencia/Aeropuerto	1	0,07
Badajoz	1	-0,12
Córdoba	1	-0,12
Jerez Frontera	1	-0,12
S.Compostela/Lavacolla	1	-0,12
Alicante/El Altet	1	-0,32
Almería	1	-0,32
Murcia	1	-0,54
Alcantarilla	1	-0,54
San Javier	1	-0,54
Cádiz	1	-0,54
Granada	1	-0,54
Valencia	1	-0,79
Málaga	1	-0,79
Sevilla	1	-0,79

**Tabla 4.** Valores obtenidos para cada índice. Puntuación total, suma de puntos de la escala común para cada índice teniendo en cuenta todas las estaciones meteorológicas y medida de Rasch para la idoneidad climática vitícola.

Índice	Puntuación total	Medida
BEDD	106	0,25
HI	109	0,19
GDD	115	0,07
CI	116	0,05
GST	125	-0,13
DI	139	-0,43

En una posición intermedia en la línea del constructo (Figura 5) y cercanos a la media, aparecen dos índices que caracterizan el medio vitícola de forma diferente, uno representa el frescor nocturno durante el periodo de maduración y el otro la acumulación de calor durante el periodo de crecimiento de la vid, son respectivamente los índices de frescor nocturno, CI y el índice de los grados día en el periodo de crecimiento GDD, ambos con una medida muy similar, su posición en la línea cercana a la media, indica que no ejercen una acción discriminante en la variable latente.

El índice que ocupa la segunda posición (Figura 5) en la influencia sobre la idoneidad potencial vitícola, es el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento o GST, que obtiene un valor de -0,13 en la medida de Rasch, este índice a diferencia de los anteriores basa su cálculo en la temperatura media diaria durante el periodo de crecimiento de la vid. En el extremo situado en la zona de abajo de la media, aparece el índice de sequía o DI, con la medida de Rasch mas baja -0,43, es decir, es el índice vitícola más influyente sobre la idoneidad potencial climática para la viticultura en el territorio peninsular español. Por ser el índice que tiene mayor probabilidad de ser superado por todas las estaciones.



**Figura 5.** Estaciones meteorológicas e índices climáticos vitícolas. La línea recta representa la variable latente: idoneidad climática para la viticultura. Las estaciones están representadas a la izquierda de la línea de acuerdo con su idoneidad potencial para la viticultura: en la parte superior los que tienen mayor idoneidad; en la zona inferior, los que tienen menor idoneidad. Los índices climáticos están a la derecha de la línea: en la zona superior los que tienen menor influencia en la idoneidad potencial climática vitícola (raro); hacia la parte inferior aquellos con mayor influencia en la idoneidad (frecuente). Los índices son: el índice de la temperatura media del periodo de crecimiento GST, el índice de los grados día en el periodo de crecimiento GDD, el índice de Huglin HI, el índice de los grados día biológicamente efectivos BEDD, el índice de frescor nocturno (CI) y el índice de sequía (DI).

El análisis de la Figura 5 muestra una distribución continua de las estaciones, formando grupos entre ellas, debido a que obtienen la misma medida en el modelo de Rasch. Sin embargo, algunos grupos, los situados en la zona superior, presentan una adecuada idoneidad potencial climática vitícola, como es el grupo de las estaciones meteorológicas

formado por Girona, Morón de la Frontera, Toledo, Fabra, Huesca, Lisboa, Logroño y Reus. Ninguna de las estaciones ha alcanzado la puntuación máxima de 18 puntos, aunque el 21,5% de las estaciones tienen 14 puntos o más, obteniendo en consecuencia una medida de Rasch alta y revelando buenas condiciones, el lugar donde están situadas, para ser potencialmente muy adecuadas para el cultivo de la vid. En torno a la media se sitúa la gran mayoría de las estaciones, un total de 23 lo que supone el 35,4% del total de ellas. En el otro extremo, es decir las situadas en la zona inferior, están las estaciones situadas en las localidades que presentan la peor idoneidad climática para el viñedo, como son las estaciones situadas en Málaga, Sevilla, Alcantarilla y Murcia, debido a que obtienen puntuaciones bajas en la categorización, para las clases de los índices (Tabla 2), en estos cuatro casos el valor categorizado obtenido, es como consecuencia de estar clasificadas en las clases más altas de los índices térmicos o bien por tener un déficit hídrico alto. No ocurre así con la estación situada en Burgos que comparte la situación con las cuatro estaciones descritas anteriormente, es decir, situada en la zona inferior de la variable latente, pero los valores bajos alcanzados en la categorización en este caso, vienen motivados por obtener una clasificación en las clases inferiores de los índices térmicos. Por lo que las estaciones que ocupan esta zona inferior, tienen menor idoneidad climática vitícola, puede venir generado por obtener bajas puntuaciones en la categorización, debido a que son clasificadas en clases extremas de los índices.

### ***3.2. Distribución espacial de la idoneidad potencial climática para la viticultura.***

Se realizó un estudio geoestadístico para estimar la idoneidad potencial climática para la viticultura en cualquier lugar del territorio peninsular español, utilizando como datos iniciales todos los valores de medición obtenidos con el modelo de Rasch, en los lugares en los que se encuentra cada estación meteorológica (Tabla 3). La delimitación del patrón espacial de la variable latente, idoneidad potencial climática para la viticultura, es muy útil como ayuda a la toma de decisiones.

La Tabla 5 muestra los estadísticos descriptivos para la medida de Rasch. Se observa que la media y mediana son muy cercanas, por lo que los datos pueden presentar una distribución simétrica. Según Pardo y Ruiz (2002), los índices tipificados en valores

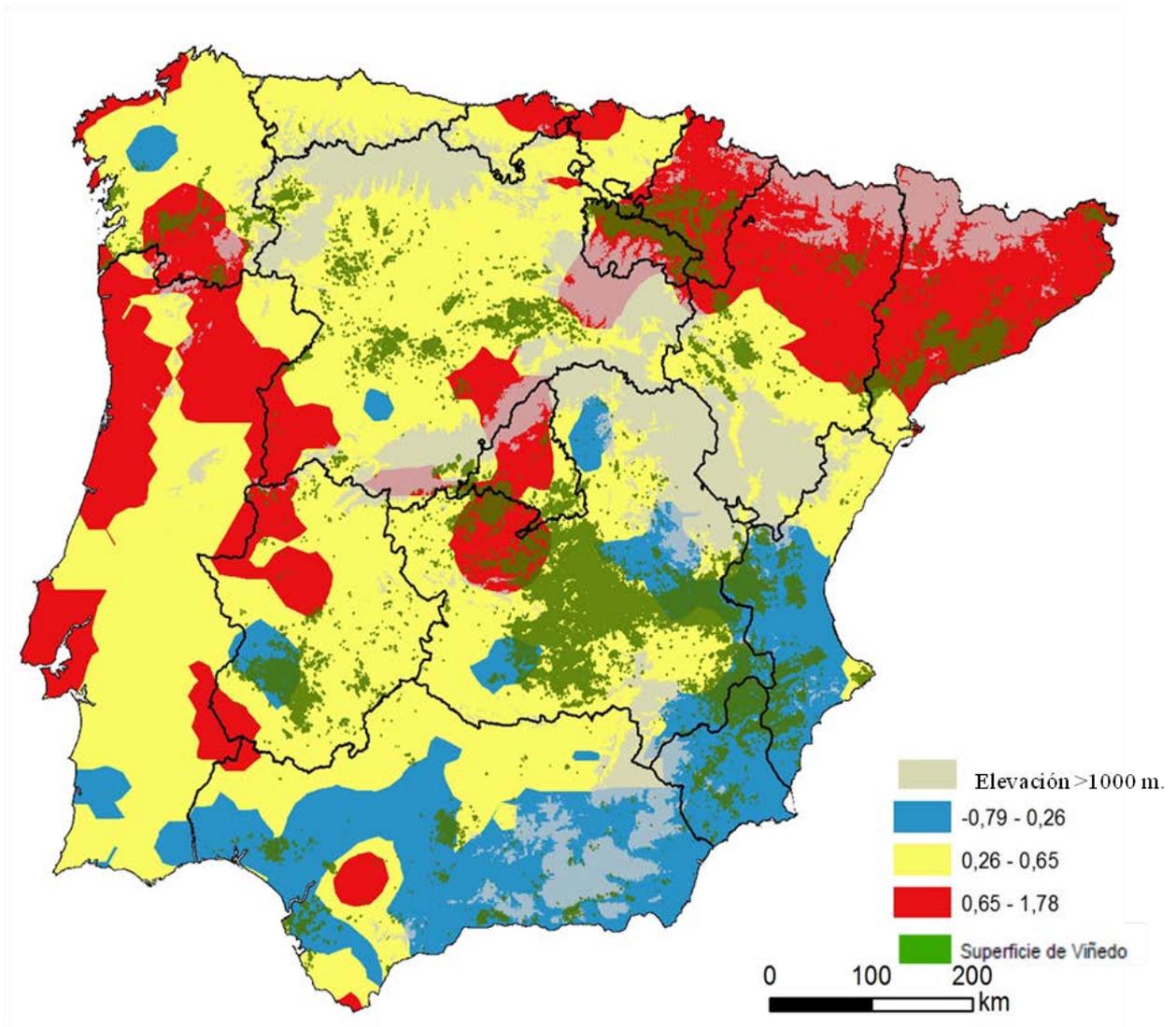
absolutos de asimetría o curtosis mayores que 1,96, permiten afirmar que existe asimetría o que la distribución se aleja de la distribución normal, respectivamente. En nuestro caso los valores no son cercanos a 1,96. Los valores absolutos para los índices tipificados para la asimetría y curtosis fueron de 0,86 y 0,55, respectivamente, permitiendo afirmar que la distribución tiene una baja asimetría y es próxima a la distribución normal.

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos para la medida de Rasch.

	N	Mínimo	Máximo	Media	Mediana	C.V.	Desv. típ.	Asimetría	Error típ.Asi.	Curtosis	Error típ.Cur.
Medida Rasch	65	-0,790	1,780	0,474	0,450	1,291	0,612	0,257	0,297	-0,325	0,586

Al variograma experimental calculado, se le ajustó un variograma esférico teórico (rango de 65 km; meseta = 0,38; efecto pepita = 0,023). Según Cambardella et al. (1994), la relación del efecto pepita y del umbral puede ser utilizada para indicar la dependencia espacial (relación de <25% indica fuerte dependencia espacial; entre 25% y 75 denota dependencia espacial moderada; > 75% indica débil dependencia espacial). En este caso, el valor de esta relación fue de 6,05%, lo que indica que la dependencia espacial de la variable era fuerte y avala al krigado como el método óptimo de interpolación.

La estructura de correlación espacial descrita con el variograma esférico se integró en el algoritmo del krigado ordinario, que es el método usado para estimar en ubicaciones no muestreadas. Las condiciones de idoneidad potencial climática para la viticultura, representada por la medida de Rasch, se calculó para el centro de cada celda cuadrada de 100 m de una red superpuesta en el territorio de la península Ibérica. En consecuencia, se puede obtener a partir de estas estimaciones la distribución espacial de la idoneidad potencial climática para la viticultura en España peninsular (Figura 6).



**Figura 6.** Mapa de predicción de las zonas de idoneidad potencial vitivinícola en España peninsular obtenida por kriging ordinario. Se indican los límites de las CC. AA. En verde la actual distribución espacial de los viñedos. En color gris y con transparencia, refleja las zonas con elevación mayor a 1000 m.

Las comparaciones entre medias de las zonas se muestran en la Tabla 5. La consideración de estas zonas es coherente con las diferencias observadas en algunos de los índices climáticos, en particular los índices derivados de la temperatura.

**Tabla 6.** Valores medios de los índices climáticos de las tres zonas de España peninsular. Los valores seguidos por letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P < 0,05$ ). DI, índice de sequía; HI, índice Huglin; CI, índice de frío nocturno; GST, índice de temperatura media en el periodo de crecimiento de la vid, GDD, índice de los grados día de crecimiento y BEDD, índice de los grados día biológicamente efectivos.

Índice	Nona 1	Zona 2	Zona 3
GST (°C)	20,37b	16,88a	18,11a
GDD (°C d)	2218,36b	1473,77a	1736,04a
HI (°C)	2893,39b	2166,98a	2287,67a
BEDD (°C d)	1642,97b	1273,35a	1425,62a
CI (°C)	16,05b	12,22a	14,87b
DI (mm)	-103,35b	-21,24a	11,12a

Se establecieron tres zonas con el fin de delimitar la idoneidad potencial climática para la viticultura (Figura 6). Así se tienen:

a) Zona 1, azul en la Figura 6 (medida de Rasch menor que 0,26). Están representadas en ella el 32,3% de las estaciones meteorológicas. Es la que presenta una menor idoneidad vitícola y está distribuida principalmente por el sur y por la costa mediterránea, y representada por las zonas más cálidas del territorio peninsular español, con déficit hídrico más acusado. En esta zona están localizados los viñedos de la D.O. de la comunidad autónoma de Andalucía, mitad sur de la comunidad Valenciana, gran parte de los viñedos de la D.O. Ribera del Guadiana en la provincia de Badajoz y la totalidad del viñedo de la comunidad de Murcia (Anexo III, Figura 1). El crecimiento de la vid, en esta zona será idóneo, con capacidad para la maduración de las variedades de vid, pero con uvas con alto grado de azúcar y graduación alcohólica, poca acidez y baja concentración de taninos, son zonas donde la producción de uvas esperada, no serán de la mejor calidad (Sotes, 2004).

b) Zona 2, amarilla en la Figura 6 (medida de Rasch entre 0,26 y 0,65). Es la que obtiene un mayor porcentaje de estaciones con un 33,8%. Ocupa la mayor extensión en el territorio peninsular. Se distribuye mayoritariamente por el interior peninsular, mitad norte de la Comunidad Valenciana, Cantabria, Asturias, País Vasco, norte de Aragón,

Castilla y León, Castilla La Mancha, Extremadura y la zona norte de Andalucía. Son zonas con una idoneidad climática intermedia para la viticultura. En esta zona se encuentran importantes regiones vitivinícolas de gran fama internacional, como son las representadas por los viñedos de las D.O. de Calatayud, Cariñena, la mayor parte de la D.O. La Mancha, Valdepeñas, Rías Baixas, las denominaciones de origen de la comunidad de Castilla y León (Rueda, Duero, Valladolid, Ribera del Duero, Cigales, Toro) y gran parte de Ribera del Guadiana (Anexo III, Figura 1).

Es la zona que presenta valores medios (Tabla 6) más bajos para todos los índices, excepto para el DI, que es el intermedio. Consecuentemente, se esperan obtener uvas con menor graduación y menor nivel de azúcar, buenas producciones, y es posible hacer vinos de calidad, siempre que los valores térmicos lo permitan.

c) Zona 3, roja en la Figura 6 (medida de Rasch superior a 0,65). En ella se encuentran el 33,8% de las estaciones utilizadas en el presente trabajo. Es la zona que mejor aptitud presenta para la idoneidad climática vitícola, representada por una gran extensión que ocupa las comunidades de la Rioja, Navarra, mitad norte de Aragón y prácticamente toda la comunidad de Cataluña. También está presente en la zona centro, donde existen pocos viñedos, cruzando la comunidad de Madrid y adentrándose en la comunidad de Castilla y León en una zona con baja superficie de viñedo, entre las D.O. de Ribera del Duero y Rueda. Por el sur penetra en Castilla-La Mancha, ocupando la D.O. de Mentrída y parte norte de la D.O. La Mancha (Anexo III, Figura 1). Ocupa también el centro y noroeste de la provincia de Cáceres, en la zona fronteriza con Portugal hasta llegar a la D.O. de Arribes, en el límite entre la provincia de Salamanca y Zamora. Esta mancha cruza Portugal y termina abarcando la D.O. de Monterrei, Ribeiro y Ribeira Sacra, en Galicia.

Es la zona con valores intermedios para todos los índices, a excepción de DI (Tabla 5) que obtiene el valor más alto, con el menor déficit hídrico, por lo que existe un alto riesgo de enfermedades fúngicas.. Es la zona donde se producen las uvas de mejor calidad y con buena producción, con azúcares suficientes y conservación de ácidos, color y aroma (Sotes, 2004), constituyendo la mejor zona para producir vinos de calidad

En consecuencia, teniendo en cuenta el factor climático, un alto porcentaje de los viñedos actuales en España peninsular tiene más potencial para producir cantidades importantes de uvas para vinificación que para los vinos de alta calidad, pero hoy en día, se producen

en España vinos de alta calidad internacionalmente reconocidos por la consideración de otros factores importantes, tales como el suelo, la topografía, las variedades de uva, el manejo y las prácticas del viñedo.

## **4. Conclusiones**

---

Se ha realizado un estudio de la idoneidad climática para la viticultura, integrando diferentes mediciones de seis índices climáticos tomados en diversos lugares (estaciones meteorológicas ubicadas en todo el territorio peninsular español). Se obtuvo que los índices climáticos, como son el índice de Huglin (HI), índice de los grados día biológicamente efectivos (BEDD), que son obtenidos por integral térmica, son los que tienen una influencia significativa en la idoneidad potencial climática.

La información obtenida se visualizó en un SIG, y las estimaciones de las ubicaciones no muestreadas se realizaron después aplicando un algoritmo geoestadístico (krigeado ordinario), obteniéndose un mapa predictivo de la idoneidad potencial climática para la viticultura en el territorio peninsular español.

La combinación del modelo de Rasch y las técnicas geoestadísticas constituye una forma lógica y objetiva, con base en los datos, para definir y asignar una variable latente (idoneidad potencial climática para la viticultura), que puede caracterizar el potencial climático para la viticultura en cualquier lugar en el área de estudio.

Este estudio puede completarse con futuras investigaciones incorporando otras variables importantes, con objeto de delimitar zonas homogéneas en función de su idoneidad vitícola.

Adicionalmente, se pone de manifiesto la existencia de parte del territorio peninsular español donde se dan las características climáticas para producir uvas de calidad. Por lo tanto, si en España peninsular fueran necesarios nuevos lugares para cultivar viñedos y producir vinos de calidad, existen numerosas zonas adecuadas con un gran potencial desde el punto de vista climático.

## ***Conclusiones generales y líneas futuras de investigación***



## *Conclusiones generales y líneas futuras de investigación*

---

La caracterización y zonificación climática vitícola de España peninsular, constituye un estudio básico que puede servir como herramienta para una gestión racional del cultivo de la vid, para la demarcación de áreas de producción, el estudio de la idoneidad de nuevas variedades y su interacción con el medio ambiente.

La caracterización y zonificación climática vitícola de España peninsular constituye una tarea de notable interés, lo cual debe efectuarse atendiendo a índices vitícolas que permita definir zonas mejor adaptadas para el cultivo del viñedo, dando lugar a una herramienta muy útil al sector vitivinícola con el fin de determinar en qué lugares del territorio español se tiene la mayor idoneidad para el cultivo de la vid y conseguir una optimización en la elección de variedades y sistemas de cultivo, todo ello enfocado a la obtención de producciones de calidad y, además, diferenciadoras a la hora de tipificar los vinos.

Adicionalmente, se pone de manifiesto la existencia de parte del territorio peninsular español donde se dan las características climáticas para producir uvas de calidad. Por lo tanto, si en España peninsular fueran necesarios nuevos lugares para cultivar viñedos y producir vinos de calidad, existen numerosas zonas adecuadas con un gran potencial desde el punto de vista climático.

Los resultados de las interpolaciones climáticas sirven para modelar la distribución potencial actual y futura del cultivo del viñedo. La caracterización y zonificación vitícola del territorio peninsular español tiene interés como herramienta en la gestión agronómica y enológica para el cultivo del viñedo y con mayor relevancia si cabe aun, teniendo en cuenta que estamos bajo un clima cambiante.

Respecto a las líneas futuras de investigación se proponen las siguientes:

Puesto que se ha realizado la caracterización y zonificación con un periodo de 30 años, sería interesante realizar un estudio de tendencias con el objetivo de conocer cómo puede afectar el cambio climático a la caracterización y zonificación climática vitícola de España peninsular.

Este estudio puede completarse con futuras investigaciones incorporando nuevas variables como la producción y su calidad, las variedades o la fecha de recolección, por regiones o denominaciones de origen con el objeto de ofrecer una información más real al sector vitivinícola.

Una utilidad práctica que puede derivarse de este estudio es la creación de una aplicación o App, que pueda ser instalada en teléfonos inteligentes y tabletas. Para crear dicha aplicación se puede utilizar la información generada en los mapas mediante interpolación geoestadística, ofreciendo información sobre la idoneidad del cultivo de la vid en España peninsular.

## *BIBLIOGRAFÍA*



## Bibliografía

---

- ABRA, Asociación de Bodegas de la Rioja Alavesa (2015). Descripción de Rioja alavesa. En <https://riojalavesa.com/es/enologia-y-viticultura/itemlist/category/16-riojalavesa>. Visitada en julio de 2015.
- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T.C. y Wieringa, J. (2003). Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP No. 53- WMO/TD-No. 1186.
- Alconada I., Ramos M.C. (2012). Climate trend and effects on grapevine in La Ribera de Duero (Spain). Proceedings of the IX Congress International des Terrior 2012. Dijon (Burgundy) and Reims (Champagne), pp. 3-20.
- Amerine, M.A.; Berg, H.W.; Kunkee, R.E.; Qugh, C.S.; Singleton, V.L. & Webb, A.D. (1980). The Technology of Wine Making, 4th edn. AVI Publishing Co., Inc. Westport, CT, 794 pp.
- Amerine, M.A. y Winkler, A.T. (1944). Composition and quality of musts and wines of California grapes. *Hilgardia* (University of California) 15: 493–673.
- Anderson, J. D.; Gregory V. J.; Tait, A. (2012). Analysis of viticulture region climate structure and suitability in new Zealand. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 2012, 46, n°3, 149-165
- Andrades Rodríguez, M. (1991). Influencias climáticas sobre el proceso de maduración del fruto de *Vitis vinífera*. Diferenciación varietal. Consejería de Agricultura y Alimentación, Gobierno de La Rioja, 240 p.
- Alexandersson, H., Moberg, A. (1997). Homogenization of Swedish Temperature Data. Part I: Homogeneity Test For Linear Trends *International Journal Of Climatology*, Vol. 17, pp. 25–34.
- Alexandersson, H. (1986). “Homogeneity test applied to precipitation data”. *Journal of Climatology*, 6, pp. 661-675.
- Allen, R.G. *et al.* (1998). Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage, Paper 56 , M-56 of FAO Technical Papers, FAO, Rome, 1998.
- Álvarez Martínez, P. ; Blanco Sandía, M. A.; Guerrero Manzano, M. del Mar.(1997). La variable latente calidad medida a través del modelo de Rasch. Comunicación oral en las V Jornadas de la Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y Empresa. ASEPUMA. Malaga.
- Álvarez, P. y Morán, J.C. (2001). “Medida del desarrollo humano para los países de la América Latina”. *El Trimestre Económico* Vol. LXVIII (2), México.

Amerine, M.A.; Winkler, A.J. (1944). Composition and quality of must and wine of California grapes. *Hilgardia* 15, 493-675.

Anderson, J.D., Jones, G.V., Tait, A., Hall, A. & Trought, M.C.T. (2012). Analysis of viticulture region climate structure and suitability in New Zealand. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, vol. 46, no. 3, pp. 149-165.

Azzi, G. (1969). *Ecología Agraria*. Salvat - Barcelona

Badenes, N. (2009). El modelo de Rasch aplicado a la medición multidimensional de la pobreza en España: bienaventuradas las que tienen tele, aunque no coman carne. *Comunicación en XVI Encuentro de Economía Pública*. 5-6 de febrero de 2009 Granada

Bartlett, M., S. (1975). *Probability, statistics and time: a collection of essays*. Chapman and Hall Ltd, London. 733

Blanco-Ward, D., Queijeiro, J.M.G, Jones, G.V. (2007). Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain. *Vitis* 46, 63–70.

Becker, N. (1984). Propositions pour une uniformisation des critères topographiques et climatiques. *Bulletin de L'O.I.V*, 639, pp. 383-393.

Bois, B.; Blais, A.; Moriondo, M.; Jones, G. (2012). High resolution climate spatial analysis of European winegrowing regions. *Proceedings of the 9th International Terroir Congress*, pp 2:17-20. 25-29 June, 2012, Burgundy and Champagne, France.

Branas, J. (1974). *Viticulture*. Dehan. Montpellier. 990 págs.

Branas, J.; Bernon, G.; Levadoux, L. (1946). *Éléments de viticulture générale*. Bourdeaux, Editorial Delmas, 400 pp.

Bravdo, B., A.; Hepner, Y. (1987). Irrigation management and fertigation to optimize grape composition and vine performance. In: *Proceedings of the Symposium on Grapevine Canopy and Vigor Management*. Acta Horticulturae 206, pp49–67.

Bretherton, C.; Smith, C.; Wallace, J. M. (1992). An intercomparison of methods for finding coupled patterns in climate data. *Journal of Climate* vol 5, June 1992, 541-560.

Brixner, G. F.; Schöffel, E. R.; Tonietto, J. (2014). Determinação da evapotranspiração por diferentes métodos e sua aplicação no índice de seca na campanha Gaúcha, Brasil. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal- SP, V. 36, n 4, p 780-793*.

Brunet, M.; Saladié, O.; Jones, P.; Sigró, J.; Aguilar, E.; Moberg, A.; Lister, D.; Walther, A.; Lopez, D.; Almarza, C. (2006). "The development of a new dataset of Spanish daily adjusted temperature series (SDATS)(1850-2003)". *International Journal of Climatology*, 26, pp. 1777-1802.

Bustamante, J. (2003). Cartografía predictiva de variables climáticas: Comparación de distintos modelos de interpolación de la temperatura en España peninsular. *Graellsia: revista de zoología*, Vol. 59, Nº. 2-3, , pags. 359-376.

- Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, J. M.; Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F.; Konopka, A.E. (1994). Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci Soc Am J* 58:1501–1511
- Cano, R.; Gutiérrez, J. M. (2004). Relleno de lagunas y homogeneización de series de precipitación en redes densa a escala diaria. En *el Clima y la Montaña*. Asociación Española de climatología y Universidad de Cantabria, Serie A, nº 4.
- Carbonneau, A., (1998). Irrigation, vignoble et produits de la vigne. In: *Traité d'irrigation, Aspects qualitatifs*. Paris, Lavoisier, pp. 257–276 (Chapitre IV).
- Carbonneau, A. (2003). Ecophysiologie de la vigne et terroir. In: *Terroir, Zonazione, Viticoltura*. Eds. M. Fregoni; D. Schuster and A. Paoletti (Phytoline press, Piacenza) pp. 61-108.
- Carbonneau, A. (2007). Terroir y Clima en Viticultura: Originalidades Y adaptaciones. *Rev. Enología* Nº2 Año IV Mayo-Junio 2007.
- Carbonneau, A., Tonietto, J. (1998). La géoviticulture: de la géographie viticole aux evolutions climatiques et techno-logiques à l'échelle mondiale. *Rev. Oenol. ech. Vitivin. Oenol.* 87, 16–18.
- Carbonneau, A.; Riou, C.; Guyon, D.; Riou, J.; Scheineider, C., (1992). *Agrométéorologie de la vigne en France*. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes. 169 p.
- Casa, R., Castrignanò, A. (2008). Analysis of spatial relationships between soil and crop variables in a durum wheat field using a multivariate geostatistical approach *European journal of agronomy* 28 (3), pp. 331-342.
- Cassinus, H., and O. Mestre (2004). Detection and correction of artificial shifts in climate series, Part III, *Journal of the Royal Statistical Society, Series C*, 53, pp. 405-425.
- Castellarin, S.D., Matthews, M.A., Di Gaspero, G., Gambetta, G.A. (2007). Water deficit accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* 227, 101–112.
- Cattell, R. B. (1966). The scree test for the number of factors. *Multivariate Behavioral Research*. Volume 1, Issue 2, pp. 245-276.
- Ceballos, A.; Morán, E.; López, J.I. (2013). Análisis de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en el sector español de la cuenca del Duero (1961-2005). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* nº 61, pp. 235-266.
- Chazarra, A. (2011). *Atlas climático ibérico*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 79 pp.
- Chomé, P.M. (2002). *Catálogo de variedades de vid. Registro de variedades comerciales*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica.
- Conrad, V. y Pollack, L.W. (1962). "Methods in Climatology". Harvard University Press Cambridge, Massachusetts, USA.

Conradie, W.J.; Carey, V.A.; Bonnardot, V.; Saayman, D.; Van Schoor, L.H. (2002). Effect of different environmental factors on the performance of Sauvignon blanc grapevines in the Stellenbosch/Durbanville districts of South Africa. I. Geology, soil, climate, phenology and grape composition. *S. Afr. S. Afr. J. Enol. Vitic.* 23, 78-91.

Constantinescu, G. (1967). Méthodes et principes de détermination des aptitudes viticoles d'une région et du choix des cépages appropriés. *Bulletin de l'O.I.V.*, 441, pp. 1179-1205.

Coombe, B. G. (1987). Distribution of Solutes within the Developing Grape Berry in Relation to Its Morphology. *Am. J. Enol. Vitic.*, Vol. 38, No. 2, pp. 120-127.

Cronquist, A. (1981). An integrated system of classification of flowering plants. Columbia University Press, Nueva York.

Della-Marta, P.M. y Wanner, H. (2006). "A method of homogenizing the extremes and mean of daily temperature measurements". *Journal of Climate*, 19, pp. 4179-4197.

Dubuordieu, D. (1990). Complementarity of grape varieties and their sensory influence in the style of red and white great Bordeaux wine. *Proceedings, Seventh Australian Wine Industry Technical Conference, Adelaide 1989*, 5-7

Ducré-Robitaille, J.F.; Vincent, L.A.; Boulet, G. (2003). "Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series". *International Journal of Climatology*, 23, pp. 1087-1101.

Dunnett, C. (1980). Pairwise Multiple Comparisons in the Homogeneous Variance, Unequal Sample Size Case. *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 75 (372), pp. 789-795.

Enoarquia.com (2015). <http://www.enoarquia.com/clima-y-terrano/>. Visitada el 29/09/2015.

European Climate Assessment & Dataset Project (ECA&D) (2014). Web en <http://eca.knmi.nl/>, Visitada el 14/01/2014.

Falcetti, M., (1994). Le terroir. Qu'est-ce qu'un terroir? Pourquoi l'étudier ? Pourquoi l'enseigner? *Bull. O.I.V.* 67(2), 246-275.

FAO 2011 Food and Agricultural Organization of the United Nations (F A O) (2012)

FAOSTAT website <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>. Acceso 20/02/14.

Fraga H., Malheiro A.C., Moutinho-Pereira J., Santos J.A. (2013). Future scenarios for viticultural zoning in Europe: ensemble projections and uncertainties. *International Journal of Biometeorology* 57:909-925

Fraga H.; Malheiro A.C.; Moutinho-Pereira, J.; Cardoso, R.; Soares, P. M.; Cancela, J.J.; Pinto, J.; Santos, J.A. (2014). Integrated analysis of climate, soil, topography and vegetative growth in iberian viticultural regions. *PLOS one*, Volume 9, Issue 9. In open access, freely available online, [WWW.plosone.org](http://WWW.plosone.org).

- Fernández Seoane, L. (2006). La zonificación bioclimática vitícola como base para la selección de variedades de vinífera. *GeoFocus* 6, 1-32.
- Fregoni, M. (1973). Ecología e viticultura: adattamento degli obiettivi della produzione all'ambiente natural. *Actas Simp. Int. de la Viticultura de la Ciudad de México*, XII:9-25.
- Fregoni, M. (1985). "Ecología vitícola", en M. Fregoni: *Viticultura generale*, pp. 255-291.
- Fregoni, M. y Pezzuto, S. (2000). Índice bioclimatique de qualite' Fregoni. En:3er. Simposio Internacional Zonificación Vitícola, 9 – 12 mayo, Puerto de la Cruz-Tenerife. Tomo II- Sec. 1, Comunicación 6: 1-10.
- Fregoni, M. (2002). Adattamento della vite ai cambiamenti climatici futuri. *L'informatore Agrario*, n° 45, pp. 29-30.
- Fregoni, M. (2003). L'Indice Bioclimatico di Qualità Fregoni. In: *Terroir, Zonazione, Viticultura*. Eds. M. Fregoni; D. Schuster and A. Paoletti (Phytoline press, Piacenza) pp. 115-127.
- Fregoni, M.; Gatti, M. (2007). Cambios climáticos y desertificación: la viticultura mundial reaccionará en función de la latitud. Trabajo presentado en el Congreso sobre Clima y Viticultura (CONCLIVIT) 10 al 14 de Abril de 2007, Zaragoza-España.
- Galet, P. (1993). The vines of Cyprus. In: *Vines and Wines of Cyprus. 4000 Years of Tradition*, 61-73. Vine Products Commission.
- Gallego, M. (2003). Estudio de la variabilidad climática en la península Ibérica. Universidad de Extremadura. Tesis Doctoral. 344 p.
- García de Luján, A.; Gil; B.; Lara, M. (1988). Variedades de vid de Andalucía. *Agricultura: Revista agropecuaria*, ISSN 0002-1334, N° 673, 1988, págs. 588-591
- Gaspar, P., Mesías, F.J., Escribano, M., Rodríguez de Ledesma, A. Pulido, F. (2007). Economic and management characterization of dehesa farms: implications for their sustainability. *Agroforest Syst* 71: 151-162.
- Gladstones, J. (1992). *Viticulture and Environment*. Winetitles, Adelaide. 310 pp.
- Gladstones, John. (2011). *Wine, Terroir and Climate Change*. Wakefield Press, South Australia. 275 pp.0
- GMCCS. (2015). Geoviticulture Multicriteria Climatic Classification System. Web site: <http://www.cnpuv.embrapa.br/ccm> .Visitada en agosto de 2015.
- González, J.C., De Luis, M., Stepánek, P., Reventós, J., Cuadrat, M. (2002). Reconstrucción, estabilidad y proceso de homogeneizado de series de precipitación en ambientes de elevada variabilidad pluvial. VII Reunión Nacional de Climatología. Grupo de Clima de la Asociación de Geógrafos Españoles, Albarracín.

Gonzalez-Rouco, J.F., Jimenez, J.L., Quesada, V., Valero, F. (2001): Quality Control and Homogeneity of Precipitation Data in the Southwest of Europe. *Journal of climate*. Vol. 14, pp. 964-978.

Goovaerts, P., (1997). Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* 89 1999 1–45.

Hall, A., Jones, G.V. (2010). Spatial analysis of climate in winegrape-growing regions in Australia. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 16 (3), pp. 389-404

Hardie, W. J. and Considine, J. A. (1976). Response of Grapes to Water-Deficit Stress in Particular Stages of Development. *American Society for Enology and Viticulture* 27, pp. 55-61.

Hargreaves G.H., Samani Z.A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied engineering in agriculture* 1: 96-98.

Hengl, T., Heuvelink, G., Stein, A. (2004). A generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-riging. *Geoderma*, Volume 120, Issues 1–2, pp. 75-93.

Hernández García, E. M.; García Valero J.A., Palenzuela Cruz, J.E., Belda Esplugues, F. (2012). “Ejercicio de homogeneización y relleno de series diarias de temperatura máxima, mediante el uso de Climatol”, VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC), Extremos e Impactos. Publicación de la AEC Serie A, nº 8, pp. 409-419.

Herrera J.C., Ramazzotti, S., Stagnari, F., Pisante M. (2011). A Multivariate Clustering Approach for Characterization of the Montepulciano d’Abruzzo Colline Teramane Area. *Am. J. Enol. Vitic.* 62:2. pp. 239-244.

Hidalgo, L. (1980). Caracterización macrofísica del ecosistema medio-planta en los viñedos españoles. *Comunicaciones I.N.I.A., Serie Producción Vegetal*, nº 29. Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid, 255p.

Hidalgo, L. (1999). *Tratado de Viticultura General*. 2ª edición. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. 1172 p.

Hidalgo Togores, J. (2012). El concepto de “Terroir” en el viñedo. Ponencia en el XII curso de verano, Innovación vitivinícola en la ribera del Duero, sostenibilidad II. Editado por el consejo regulador de la denominación de origen Ribera del Duero, pp 9-45.

Ho, R. (2009). *Handbook of univariate and multivariate data analysis and interpretation with SPSS* /. Boca Raton, Fla.; London: Chapman & Hall/CRC, 406 p.

Huglin, P. (1978). Nouveau mode d’évaluation des possibilites héliothermiques d’un milieu viticole. *Proceedings of the Symposium International sur l’ecologie de la Vigne*. (Ministère de l’Agriculture et de l’Industrie Alimentaire: Contança) pp. 89–98.

Ibacache, A.; Martínez, L.; Sturla, C. (2010). Zonificación del territorio de la denominación de origen Pisco. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIA: La Serena (Chile). Disponible en:  
<http://www.cnpuv.embrapa.br/tecnologias/ccm/inia2010.pdf> . Visitada: 12/04/2015.

- Ihl, M. (1991). Cambios climáticos y patrones locales de los climas del norte chico usando imágenes NOAA/AVHRR. Tesis (Magíster en Geografía). Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo. 227p.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) .Summary for policymakers. In: Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Eds. S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Cambridge University Press: Cambridge and New York) pp. 1–18.
- Isaaks E. H, Srivastava, R. M. (1989). An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford Univ. Press, New York.
- Jackson, D., and P. Lombard. (1993). Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality. A review. *Am. J. Enol. Vitic.* 44:409-430.
- Jones, G. V. and Davis, R. E. (2000). Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France, *American Journal of Viticulture and Enology*, 51,No.3:249-261
- Jones, G. V. and Davis, R. E. (2000a). Using a synoptic climatological approach to understand climate–viticulture relationships. *International Journal of Climatology* 20: 813–837.
- Jones, G.; White, M. A.; Cooper, O.R.; Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change* n° 73, pp 319-343.
- Jones, G.V. (2006). Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine. In *Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective*. Macqueen, R.W., and Meinert, L.D., (eds.), Geoscience Canada Reprint Series Number 9, Geological Association of Canada, St. John's, Newfoundland, 247 pages.
- Jones, G., Moriondo, M., Bois, B., Hall, A., Duff, A. (2009). Analysis of the spatial climate structure in viticulture regions worldwide. *Bulletin de L'OIV*, vol. 82 p. 507-517.
- Jones, G., Duff A. A., Hall A. and Myers J.W. (2010). Spatial analysis of climate in winegrape growing regions in the western United States. *American Journal of Enology and Viticulture* 61, 313-326.
- Jones G. V. Alves F. (2012). Spatial analysis of of climate in winegrape growing regions of Portugal. In: Proceeding of the IX International Terroirs Congress, Dijon and Reims, France 25-29 June 2012.
- Jones G. V. (2012). A climate assessment for the Douro wine region: an examination for the past, present, and future climate conditions for wine production. *Publicação do Associação para o desenvolvimento da viticulture dourienne. (ADVID)*
- Kaiser, H.F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, n° 39, 31-36.
- Khaliq, M.N. y Ouarda, T.B.M.J. (2007). “On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT)”. *International Journal of Climatology*, 27, pp. 681-687.

Kuglitsch, F.G., Toreti, A., Xoplaki, E., Della-Marta, P.M., Luterbacher, J. y Wanner, H. (2009). "Homogenization of daily maximum temperature series in the Mediterranean". *Journal of Geophysical Research*, 114.

Lambert, Sylvie D.; Clover, Kerrie.; Pallant, Julie F. (2015). Making Sense of Variations in Prevalence Estimates of Depression in Cancer: A Co-Calibration of Commonly Used Depression Scales Using Rasch Analysis. *Journal of the national comprehensive cancer network*. Vol: 13 N. 10 pp.1203-1211.

Linacre, J.M. (2012). *Winsteps 3.75, Rasch Model Computer Program*, Chicago, Il, 1991-2012.

Lopis Pérez, J. (1996). *La Estadística: una orquesta hecha instrumento*. Editorial Ariel. Barcelona, 352 p.

Madi, D.; Clinton, M. (2015). Rasch Analysis of the Arabic Language Version of the Functional Disability Inventory. *Journal of pediatric oncology nursing*, Vol: 32 n°: 4 pp: 230-239.

MAGRAMA Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2012). Superficies y producciones anuales de cultivos. Anuario de Estadística 2013, en la Web <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2013/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=11> visitada el 14/04/2014.

MAGRAMA Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente. (2014). Caracterización de la Producción de Alimentos Diferenciados Protegidos Bajo Denominaciones de Origen y/o Indicaciones Geográficas Protegidas (en Términos de Competitividad y Eficiencia Comercializadora). Ed. Centro de Publicaciones Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Secretaría General Técnica, Octubre 2014. 103 pp.

Mallo, F. (1985). *Análisis de componentes principales y técnicas factoriales relacionadas*. Publicaciones de la Universidad de León, 523 p.

Marcilla, J. (1954). *Tratado práctico de Viticultura y Enología Españolas*. SAETA, Madrid, 2 tomos. 807 págs.

Marques da Silva, J.R.; Rebollo, F. J.; Sousa, A.; Mesquita, P. (2012). Yield potential probability maps using the Rasch model. *Bioisystems Engineering III*, 369-380.

Matassa, P., Di Lena, B. y Antenucci, F. (1992). Gli indici bioclimatici applicati in un primo studio delle potenzialità viticole dell'Abruzzo. *Vignevini*, 3, pp. 37-40.

Matus, F., Rodríguez, J., Pinochet, D. (2005). Soil Fertility; a rational method of interpretation. Workshop of 9th International Symposium of soil and plant analysis, Enero 30 -Febrero 4, Cancún, Mexico,89 p.

Medrano, H.; Escalona, J.M.; Cifre, J.; Bota, J.; Flexas, J. (2003). A ten year study on the physiology of two Spanish grapevine cultivars under field conditions: effects of water availability from leaf photosynthesis to grape yield and quality. *Funct. Plant Biol.* 30, 607-619.

- Moncur, M.W.; Rattigan, K.; Mackenzie, D.H.; McIntyre, G.N. (1989). Base temperatures for Budbreak and leaf appearance of grapevines. *Am. J. Enol. Vitic.*: 40:21-26.
- Montes, C., Pérez Quezada, J. F., Peña Neira, A. and Tonietto, J. (2012). Climatic potential in Central Chile. *Australian Journal of Grape and Wine Research* n° 18, p 20–28.
- Moral, F. J. (2003). *La Representación Gráfica de las Variables regionalizadas. Geostatística Lineal. Publicaciones de la Universidad de Extremadura, Cáceres, 157 p.*
- Moral, F.J., Terrón, J.M., Marques da Silva, R.J. (2010). Delineation of management zones using mobile measurements of soil apparent electrical conductivity and multivariate geostatistical techniques. *Soil and Tillage Research, Volume 106, Issue 2, January 2010, Pages 335-343.*
- Moral, F.J., Terrón, J.M.; Rebollo, F. J. (2011). Site-specific management zones based on the Rasch model and geostatistical techniques. *Computers and Electronic in Agriculture, Vol. 75: 223-230.*
- Moral, F.J.; Rebollo, F. J.; Terrón, J.M. (2012). Analysis of soil fertility and its anomalies using an objective model. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 175, 912-919.*
- Moral, F. J., Rebollo, F. J., Paniagua, L. L., García, A. (2014a). Climatic spatial variability in Extremadura (Spain) based on viticultural bioclimatic indices. *International Journal of Biometeorology* vol. 58, pp. 2139-2152.
- Moral, F. J.; Rebollo, F. J.; Méndez, F. (2014b). Using an objective model to estimate overall ozone levels at different urban locations. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment. SERRA. Vol 28, n° 3: 455-465.*
- Moral, F. J., Rebollo, F. J., Paniagua, M.; Murillo, M. (2014c). Using an objective and probabilistic model to evaluate the impact of different factors in the dehesa agroforestry ecosystem. *Ecological Indicators, 46, 253-259.*
- Moral, F. J., Rebollo, F. J., Paniagua, L. L., García, A.; Honorio, F. (2015). Integration of climatic indices in an objective probabilistic model for establishing and mapping viticultural climatic zones in a region. *Theoretical and applied climatology. Vol. 120 N° 3-4, DOI 10.1007/s00704-015-1484-0.*
- Moral, F. J., Rebollo, F. J., Paniagua, L. L., García, A.; Martínez, E. (2015a). Application of climatic indices to analyse viticultural suitability in extremadura, south-western Spain. *Theoretical and Applied Climatology. Vol. 123: 277-289*
- Moral, F. J.; Rebollo, F. J.; Valiente, P.; López, F.; Muñoz de la Peña, A. (2012). Modelling ambient ozone in an urban area using an objective model and geostatistical algorithms. *Atmospheric Environment. Vol. 63: 86-93.*
- Morales, L. S.; Canessa, F. M.; Mattar, C.; Orrego, R.; Matus, F. (2006). Caracterización y zonificación edáfica y climática de la región de Coquimbo, Chile. *Journal of Soil Sc Plant. Nutr. 6 (3) p 52-74.*

Morari, F.; Castrignanò, A.; Pagliarin, C. (2009). Application of multivariate geostatistics in delineating management zones within a gravelly vineyard using geo-electrical sensors. *Comput. Electron. Agric.*, 68 , pp. 97–107

Morris, J.R.; Cawton, D.L.; Spayd, S.E.; May, R.D.; Bryan, D.R. (1980). Prediction of concord grape maturation and sources of error. *Journal Amer. Soc. Hort. Sci.* 105 (3): 313-318.

Odeh, I. A; McBratney, A. B.; Chittleborough, D. J. (1995). Further results on prediction of soils properties from terrain attributes: heterotopic cokriging and regression-kriging. *Geoderma* 67:215- 226.

OIV. Organisation Internationale de la vigne et du vin. (2012). *Vine and Wine Outlook 2010-2011* Ed. OIV, Paris. 85 pp.

Pardo, A. y Ruiz, M. (2002). *SPSS 11 Guía para el análisis de datos*. Editorial McGraw-Hill/Interamericana de España. 714p.

Pearson, R.C. y Goheen, A.C. (1990). *Compendium of Grape Diseases*. APS Press. Minnesota (EE.UU.).

Penman, H.L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. *Proceedings of the Royal Society of London* 193: 120-146.

Pérez López, C. (2009). *Técnicas estadísticas multivariantes con SPSS* Madrid : Iber Garceta, 378 p.

Peterson, T.C., Vose, R., Schmoyer, R. y Razuvaev, V. (1998). “Global Historical Climatology Network (GHCN) quality control of monthly temperature data”. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 1169-1179.

Prieto, G.; Delgado, A.R. (2003). Análisis de un test mediante el modelo de Rasch. *Rev. Psicothema* . Vol. 15, nº 1, pp. 94-100

Queijeiro J., Blanco D., Álvarez C. (2006). Climatic zoning and viticulture in Galicia (North West Spain). *Proceedings of the VI Congress International des Terrior 2006*. Bourdeaux- Montpellier, Bourdeaux Enita de Bordeaux. p.34-39.

Rankine, B. (1990). Vineyard geology-does it influence wine quality?. *The Australian Grapegrowers and Winemakers* 49, 151-153.

Ramos, M., Jones G., Martínez-Casasnovas, J. (2008). Structure and trends in climate parameters affecting wine-grape production in northeast Spain. *Climate Research* 38,1–15.

Rasch, G. (1960). *Probabilistic Models for some Intelligence and Attainment Tests*. Danish Institute for Educational Research. Paedagogiske Institut, Copenhagen.

Rasch, G. (1977). On specific objectivity: An attempt at formalizing the request for generality and validity of scientific statements. En M. Glegvad (De.). *The Danish Yearbook of Philosophy* (pp. 59-94). Copenhagen: Munksgaard.

Rasch, G. (1980). Probabilistic models for some intelligence and attainment tests, revised and expanded edn. University of Chicago Press, Chicago, USA

Ravelo Mesa, T.; Moreno Perdigón, M. C.; Ould Ahmed Deoula, A.; Oreja-Rodríguez, J. R. (2006). Análisis de los factores de satisfacción de los turistas alojados en Tenerife en el año 2006: una aplicación del modelo de Rasch. Instituto Universitario de la Empresa. Universidad de La Laguna. Documento de Trabajo. Serie Estudios N° 2007/63 ISSN 1139-4501

Rebollo Castillo, F. J.; Álvarez Martínez, P. (2009). Como medir la idoneidad cualitativa en una población. Comunicación oral en el V congreso internacional de la Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas para la Economía y Empresa. ASEPUMA. Universidad de Burgos.

Rebollo Castillo, F. J.; Álvarez Martínez, P. (2010). Análisis de la idoneidad, mediante el modelo de Rasch. Colección e-book nº 4. Modelos de Rasch en administración de empresas. Nuevos desarrollos. Fundación Formación y Desarrollo Empresarial, FYDE-CajaCanarias. Pp, 309-332.

Ren, W.; Bradley, K.D.; Lumpp, J.K. (2008). Applying the Rasch Model to Evaluate an Implementation of the Kentucky Electronics Educations Education Project. Journal of Science Education and Technology 17(6): 618-625.

Resco, P.; Iglesias, A.; Bardají, I., Sotés, V. (2015). Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain. Published on line article in Springer in, Reg. Environ Change.

Ribereau-Gayón, G. y Peyneaud, E. (1971). Sciecies et techiques de la vigne. Volumen I. Biologie de la vigne. Sols de vignobles. Dunod. Paris 725 págs. Traducción española 1986. Ed Montevideo.

Riou, Ch., Becker, N., Sotes Ruiz, V., Gomez-Miguel, V., Carbonneau, A., Panagiotou, M., Calo, A., Costacurta, A., Castro, R., Pinto, A., Lopes, C., Carneiro, L., Climaco, P.(1994). Le Déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne. Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, Luxembourg , 322 pp.

Roby, G., Harbertson, J.F., Adams, D.A., Matthews, M.A., (2005). Berry size and vine water deficits as factors in winegrape composition: anthocyanins and tannins. Aust. J. Grape Wine Res. 10, 100–107.

Rosenzweig, C. and Hillel, D. (2008). Climate variability and the global harvest: Impacts of el Niño and other Oscillations on Agro-Ecosystems. Oxford University Press. New York.

Rizopoulos, D. (2006). ltm: An R package for latent variables modelin and item reponse theory analysis. Journal of statistical software, 17(5), 1-25.

Santos, J.; Malheiro, A.; Karremann, M.; Pinto J. (2011). Statistical modelling of grapevine yield in the Port Wine region under present and future climate conditions. International Journal of Biometeorology 55, 119-131.

Santos J. S., Malheiro A. C., Pinto J.G., Jones G.V. (2012). Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. *Clim Res* 51:89-103.

Simmons, C. Douglas; Griswold, Lou Ann; Berg, Brett. (2010). Evaluation of Social Interaction During Occupational Engagement. *American Journal Of Occupational Therapy* Volumen: 64 Número: 1 Páginas: 10-17.

SIOSE. Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España. (2011). en <http://www.siose.es/web/guest/descargar> . Visitada en febrero de 2014.

Sotés, V. (2004). Comportamiento fisiológico de la vid en climas cálidos y en particular durante el período de maduración de la uva. *A Produção de Vinhos em Regiões Tropicais. I Workshop Internacional de Pesquisa, Brasil*, 75- 83 pp.

Sotés V., Gómez-Miguel V.,Tonietto J., Almorox J. (2012). El clima vitícola de las principales regiones productoras de uvas para vino en España. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED Madrid, pp. 201-285.

Sotés V., Tonietto J., Gómez-Miguel V. (2007). Zonificación climática en la región vitícola ibero-americana. *Rev Enología*, no. 2, Año IV, pp.1-11.

Stepanek, P. (2001). *Anclim-software for time series analysis*. Dept. Geography, Fac. of Natural Sciences, MU, Brno.

Stepanek, P. (2003). Homogeneización de las series de temperatura del aire en la República Checa durante el período instrumental. *Rev. Geographicalia* vol. 43, p. 5-24.

Tello, J.; Aguirrezábal, R.; Heraiz, S.; Larreina, B.; Montemayor, M. I.; Vaquero, E.; Ibañez, J. (2015). Un nuevo método para la evaluación de la compacidad del racimo mediante análisis de imagen. En las I Jornadas del grupo de viticultura y enología de la Sociedad Española de Ciencias Hortícolas, SECH. Retos actuales de I+D en viticultura. *Acta n° 70*.

Tonietto, J., (1999). Les macroclimats viticoles mondiaux et l'influence du mesoclimat sur la typicité de la syrah et du muscat de Mambourg dans le sud de la France.(These Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier- EMSA-M-233p.

Tonietto, J. (2007). Evaluation climatique des aires viticoles globaux. In: Congreso sobre Clima y Viticultura, 2007, Zaragoza, Proceedings. Zaragoza, Spain. P. 56-63.

Tonietto, J; Carbonneau, A., (1999). Análise mundial do clima das regiões vitícolas de sua influência sobre a tipicidade dos vinhos: a posição da viticultura brasileira comparada a 100 regiões em 30 países. In: Tonietto, J., Guerra, C.C. (Eds.), *Anais do Congresso Brasileiro de Viticultura e Enologia*, Embrapa Uva e Vinho. Bento Gonçalves, pp. 75-90.

Tonietto, J., Garrido, L.R., Sônego, O.R., (2002). Avaliação ex ante do impacto de alterações climáticas do complexo Energético do Rio das Antas sobre a viticultura regional. Bento Gonçalves. Embrapa, 76 pp.

Tonietto, J; Carbonneau, A., (2004). A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124/ 81-97.

- Tonietto, J.; Bello, F., (2012). The Geoviticulture MCC system and its international Internet site. *Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*. CYTED 2012) Clima, Zonificación y Tipicidad del Vino en Regiones Vitivinícolas Iberoamericanas. Madrid pp 23-37
- Tonietto, J.; Sotés Ruiz, V.; Gómez-Miguel, V.D. (2012). Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas. Madrid: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, CYTED. 411p.
- Tristán, A. (2002) Análisis de Rasch para todos. Ed. Ceneval, México.
- Vanderlinden K.; Giráldez J.V.; Van Meirvenne M. (2004). Assessing reference evapotranspiration by the Hargreaves method in southern Spain. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 130: 184-191.
- Van Leeuwen, C., Friant, P., Choné, X., Tregoat, O., Koundouras, S. & Dubourdieu, D. (2004). "Influence of climate, soil, and cultivar on terroir", *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 55, no. 3, pp. 207-217.
- Van Leeuwen, C.; Tregoat, O.; Choné, X.; Bois, B.; Pernet, D.; Gaudillère. P. (2009). Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?. *J. Int. Sci. Vigne Vin*, n°3, 121-134. *Vigne et vin publications internationales (Bordeaux, France)*.
- Venema, VKC.; Mestre, O.; Aguilar, E.; Auer, I.; Guijarro, JA.; Domonkos, P.; Vertacnik, G.; Szentimrey, T.; Stepanek, P.; Zahradnicek, P.; y otros. (2011). "Benchmarking homogenization algorithms for monthly data". *Journal Climate of the Past*, 8, pp. 89-115.
- Vilà, R.; Rubio, M.J.; Berlanga, V.; Torrado, M. (2014). Cómo aplicar un cluster jerárquico en SPSS. *Revista d'innovació i recerca en educació, REIRE*. Universitat de Barcelona. Institut de Ciències de l'Educació. Vol 7 n° 1, enero 2014, 1-15pp.
- Wagner, P.M. (1976). *Grapes into Wine: The Art of Wine Making in America*. Published by Afred A. Knopf. New York.
- Wilks, D. S. (2006). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*. 2d ed. International Geophysics Series, Vol. 91, Academic Press, 627 pp.
- Winkler A.J., Cook, J.A., Kliewer, W.M. & Lider, L.A., (1974). *General viticulture*. University of California Press, Berkeley.
- WMO. World Meteorological Organization (1967). A note on climatological normals. Technical note 84, WMO-208.
- Wright, B. D.; Masters, G. N. (1982). *Rating scale analysis*. MESA Press, Chicago, USA.
- Zsofi, Zs.; Gal, L.; Szilagy, Z.; Szu" Cs. E.; Marschall, M.; Nagy, Z.; Balo, B. (2009). Use of stomatal conductance and pre-dawn water potential to classify terroir for the grape variety Kekfrankos. *Aust. J. Grape Wine Res.* 15, 36-47.



## ANEXOS

### *I. Tablas de clasificación de los índices*

*GST, GDD, HI, BEDD, CI y DI*

### *II. Gráficos de clasificación de los índices*

*GST, GDD, HI BEDD, CI y DI*

### *III. Mapa de las denominaciones de origen protegidas de vinos de España*



*ANEXO I*

*Tablas de clasificación de los índices*

*GST, GDD, HI, BEDD, CI y DI*



**Tabla 1** Estadísticos descriptivos para GST en °C de las estaciones utilizadas.

NOMBRE	Media	Mediana	Desv.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Error	Asimetría	Error típ.
Molina De Aragon	15,0	14,8	0,67	13,6	16,4	-0,05	0,82	0,22	0,42
Lugo/Rozas	15,0	15,0	0,58	13,8	16,7	1,24	0,86	0,54	0,44
Guadalajara (Instituto)	15,1	15,1	0,34	14,6	15,8	-0,17	0,85	0,59	0,43
Leon Virgen Del Camino	15,2	15,1	0,62	13,6	16,5	0,31	0,82	-0,22	0,42
Soria	15,3	15,3	0,67	13,9	16,7	-0,09	0,82	0,21	0,42
Vitoria Aerodromo	15,3	15,3	0,70	13,9	16,8	-0,23	0,61	0,26	0,31
Cuenca	15,7	15,7	0,47	14,8	16,6	-0,46	0,82	0,07	0,42
S. Compostela/Labacolla	15,7	15,7	0,70	14,7	17,1	-1,03	0,82	0,33	0,42
Valladolid (Villanubla)	15,7	15,6	0,66	14,4	17,1	-0,32	0,82	0,09	0,42
Asturias/Aviles	15,8	15,7	0,54	14,9	16,8	-0,69	0,83	0,28	0,43
Oviedo	15,9	15,9	0,59	14,9	17,1	-0,66	0,83	0,14	0,43
A Coruna/Alvedro	16,3	16,2	0,56	15,4	17,6	-0,18	0,83	0,56	0,43
Madrid/Torreon	16,3	16,3	0,37	15,3	17,1	0,45	0,60	-0,14	0,30
San Sebastian - Igueldo	16,3	16,2	0,71	15,0	17,8	-0,34	0,82	0,22	0,42
Vigo Peinador	16,4	16,4	0,26	15,9	16,9	-0,73	0,82	0,16	0,42
Salamanca Aeropto	16,5	16,5	0,68	15,2	17,8	-0,67	0,82	-0,02	0,42
Braganca	16,9	16,8	0,72	15,3	18,3	-0,36	0,82	-0,16	0,42
Pamplona	16,9	17,0	0,75	15,4	18,6	0,10	0,82	0,13	0,42
A Coruna	16,9	16,9	0,61	15,9	18,3	-0,69	0,82	0,22	0,42
S. Sebastian/Fuenterrabia	17,0	17,0	0,40	16,1	17,8	0,08	0,82	-0,13	0,42
Bilbao Aeropuerto	17,1	16,8	0,81	15,9	19,2	-0,27	0,60	0,72	0,30
Santander/Parayas	17,1	17,1	0,62	15,9	18,4	-0,53	0,82	-0,08	0,42
Toledo Lorenzana	17,1	17,1	0,34	16,4	18,0	0,59	0,82	0,22	0,42
Valladolid	17,2	17,2	0,75	15,9	18,7	-0,60	0,83	0,07	0,43
Ponferrada	17,2	17,1	0,68	15,7	18,5	-0,58	0,82	0,01	0,42
Santander Centro	17,3	17,3	0,44	16,2	18,5	0,17	0,60	-0,16	0,30
Moron De La Frontera	17,6	17,5	0,43	16,7	18,4	-0,74	0,82	0,04	0,42
Zamora	17,6	17,7	0,74	16,2	18,9	-0,70	0,82	-0,20	0,42
Daroca	17,6	17,7	0,80	16,0	19,4	0,09	0,82	0,19	0,42
Colmenar Viejo/Famet	17,7	17,6	0,74	16,1	19,0	-0,23	0,83	-0,10	0,43
Logrono-Agoncillo	18,2	18,2	0,69	16,8	19,6	-0,03	0,82	0,07	0,42
Ourense	18,6	18,5	0,72	17,2	20,3	-0,06	0,83	0,23	0,43
Huesca	18,8	18,8	0,64	17,5	20,0	0,01	0,82	-0,18	0,42
Ciudad Real	18,8	18,1	1,88	16,2	22,4	-1,51	0,60	0,24	0,31
Girona/Costa Brava	18,9	18,9	0,78	17,3	20,6	0,54	0,83	0,24	0,43
Albacete Los Llanos	19,1	19,2	0,74	17,7	20,6	-0,28	0,82	0,06	0,42
Barcelona -Fabra	19,3	19,4	0,84	17,6	21,2	0,12	0,82	0,13	0,42
Tarifa	19,5	19,5	0,52	18,5	20,8	0,74	0,82	0,61	0,42
Madrid - Retiro	19,7	19,7	0,76	18,0	21,4	-0,16	0,60	0,19	0,30
Barcelona/Aerpto	19,9	19,6	1,05	18,1	21,9	-0,88	0,82	0,14	0,42
Madrid/Getafe	19,9	19,8	0,81	18,3	21,7	0,15	0,82	0,38	0,42
Reus/Aeropuerto	20,0	20,1	0,66	18,5	21,2	-0,45	0,82	-0,30	0,42
Granada/Aerpto	20,0	20,0	0,65	18,8	21,5	-0,15	0,83	0,36	0,43
Zaragoza Aerpto	20,2	20,2	0,74	18,7	21,9	0,35	0,82	0,08	0,42
Granada	20,3	20,2	0,69	19,0	21,7	-0,31	0,82	0,12	0,42
Lisboa Geofisica	20,4	20,4	0,62	19,1	21,8	-0,26	0,82	0,30	0,42
Caceres Ciudad	20,6	20,8	1,17	17,7	22,3	1,28	0,82	-1,19	0,42
Beja	20,6	20,6	0,65	19,2	21,9	-0,32	0,82	0,16	0,42
Murcia/San Javier	21,2	21,2	0,62	20,2	22,4	-0,75	0,82	-0,05	0,42
Castellon	21,3	21,2	0,83	19,6	22,8	-0,58	0,83	-0,08	0,43
Badajoz/Talavera R	21,4	21,2	0,65	20,0	22,8	-0,35	0,82	0,09	0,42
Valencia/Aeropuerto	21,6	21,6	0,65	20,2	22,7	-0,41	0,83	-0,28	0,43
Cadiz	21,6	21,7	0,53	20,3	22,6	0,02	0,83	-0,22	0,43
Alicante El Altet	21,8	22,0	0,51	21,0	22,6	-1,26	0,83	-0,20	0,43
Alicante	21,8	22,0	0,66	20,4	23,0	-0,43	0,82	-0,29	0,42
Valencia	21,8	21,8	0,67	20,2	23,1	-0,17	0,82	-0,19	0,42
Tortosa - O. Del Ebro	21,8	21,8	0,68	20,5	23,3	0,02	0,82	-0,04	0,42
Malaga Aeropuerto	21,9	21,9	0,65	20,7	22,9	-1,10	0,82	-0,05	0,42
Jerez De La Frontera	21,9	21,8	0,57	20,4	22,9	0,45	0,82	-0,17	0,42
Murcia/Alcantarilla	22,4	22,5	0,61	21,3	23,6	-0,64	0,82	-0,01	0,42
Almeria	22,5	22,6	0,49	21,4	23,3	-0,47	0,61	-0,47	0,31
Murcia	22,7	22,6	0,74	20,7	24,0	0,14	0,82	-0,27	0,42
Cordoba Aeropuerto	22,7	22,8	0,85	20,0	24,4	2,19	0,82	-0,70	0,42
Sevilla/San Pablo	23,5	23,6	0,84	22,0	25,1	-0,85	0,82	0,16	0,42

**Tabla 2** Estadísticos descriptivos para GDD en °C-día de las estaciones utilizadas.

NOMBRE	Media	Mediana	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Error típ.	Asimetría	Error típ. asimetría
Burgos-Villafria	1025,2	1017,8	189,19	671,3	1456,6	0,18	0,82	0,37	0,42
Molina De Aragon	1062,6	1036,1	142,76	763,9	1366,9	-0,06	0,82	0,21	0,42
Lugo/Rozas	1074,2	1063,3	124,51	810,8	1423,5	1,26	0,86	0,55	0,44
Guadalajara (Instituto)	1092,6	1085,8	72,60	973,2	1246,6	-0,19	0,85	0,60	0,43
Leon Virgen Del Camino	1110,5	1094,2	132,15	761,5	1393,8	0,29	0,82	-0,22	0,42
Soria	1135,2	1125,8	143,03	829,9	1422,4	-0,09	0,82	0,20	0,42
Vitoria Aerodromo	1139,8	1124,7	150,13	829,3	1457,6	-0,22	0,61	0,26	0,31
Cuenca	1212,6	1211,2	100,80	1022,2	1401,9	-0,46	0,82	0,07	0,42
Santiagostela/Labacolla	1226,0	1223,9	149,67	1010,4	1522,7	-1,03	0,82	0,33	0,42
Valladolid (Villanubla)	1226,5	1189,2	140,75	943,4	1522,2	-0,31	0,82	0,10	0,42
Asturias/Aviles	1238,0	1225,4	114,75	1039,5	1453,3	-0,69	0,83	0,28	0,43
Oviedo	1265,6	1255,5	127,30	1045,6	1522,4	-0,65	0,83	0,14	0,43
A Coruna/Alvedro	1340,0	1319,0	119,51	1144,7	1630,7	-0,18	0,83	0,56	0,43
Madrid/Torrejon	1344,0	1340,5	79,86	1135,0	1521,0	0,44	0,60	-0,14	0,30
San Sebastian Igueldo	1348,1	1320,8	151,22	1071,3	1675,0	-0,34	0,82	0,21	0,42
Vigo Peinador	1371,7	1364,8	55,86	1270,7	1474,5	-0,74	0,82	0,15	0,42
Salamanca Aeropuerto	1388,2	1388,6	144,98	1109,1	1678,5	-0,67	0,82	-0,01	0,42
Braganca	1480,3	1458,1	153,46	1123,3	1767,9	-0,36	0,82	-0,16	0,42
Pamplona	1485,9	1507,5	161,46	1161,1	1848,1	0,09	0,82	0,13	0,42
A Coruña	1486,8	1482,0	130,07	1256,1	1785,4	-0,68	0,82	0,23	0,42
S Astian/Fuenterrabia	1506,7	1499,5	86,60	1299,7	1665,8	0,07	0,82	-0,12	0,42
Bilbao Aeropuerto	1510,2	1460,9	172,36	1270,9	1962,6	-0,28	0,60	0,72	0,30
Santander/Parayas	1525,3	1515,3	133,41	1255,5	1791,5	-0,53	0,82	-0,08	0,42
Toledo Lorenzana	1526,7	1527,1	72,66	1375,7	1717,8	0,58	0,82	0,21	0,42
Valladolid	1537,7	1531,7	159,53	1257,3	1855,9	-0,59	0,83	0,07	0,43
Ponferrada	1544,1	1521,8	144,94	1228,0	1821,3	-0,59	0,82	0,01	0,42
Santander Centro	1564,0	1568,1	94,57	1334,8	1808,6	0,18	0,60	-0,16	0,30
Moronde La Frontera	1618,8	1611,7	91,07	1433,1	1786,3	-0,74	0,82	0,03	0,42
Zamora	1625,2	1646,5	158,05	1334,8	1901,8	-0,70	0,82	-0,21	0,42
Daroca	1630,1	1636,1	171,42	1282,5	2000,0	0,08	0,82	0,19	0,42
Colmenar Viejo/Famet	1645,7	1625,7	157,64	1295,9	1931,9	-0,23	0,83	-0,10	0,43
Logrono-Agoncillo	1752,5	1753,1	148,64	1451,2	2051,5	-0,04	0,82	0,07	0,42
Ourense	1831,1	1818,5	154,94	1532,6	2211,4	-0,05	0,83	0,23	0,43
Huesca	1876,2	1887,1	137,67	1598,8	2146,1	0,00	0,82	-0,18	0,42
Ciudad Real	1882,6	1724,2	401,82	1331,9	2656,0	-1,51	0,60	0,24	0,31
Girona/Costa Brava	1901,5	1895,5	167,78	1553,1	2269,0	0,54	0,83	0,23	0,43
Albacete Los Llanos	1953,3	1958,8	159,31	1637,7	2262,1	-0,28	0,82	0,06	0,42
Barcelona -Fabra	1995,3	2004,7	181,05	1616,6	2395,2	0,12	0,82	0,13	0,42
Tarifa	2028,2	2021,3	111,21	1816,9	2315,6	0,75	0,82	0,61	0,42
Madrid – Retiro	2082,1	2069,9	163,00	1721,4	2439,0	-0,17	0,60	0,19	0,30
Barcelona/Aeropuerto	2109,3	2048,2	224,57	1728,7	2536,9	-0,88	0,82	0,14	0,42
Madrid/Getafe	2123,2	2101,9	172,50	1771,1	2497,7	0,15	0,82	0,38	0,42
Reus/Aeropuerto	2132,6	2166,4	140,70	1820,6	2388,5	-0,45	0,82	-0,30	0,42
Granada/Aeropuerto	2141,6	2145,6	139,20	1880,9	2462,2	-0,16	0,83	0,36	0,43
Zaragoza Aeropuerto	2190,7	2188,4	158,57	1852,0	2539,3	0,34	0,82	0,08	0,42
Granada	2199,1	2184,3	146,90	1921,3	2508,3	-0,31	0,82	0,13	0,42
Lisboa Geofisica	2220,8	2227,2	133,11	1941,5	2520,2	-0,26	0,82	0,31	0,42
Caceres Ciudad	2258,2	2313,7	250,55	1655,5	2624,3	1,29	0,82	-1,19	0,42
Beja	2269,7	2264,5	139,65	1970,1	2543,8	-0,31	0,82	0,16	0,42
Murcia/San Javier	2400,5	2403,4	133,26	2177,1	2661,6	-0,75	0,82	-0,05	0,42
Castellon	2409,1	2399,6	178,50	2063,5	2739,9	-0,58	0,83	-0,07	0,43
Badajoz/Talavera R.	2440,1	2400,5	139,64	2130,3	2728,3	-0,36	0,82	0,09	0,42
Valencia/Aeropuerto	2474,7	2488,7	138,32	2177,0	2706,1	-0,41	0,83	-0,28	0,43
Cadiz	2491,5	2498,9	113,81	2212,4	2702,7	0,03	0,83	-0,21	0,43
Alicante El Altet	2523,1	2560,9	109,57	2343,7	2696,0	-1,26	0,83	-0,20	0,43
Alicante	2526,5	2556,7	141,72	2232,7	2787,4	-0,44	0,82	-0,29	0,42
Valencia	2529,0	2524,8	143,46	2182,8	2811,2	-0,18	0,82	-0,19	0,42
Tortosa	2535,4	2531,6	145,85	2249,5	2843,1	0,01	0,82	-0,04	0,42
Malaga Aeropuerto	2538,7	2543,4	139,06	2285,7	2769,8	-1,10	0,82	-0,05	0,42
Jerez De La Frontera	2543,6	2525,2	122,32	2217,0	2761,1	0,46	0,82	-0,17	0,42
Murcia/Alcantarilla	2657,9	2666,6	131,09	2425,7	2917,4	-0,63	0,82	0,00	0,42
Almeria	2667,0	2689,2	104,31	2442,7	2841,9	-0,47	0,61	-0,47	0,31
Murcia	2710,2	2697,2	158,72	2294,9	2992,9	0,13	0,82	-0,27	0,42
Cordoba Aeropuerto	2713,6	2734,7	182,64	2142,2	3087,5	2,19	0,82	-0,70	0,42
Sevilla/San Pablo	2880,6	2915,9	179,22	2560,6	3231,7	-0,84	0,82	0,16	0,42

**Tabla 3.** Estadísticos descriptivos para HI en °C-día de las estaciones utilizadas.

NOMBRE	Media	Mediana	Desv.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Error	Asimetría	Error típ.
Asturias/Aviles	1674,4	1660,7	120,25	1458,1	1889,3	-0,82	0,83	0,21	0,43
Guadalajara (Instituto)	1702,2	1698,8	45,53	1626,2	1799,7	-0,20	0,85	0,61	0,43
San Sebastian - Igueldo	1732,0	1706,4	157,87	1449,2	2073,6	-0,35	0,82	0,23	0,42
Cuenca	1759,3	1756,2	61,75	1643,3	1876,0	-0,60	0,82	0,03	0,42
Lugo/Rozas	1768,0	1752,5	161,10	1433,9	2193,1	0,65	0,86	0,48	0,44
Oviedo	1777,6	1762,8	144,69	1516,1	2050,9	-0,75	0,83	0,04	0,43
Burgos-Villafria	1810,4	1782,3	221,02	1412,8	2304,0	0,13	0,82	0,38	0,42
Madrid/Torreon	1829,2	1826,2	49,45	1705,0	1939,1	-0,03	0,60	0,08	0,30
S Compostela/Labacolla	1834,6	1834,7	176,19	1564,4	2160,2	-1,12	0,82	0,27	0,42
Leon Virgen Del Camino	1848,1	1862,3	155,28	1411,1	2152,5	0,68	0,82	-0,40	0,42
Vitoria Aerodromo	1850,5	1822,1	177,29	1514,4	2204,4	-0,53	0,61	0,16	0,31
Vigo Peinador	1853,6	1853,7	35,85	1781,6	1925,4	-0,34	0,82	-0,15	0,42
A Coruna/Alvedro	1870,7	1850,4	133,70	1664,1	2197,4	-0,19	0,83	0,61	0,43
A Coruna	1880,2	1859,0	147,97	1632,0	2215,8	-0,72	0,82	0,29	0,42
Toledo Lorenzana	1919,7	1923,1	42,12	1827,2	2035,9	1,00	0,82	0,17	0,42
Soria	1926,5	1910,6	162,56	1534,6	2250,1	0,46	0,82	0,21	0,42
S Sebastian/Fuenterrabia	1928,0	1920,2	56,73	1802,4	2030,3	-0,48	0,82	-0,14	0,42
Santander Centro	1944,9	1947,6	99,26	1681,2	2184,3	0,82	0,60	-0,39	0,30
Moron De La Frontera	1949,6	1948,8	55,65	1837,0	2054,2	-0,81	0,82	-0,01	0,42
Molina De Aragon	1988,9	1989,1	163,69	1682,0	2367,8	0,24	0,82	0,46	0,42
Santander/Parayas	2015,0	2002,1	145,21	1741,7	2333,2	-0,47	0,82	-0,01	0,42
Valladolid (Villanubla)	2040,6	2029,8	155,19	1690,5	2343,9	-0,15	0,82	-0,03	0,42
Bilbao Aeropuerto	2053,7	1938,8	224,63	1787,2	2565,6	-0,91	0,60	0,68	0,30
Pamplona	2145,4	2162,9	188,07	1792,5	2579,6	-0,10	0,82	0,19	0,42
Salamanca Aeropuerto	2227,8	2238,7	174,41	1862,1	2571,7	-0,39	0,82	0,00	0,42
Braganca	2228,1	2202,0	179,39	1771,4	2550,6	0,14	0,82	-0,30	0,42
Colmenar Viejo/Famet	2270,8	2250,0	167,90	1925,1	2598,8	-0,19	0,83	0,05	0,43
Tarifa	2275,9	2236,6	162,99	2013,9	2659,4	-0,24	0,82	0,63	0,42
Ponferrada	2313,3	2268,8	184,78	1913,4	2669,8	-0,45	0,82	0,09	0,42
Valladolid	2356,8	2345,1	161,98	2011,4	2678,2	-0,36	0,83	0,09	0,43
Zamora	2398,7	2393,4	186,33	2044,0	2727,6	-0,62	0,82	-0,14	0,42
Daroca	2428,1	2444,6	197,22	2053,4	2860,6	0,06	0,82	0,32	0,42
Ciudad Real	2471,3	2033,9	591,82	1817,6	3455,5	-1,82	0,60	0,17	0,31
Logrono-Agoncillo	2505,0	2511,9	179,37	2094,9	2843,9	0,00	0,82	-0,07	0,42
Barcelona -Fabra	2505,3	2506,7	186,01	2145,1	2930,3	0,20	0,82	0,27	0,42
Barcelona/Aeropuerto	2621,0	2610,9	211,72	2290,3	3058,7	-0,70	0,82	0,17	0,42
Girona/Costa Brava	2626,9	2598,2	208,59	2222,1	3102,5	0,43	0,83	0,39	0,43
Huesca	2634,6	2636,1	156,48	2324,6	2935,6	-0,18	0,82	-0,11	0,42
Ourense	2660,3	2663,7	194,04	2302,4	3104,9	-0,44	0,83	0,09	0,43
Reus/Aeropuerto	2729,8	2736,1	152,78	2415,5	3056,5	-0,42	0,82	-0,03	0,42
Lisboa Geofisica	2730,9	2712,6	153,30	2380,2	3060,5	-0,02	0,82	0,26	0,42
Albacete Los Llanos	2757,4	2742,9	176,87	2373,3	3088,0	-0,11	0,82	0,06	0,42
Madrid – Retiro	2782,0	2769,2	179,97	2424,0	3198,3	-0,08	0,60	0,36	0,30
Cadiz	2839,1	2832,4	120,29	2550,5	3072,0	0,07	0,83	-0,10	0,43
Madrid/Getafe	2876,0	2843,2	171,28	2478,8	3227,5	0,33	0,82	0,20	0,42
Murcia/San Javier	2913,5	2924,8	120,34	2699,1	3131,5	-0,81	0,82	-0,13	0,42
Zaragoza Aeropuerto	2929,3	2937,1	179,36	2556,4	3313,3	0,17	0,82	0,11	0,42
Caceres Ciudad	2958,4	3036,8	364,14	1963,0	3400,6	3,08	0,82	-1,81	0,42
Castellon	2981,6	2975,5	166,81	2675,8	3298,1	-0,58	0,83	-0,03	0,43
Granada	3007,1	2975,9	168,28	2689,9	3337,9	-0,39	0,82	0,12	0,42
Valencia	3051,1	3038,6	151,68	2689,5	3340,9	-0,28	0,82	-0,10	0,42
Valencia/Aeropuerto	3062,7	3038,4	125,45	2784,0	3287,1	-0,47	0,83	-0,24	0,43
Granada/Aeropuerto	3067,7	3058,5	148,38	2801,2	3421,3	-0,16	0,83	0,37	0,43
Beja	3074,3	3047,6	157,00	2738,7	3379,7	-0,22	0,82	0,23	0,42
Alicante El Altet	3087,6	3094,7	113,76	2908,6	3325,4	-0,82	0,83	0,11	0,43
Málaga Aeropuerto	3096,0	3106,8	129,93	2870,4	3313,6	-1,05	0,82	-0,08	0,42
Alicante	3108,5	3141,2	132,57	2833,6	3358,5	-0,45	0,82	-0,27	0,42
Almería	3164,9	3183,0	102,30	3000,2	3363,0	-0,82	0,61	0,09	0,31
Tortosa - Del Ebro	3231,9	3234,9	159,00	2962,4	3575,5	-0,01	0,82	0,14	0,42
Jerez De La Frontera	3302,2	3296,9	137,42	2950,3	3561,7	0,17	0,82	-0,12	0,42
Badajoz/Talavera Lreal	3304,4	3251,7	155,70	2921,0	3608,9	0,15	0,82	0,07	0,42
Murcia/Alcantarilla	3432,6	3432,3	121,14	3199,3	3663,0	-0,61	0,82	0,01	0,42
Murcia	3466,1	3463,9	128,08	3147,5	3702,0	0,11	0,82	-0,10	0,42
Córdoba Aeropuerto	3578,8	3580,1	198,80	2927,6	3940,5	2,76	0,82	-0,88	0,42
Sevilla/San Pablo	3657,0	3673,0	171,20	3363,1	3974,5	-0,78	0,82	0,19	0,42

**Tabla 4.** Estadísticos descriptivos para BEDD en °C-día de las estaciones utilizadas.

NOMBRE	Media	Mediana	Desv.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Error.	Asimetría	Error típ.
Burgos-Villafria	<b>993,6</b>	996,9	169,81	669,7	1384,2	-0,31	0,82	0,02	0,42
Leon Virgen Delamino	<b>1053,5</b>	1049,5	118,98	706,1	1318,0	1,52	0,82	-0,34	0,42
Soria	<b>1055,1</b>	1074,5	133,27	729,6	1366,6	0,35	0,82	-0,12	0,42
Lugo/Rozas	<b>1071,3</b>	1073,4	128,98	786,4	1409,0	0,90	0,86	0,23	0,44
Guadalajara (Instituto)	<b>1074,9</b>	1061,9	54,44	978,4	1183,1	-0,30	0,85	0,51	0,43
Molina De Aragon	<b>1088,6</b>	1091,8	125,13	840,4	1390,3	0,41	0,82	0,13	0,42
Asturias/Aviles	<b>1100,8</b>	1091,5	117,41	870,1	1314,9	-0,77	0,83	0,09	0,43
Vitoria Aerodromo	<b>1106,9</b>	1092,5	134,57	803,6	1393,0	-0,16	0,61	-0,12	0,31
Cuenca	<b>1139,8</b>	1137,6	62,88	1001,0	1239,1	-0,31	0,82	-0,19	0,42
Valladolid (Villanubla)	<b>1143,7</b>	1146,0	114,88	846,2	1399,5	0,83	0,82	-0,12	0,42
Sansebastianigueldo	<b>1146,5</b>	1136,9	146,14	862,1	1442,9	-0,37	0,82	-0,07	0,42
Scompostela/Labacolla	<b>1179,2</b>	1188,5	139,31	960,2	1442,2	-0,98	0,82	0,22	0,42
Oviedo	<b>1183,5</b>	1189,2	132,58	926,6	1430,2	-0,67	0,83	-0,11	0,43
Madrid/Torreon	<b>1210,4</b>	1207,2	45,34	1072,3	1311,2	1,05	0,60	-0,25	0,30
Salamanca Aeropuerto	<b>1262,2</b>	1249,2	112,83	955,6	1500,4	0,99	0,82	-0,27	0,42
Vigo Peinador	<b>1266,6</b>	1263,0	32,24	1200,3	1323,5	-0,49	0,82	-0,17	0,42
A Coruna/Alvedro	<b>1269,4</b>	1245,8	111,73	1072,6	1530,6	-0,16	0,83	0,48	0,43
Toledo Lorenzana	<b>1280,3</b>	1286,2	34,74	1204,5	1377,1	1,30	0,82	0,03	0,42
Colmenar Viejo/Famet	<b>1286,9</b>	1276,9	114,78	998,3	1511,1	0,64	0,83	-0,13	0,43
Braganca	<b>1289,4</b>	1288,7	113,72	928,6	1511,1	2,19	0,82	-0,74	0,42
A Coruna	<b>1295,1</b>	1287,1	134,79	1041,6	1565,5	-0,87	0,82	0,11	0,42
Sebastian/Fuenterrabia	<b>1308,2</b>	1304,7	43,48	1209,2	1383,4	-0,56	0,82	-0,20	0,42
Pamplona	<b>1313,2</b>	1336,9	125,09	1031,0	1566,4	0,47	0,82	-0,67	0,42
Moron Dla Frontera	<b>1321,6</b>	1314,3	45,26	1235,1	1401,9	-0,89	0,82	0,12	0,42
Valladolid	<b>1323,0</b>	1325,9	105,45	1085,0	1549,7	0,04	0,83	0,17	0,43
Santander Centro	<b>1330,7</b>	1340,5	79,38	1105,8	1511,3	1,29	0,60	-0,77	0,30
Daroca	<b>1360,8</b>	1362,9	128,58	1099,9	1654,8	0,37	0,82	-0,18	0,42
Ponferrada	<b>1365,6</b>	1372,6	111,49	1098,5	1582,3	-0,28	0,82	-0,07	0,42
Zamora	<b>1367,2</b>	1367,4	101,51	1127,5	1564,9	0,25	0,82	-0,14	0,42
Bilbao Aeropuerto	<b>1380,5</b>	1315,5	138,75	1180,9	1691,9	-0,96	0,60	0,58	0,30
Santander/Parayas	<b>1387,1</b>	1409,8	113,35	1148,4	1588,9	-0,25	0,82	-0,43	0,42
Ciudad Real	<b>1434,5</b>	1374,7	181,35	1187,6	1799,1	-1,31	0,60	0,35	0,31
Logrono-Agoncillo	<b>1465,3</b>	1478,8	103,06	1202,1	1669,5	0,67	0,82	-0,63	0,42
Huesca	<b>1486,1</b>	1487,3	94,17	1279,4	1676,1	-0,13	0,82	-0,14	0,42
Albacete Los Llanos	<b>1486,5</b>	1483,6	105,75	1293,9	1738,8	-0,09	0,82	0,34	0,42
Madrid - Retiro	<b>1525,9</b>	1511,9	99,20	1300,1	1734,7	-0,12	0,60	0,33	0,30
Madrid/Getafe	<b>1542,0</b>	1532,4	102,57	1322,3	1744,5	-0,05	0,82	0,19	0,42
Barcelona -Fabra	<b>1548,5</b>	1559,8	100,19	1350,9	1749,3	-0,10	0,82	-0,15	0,42
Girona/Costa Brava	<b>1550,2</b>	1541,8	93,40	1353,9	1763,5	0,32	0,83	-0,15	0,43
Ourense	<b>1571,2</b>	1570,7	102,28	1337,4	1771,7	-0,32	0,83	0,01	0,43
Tarifa	<b>1574,1</b>	1580,2	83,34	1402,3	1766,9	-0,10	0,82	-0,03	0,42
Granada	<b>1605,1</b>	1595,8	94,80	1434,2	1798,5	-0,53	0,82	0,31	0,42
Caceres Ciudad	<b>1620,4</b>	1637,3	121,35	1313,0	1828,3	0,98	0,82	-0,87	0,42
Barcelona/Aeropuerto	<b>1624,2</b>	1620,9	97,14	1383,4	1804,3	0,01	0,82	-0,45	0,42
Zaragoza Aeropuerto	<b>1636,1</b>	1638,8	84,94	1434,7	1811,8	0,85	0,82	-0,49	0,42
Granada/Aeropuerto	<b>1636,9</b>	1633,7	90,58	1475,7	1828,9	-0,31	0,83	0,47	0,43
Reus/Aeropuerto	<b>1654,3</b>	1652,6	74,93	1507,9	1800,6	-0,31	0,82	-0,15	0,42
Beja	<b>1714,5</b>	1706,1	71,35	1529,6	1867,1	0,79	0,82	0,05	0,42
Lisboa Geofisica	<b>1733,1</b>	1733,6	72,73	1509,8	1865,6	1,68	0,82	-0,60	0,42
Badajoz/TalaveraLa	<b>1749,4</b>	1752,3	69,19	1566,7	1890,1	0,73	0,82	-0,07	0,42
Murcia/San Javier	<b>1764,8</b>	1766,9	55,44	1625,0	1861,9	0,11	0,82	-0,58	0,42
Castellon	<b>1766,6</b>	1775,6	69,63	1598,4	1876,0	0,19	0,83	-0,79	0,43
Cadiz	<b>1782,2</b>	1784,1	55,83	1655,7	1870,6	-0,40	0,83	-0,32	0,43
Valencia/Aeropuerto	<b>1791,4</b>	1807,2	61,36	1607,3	1870,3	1,81	0,83	-1,30	0,43
Tortosa - Del Ebro	<b>1792,5</b>	1804,9	54,53	1668,2	1891,4	0,21	0,82	-0,66	0,42
Valencia	<b>1804,4</b>	1816,6	55,58	1654,6	1884,4	1,13	0,82	-1,10	0,42
Cordoba Aeropuerto	<b>1806,5</b>	1816,3	78,60	1524,7	1926,0	4,34	0,82	-1,47	0,42
Jerez De La Frontera	<b>1806,9</b>	1797,8	57,01	1667,2	1920,5	0,02	0,82	-0,04	0,42
Alicante El Altet	<b>1808,2</b>	1814,8	43,39	1704,8	1872,2	0,21	0,83	-0,84	0,43
Alicante	<b>1813,9</b>	1819,3	48,10	1689,7	1892,9	0,53	0,82	-0,83	0,42
Malaga Aeropuerto	<b>1816,5</b>	1820,3	48,41	1692,7	1901,0	0,38	0,82	-0,58	0,42
Murcia/Alcantarilla	<b>1829,8</b>	1834,8	47,27	1677,7	1903,3	2,15	0,82	-1,02	0,42
Almeria	<b>1838,4</b>	1837,5	29,05	1778,8	1891,2	-0,73	0,61	0,00	0,31
Murcia	<b>1841,0</b>	1852,0	47,50	1720,2	1916,8	0,17	0,82	-0,71	0,42
Sevilla/San Pablo	<b>1857,9</b>	1859,8	51,27	1750,6	1926,0	-0,82	0,82	-0,20	0,42

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos para el CI en °C de las estaciones utilizadas

NOMBRE	Me	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Error tip		Error típ. asimetría	
	Mediana					curtosis	Asimetría		
Molina De Aragon	<b>7,3</b>	7,3	1,55	4,3	10,5	-0,67	0,82	0,06	0,42
Burgos-Villafria	<b>8,9</b>	8,6	1,29	6,1	11,2	-0,88	0,82	-0,10	0,42
Soria	<b>9,3</b>	9,4	1,35	5,9	11,3	-0,45	0,82	-0,32	0,42
Lugo/Rozas	<b>9,9</b>	9,8	1,24	8,0	12,4	-1,05	0,86	0,33	0,44
Salamanca Aeropuerto	<b>10,0</b>	9,6	1,48	7,2	13,1	-0,56	0,82	0,24	0,42
Valladolid (Villanubla)	<b>10,1</b>	10,3	1,46	7,4	12,8	-0,73	0,82	-0,22	0,42
Leon Virgen Del Camino	<b>10,1</b>	10,1	1,55	7,5	13,3	-0,79	0,82	0,25	0,42
Vitoria Aerodromo	<b>10,2</b>	10,2	1,26	7,7	12,6	-0,97	0,61	-0,16	0,31
Guadalajara (Instituto)	<b>10,4</b>	10,6	1,70	7,5	13,3	-0,75	0,85	-0,13	0,43
Valladolid	<b>11,3</b>	11,0	1,45	7,8	14,0	-0,37	0,83	-0,18	0,43
Ponferrada	<b>11,5</b>	11,6	1,26	9,7	13,9	-1,13	0,82	0,20	0,42
Daroca	<b>11,6</b>	11,4	1,34	8,8	13,8	-0,75	0,82	-0,15	0,42
Braganca	<b>11,7</b>	11,6	1,35	9,3	14,1	-0,87	0,82	0,11	0,42
S. Compostela/Labacolla	<b>11,9</b>	12,0	1,05	10,2	13,8	-1,22	0,82	-0,04	0,42
Cuenca	<b>12,0</b>	12,5	1,37	9,3	13,8	-0,95	0,82	-0,59	0,42
Zamora	<b>12,0</b>	11,8	1,36	10,3	15,0	-0,87	0,82	0,44	0,42
Ourense	<b>12,4</b>	12,6	1,38	10,1	14,8	-1,28	0,83	-0,08	0,43
Pamplona (Observatorio)	<b>12,5</b>	12,2	1,20	10,2	14,5	-0,99	0,82	0,09	0,42
Granada/Aeropuerto	<b>12,9</b>	12,9	1,25	10,7	15,2	-0,79	0,83	-0,27	0,43
Logrono-Agoncillo	<b>12,9</b>	12,9	1,19	10,9	15,3	-1,01	0,82	0,15	0,42
A Coruna/Alvedro	<b>12,9</b>	12,8	1,16	11,0	14,7	-1,22	0,83	0,17	0,43
Oviedo	<b>13,1</b>	13,3	1,15	11,3	15,4	-0,97	0,83	0,12	0,43
Madrid/Torrejon	<b>13,3</b>	13,5	1,34	10,3	15,7	-0,85	0,60	-0,19	0,30
Albacete Los Llanos	<b>13,5</b>	13,8	1,18	11,4	16,0	-0,45	0,82	-0,33	0,42
Colmenar Viejo/Famet	<b>13,6</b>	13,6	1,45	11,1	17,9	1,53	0,83	0,61	0,43
Huesca	<b>13,6</b>	13,7	1,35	11,1	16,9	0,06	0,82	0,06	0,42
Asturias/Aviles	<b>13,7</b>	13,6	1,06	11,7	15,7	-0,89	0,83	0,13	0,43
Vigo Peinador	<b>13,8</b>	14,0	1,04	11,9	15,7	-0,70	0,82	0,07	0,42
Bilbao Aeropuerto	<b>13,8</b>	13,9	1,26	11,1	16,0	-0,72	0,60	-0,31	0,30
Girona/Costa Brava	<b>14,1</b>	14,2	1,18	11,5	16,6	-0,16	0,83	-0,03	0,43
Santander/Parayas	<b>14,4</b>	14,4	1,06	12,0	16,5	-0,51	0,82	-0,01	0,42
Granada	<b>14,4</b>	14,4	1,13	12,0	16,4	-0,46	0,82	-0,30	0,42
Madrid/Getafe	<b>14,6</b>	14,7	1,40	12,0	16,6	-1,12	0,82	-0,33	0,42
S. Sebastian/Fuenterrabia	<b>14,7</b>	14,5	1,07	12,7	16,8	-0,93	0,82	0,11	0,42
San Sebastian - Igueldo	<b>14,8</b>	14,7	1,05	13,0	16,4	-1,22	0,82	0,01	0,42
Ciudad Real	<b>14,8</b>	15,3	1,11	12,9	16,6	-1,22	0,60	-0,46	0,31
Toledo Lorenzana	<b>15,0</b>	15,1	1,22	13,0	16,8	-1,19	0,82	-0,33	0,42
Madrid - Retiro	<b>15,0</b>	15,2	1,44	12,0	18,1	-0,42	0,60	-0,21	0,30
Zaragoza Aeropuerto	<b>15,2</b>	15,1	1,01	13,5	17,5	-0,35	0,82	0,33	0,42
A Coruna	<b>15,2</b>	15,0	0,77	14,0	16,7	-1,11	0,82	0,27	0,42
Badajoz/Talavera La Real	<b>15,2</b>	15,4	1,15	13,0	17,0	-1,04	0,82	-0,31	0,42
Beja	<b>15,5</b>	15,7	1,11	12,9	18,1	0,88	0,82	-0,46	0,42
Santander Centro	<b>15,8</b>	15,8	1,04	14,0	17,8	-0,93	0,60	0,05	0,30
Caceres Ciudad	<b>16,2</b>	16,2	1,42	13,4	19,0	-0,28	0,82	0,02	0,42
Barcelona -Fabra	<b>16,6</b>	16,7	1,23	13,9	19,5	0,39	0,82	-0,33	0,42
Reus/Aeropuerto	<b>16,7</b>	16,8	1,08	14,7	18,5	-0,79	0,82	-0,02	0,42
Moron De La Frontera	<b>16,8</b>	17,1	1,22	14,0	18,7	0,39	0,82	-0,74	0,42
Cordoba Aeropuerto	<b>16,9</b>	17,2	1,23	14,5	18,9	-1,02	0,82	-0,41	0,42
Jerez De La Frontera	<b>17,0</b>	17,0	1,22	14,2	19,3	0,39	0,82	-0,59	0,42
Murcia/Alcantarilla	<b>17,4</b>	17,5	1,06	15,0	19,4	-0,31	0,82	-0,34	0,42
Barcelona/Aeropuerto	<b>17,5</b>	17,5	1,18	14,9	20,6	0,92	0,82	0,11	0,42
Tortosa - Del Ebro	<b>17,5</b>	17,3	0,86	15,9	19,1	-0,57	0,82	0,27	0,42
Lisboa Geofisica	<b>17,7</b>	17,7	0,80	16,1	19,9	0,94	0,82	0,38	0,42
Murcia	<b>17,9</b>	18,0	1,21	14,8	20,1	-0,02	0,82	-0,48	0,42
Castellon	<b>18,1</b>	18,4	1,07	15,9	20,0	-0,44	0,83	-0,49	0,43
Sevilla/San Pablo	<b>18,3</b>	18,5	1,16	15,7	19,9	-0,68	0,82	-0,57	0,42
Valencia/Aeropuerto	<b>18,3</b>	18,8	1,06	15,8	19,8	-0,47	0,83	-0,68	0,43
Alicante	<b>18,5</b>	18,6	1,06	16,8	20,8	-0,52	0,82	0,25	0,42
Malaga Aeropuerto	<b>18,8</b>	19,0	0,92	16,8	21,1	0,22	0,82	0,02	0,42
Murcia/San Javier	<b>18,9</b>	18,9	1,33	15,6	21,0	0,35	0,82	-0,69	0,42
Alicante El Altet	<b>18,9</b>	19,0	1,08	16,9	21,1	-0,83	0,83	-0,04	0,43
Valencia	<b>19,1</b>	19,3	0,94	17,2	21,0	-0,44	0,82	-0,20	0,42
Tarifa	<b>19,1</b>	19,0	1,08	17,4	21,0	-1,22	0,82	0,14	0,42
Almeria	<b>20,0</b>	20,2	1,22	17,2	22,8	0,37	0,61	-0,39	0,31
Cadiz	<b>20,4</b>	20,6	1,05	17,8	22,4	0,29	0,83	-0,58	0,43

**Tabla 6.** Estadísticos descriptivos para DI en mm de las estaciones utilizadas.

NOMBRE	Media	Mediana	Desv.	Mínimo	Máximo	Curtosis	Error	Asimetría	Error típ.
Cordoba Aeropuerto	<b>-219,3</b>	-226,0	50,77	-316,0	-81,0	1,72	0,82	0,87	0,42
Granada/Aeropuerto	<b>-209,8</b>	-218,0	32,84	-261,0	-120,0	1,09	0,83	1,02	0,43
Sevilla/San Pablo	<b>-202,0</b>	-200,0	47,40	-321,0	-117,0	-0,05	0,82	-0,48	0,42
Badajoz/Tlaveria LaReal	<b>-200,1</b>	-201,0	42,11	-277,0	-98,0	-0,04	0,82	0,19	0,42
Granada	<b>-178,1</b>	-185,0	33,32	-226,0	-98,0	-0,18	0,82	0,67	0,42
Jerez De La Frontera	<b>-177,8</b>	-176,0	40,61	-245,0	-71,0	0,09	0,82	0,32	0,42
Beja	<b>-176,5</b>	-185,0	43,42	-260,0	-98,0	-0,68	0,82	0,22	0,42
Murcia/Alcantarilla	<b>-159,6</b>	-162,0	38,60	-220,0	-71,0	-0,20	0,82	0,62	0,42
Murcia	<b>-157,4</b>	-165,0	36,10	-229,0	-67,0	0,08	0,82	0,45	0,42
Madrid/Getafe	<b>-136,5</b>	-139,0	31,83	-188,0	-60,0	-0,49	0,82	0,34	0,42
Albacete Los Llanos	<b>-132,8</b>	-155,0	57,34	-207,0	16,0	-0,04	0,82	0,91	0,42
Caceres Ciudad	<b>-127,1</b>	-133,0	63,99	-207,0	42,0	1,26	0,82	1,22	0,42
Malaga Aeropuerto	<b>-117,6</b>	-132,0	39,41	-179,0	2,0	1,65	0,82	1,14	0,42
Madrid - Retiro	<b>-114,0</b>	-116,5	34,35	-181,0	-28,0	-0,41	0,60	0,32	0,30
Zaragoza Aeropuerto	<b>-110,4</b>	-107,0	37,95	-188,0	5,0	1,63	0,82	0,51	0,42
Valladolid	<b>-105,9</b>	-113,0	40,29	-188,0	-17,0	0,04	0,83	0,47	0,43
Zamora	<b>-104,3</b>	-103,0	37,12	-183,0	-36,0	-0,55	0,82	-0,10	0,42
Salamanca Aeropuerto	<b>-102,4</b>	-104,0	38,64	-183,0	-42,0	-0,72	0,82	-0,15	0,42
Almeria	<b>-95,3</b>	-101,5	28,84	-139,0	-38,0	-0,73	0,61	0,23	0,31
Ourense	<b>-86,2</b>	-91,0	59,54	-177,0	65,0	-0,08	0,83	0,51	0,43
Valladolid (Villanubla)	<b>-82,4</b>	-87,0	41,64	-170,0	22,0	0,81	0,82	0,37	0,42
Huesca	<b>-80,9</b>	-81,0	46,43	-153,0	25,0	-0,54	0,82	0,24	0,42
Logrono-Agoncillo	<b>-79,2</b>	-85,0	44,05	-161,0	7,0	-0,42	0,82	0,22	0,42
Daroca	<b>-77,3</b>	-77,0	40,66	-175,0	-14,0	-0,52	0,82	-0,36	0,42
Alicante El Altet	<b>-75,0</b>	-78,0	50,64	-146,0	47,0	0,21	0,83	0,78	0,43
Molina De Aragon	<b>-74,6</b>	-72,0	41,64	-161,0	-17,0	-0,41	0,82	-0,58	0,42
Tortosa - Del Ebro	<b>-74,4</b>	-80,0	58,72	-197,0	130,0	4,47	0,82	0,91	0,42
Ciudad Real	<b>-71,1</b>	-53,0	98,07	-230,0	85,0	-1,60	0,60	0,01	0,31
Alicante	<b>-68,3</b>	-89,0	60,81	-128,0	118,0	2,76	0,82	1,70	0,42
Braganca	<b>-65,1</b>	-74,0	55,59	-151,0	56,0	-0,66	0,82	0,54	0,42
Lisboa Geofisica	<b>-63,1</b>	-64,0	52,73	-141,0	72,0	-0,09	0,82	0,49	0,42
Ponferrada	<b>-59,0</b>	-56,0	48,26	-161,0	56,0	-0,21	0,82	0,02	0,42
Colmenar Viejo/Famet	<b>-58,3</b>	-44,5	47,41	-149,0	25,0	-0,67	0,83	-0,49	0,43
Murcia/San Javier	<b>-54,0</b>	-69,0	47,23	-138,0	109,0	3,53	0,82	1,39	0,42
Soria	<b>-50,3</b>	-53,0	43,52	-148,0	81,0	1,98	0,82	0,35	0,42
Burgos-Villafria	<b>-46,4</b>	-43,0	50,99	-155,0	74,0	0,30	0,82	-0,15	0,42
Leon Virgen DelCamino	<b>-42,1</b>	-51,0	49,70	-143,0	79,0	0,16	0,82	0,27	0,42
Valencia/Aeropuerto	<b>-39,9</b>	-55,0	65,35	-146,0	125,0	0,69	0,83	0,95	0,43
Guadalajara (Instituto)	<b>-29,2</b>	-28,0	31,56	-82,0	60,0	0,80	0,85	0,61	0,43
Castellon	<b>-26,4</b>	-36,5	67,13	-122,0	191,0	3,43	0,83	1,57	0,43
Cadiz	<b>-25,5</b>	-28,0	30,71	-99,0	37,0	0,02	0,83	-0,25	0,43
Girona/Costa Brava	<b>-21,5</b>	-16,5	55,34	-149,0	103,0	0,46	0,83	-0,18	0,43
Valencia	<b>-12,4</b>	-23,0	59,66	-129,0	146,0	1,21	0,82	0,78	0,42
Pamplona	<b>-6,2</b>	-21,0	54,16	-81,0	102,0	-0,93	0,82	0,47	0,42
Vitoria Aerodromo	<b>-4,4</b>	0,0	57,61	-116,0	107,0	-0,46	0,61	-0,02	0,31
Madrid/Torrejon	<b>-0,2</b>	-6,0	32,15	-56,0	75,0	-0,60	0,60	0,34	0,30
Moron De La Frontera	<b>5,1</b>	3,0	45,19	-84,0	101,0	-0,23	0,82	0,13	0,42
Reus/Aeropuerto	<b>5,9</b>	3,0	64,06	-141,0	160,0	1,50	0,82	-0,02	0,42
Cuenca	<b>10,6</b>	2,0	41,41	-73,0	90,0	-0,65	0,82	0,16	0,42
Toledo Lorenzana	<b>18,3</b>	20,0	26,58	-27,0	73,0	-0,49	0,82	0,23	0,42
Tarifa	<b>22,8</b>	18,0	47,38	-65,0	105,0	-1,10	0,82	0,04	0,42
Lugo/Rozas	<b>28,8</b>	29,0	71,30	-104,0	156,0	-1,01	0,86	-0,12	0,44
Barcelona -Fabra	<b>36,2</b>	32,0	61,55	-93,0	163,0	0,07	0,82	0,14	0,42
Barcelona/Aeropuerto	<b>59,3</b>	56,0	54,00	-54,0	200,0	0,64	0,82	0,49	0,42
A Coruna/Alvedro	<b>74,0</b>	76,0	65,05	-88,0	179,0	0,04	0,83	-0,51	0,43
Bilbao Aeropuerto	<b>84,0</b>	92,5	77,40	-155,0	200,0	0,29	0,60	-0,59	0,30
S.Compostela/Labacolla	<b>94,4</b>	103,0	73,62	-53,0	200,0	-0,60	0,82	-0,33	0,42
Oviedo	<b>98,1</b>	101,0	66,37	-20,0	200,0	-0,70	0,83	-0,18	0,43
Vigo Peinador	<b>102,4</b>	105,0	67,83	-39,0	200,0	-0,45	0,82	-0,26	0,42
A Coruna	<b>118,5</b>	128,0	46,98	-17,0	200,0	1,20	0,82	-0,67	0,42
Santander/Parayas	<b>122,6</b>	143,0	70,22	-71,0	200,0	0,80	0,82	-1,10	0,42
Asturias/Aviles	<b>134,2</b>	144,0	64,80	-29,0	200,0	-0,02	0,83	-0,80	0,43
Santander Centro	<b>148,2</b>	174,0	61,72	-31,0	200,0	0,93	0,60	-1,31	0,30
S.Sebastian/Fuenterrabia	<b>180,2</b>	200,0	36,31	61,0	200,0	3,86	0,82	-2,10	0,42
San Sebastian - Igueldo	<b>194,9</b>	200,0	13,06	146,0	200,0	7,42	0,82	-2,82	0,42

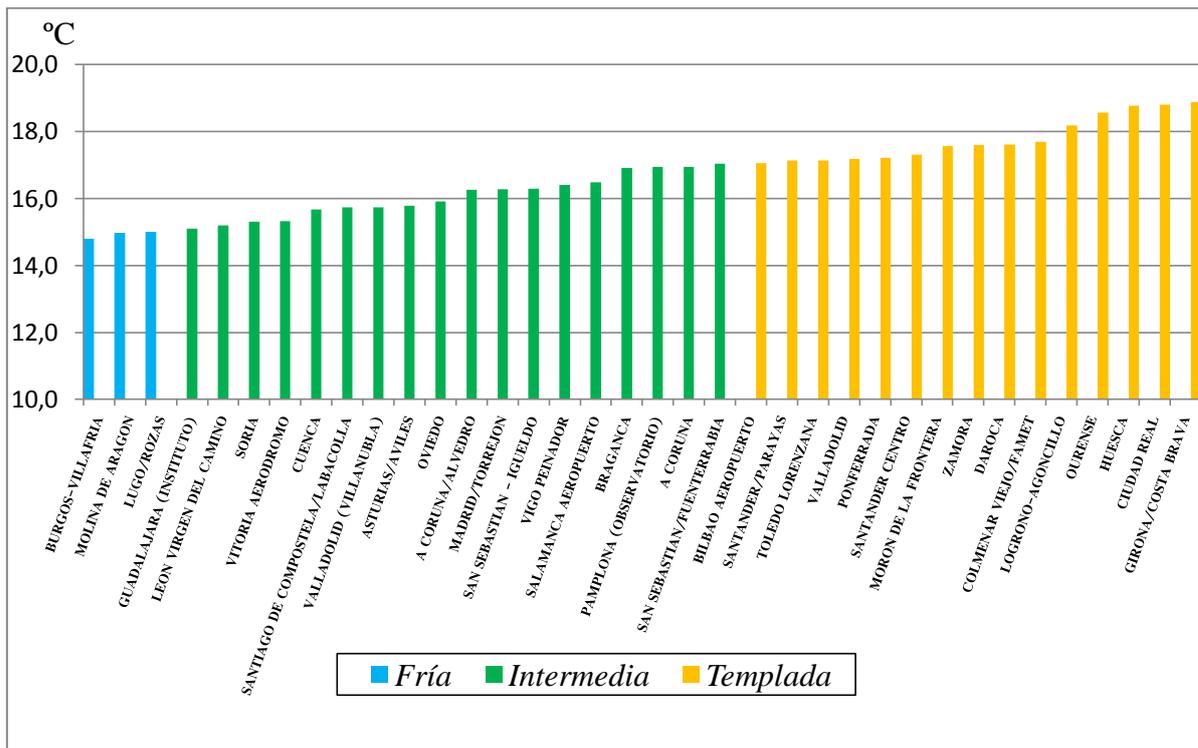
*ANEXO II*

*Gráficos de clasificación de los índices*

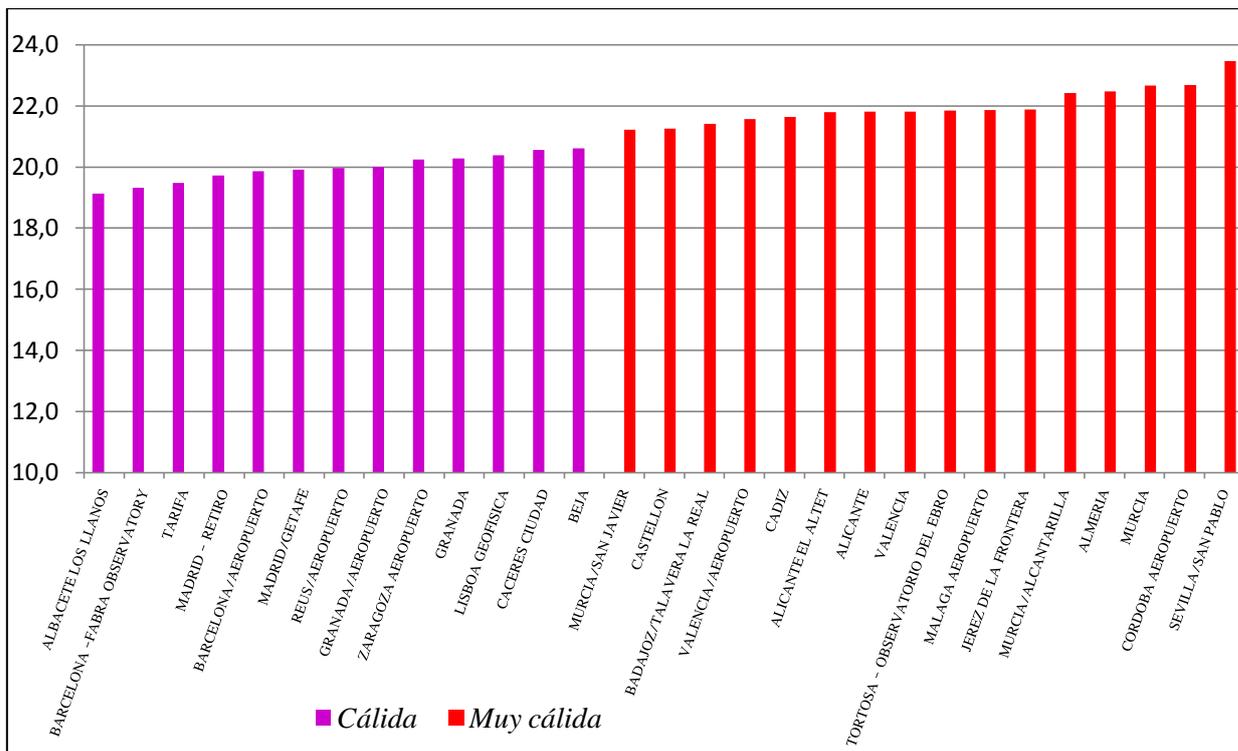
*GST, GDD, HI BEDD, CI y DI*



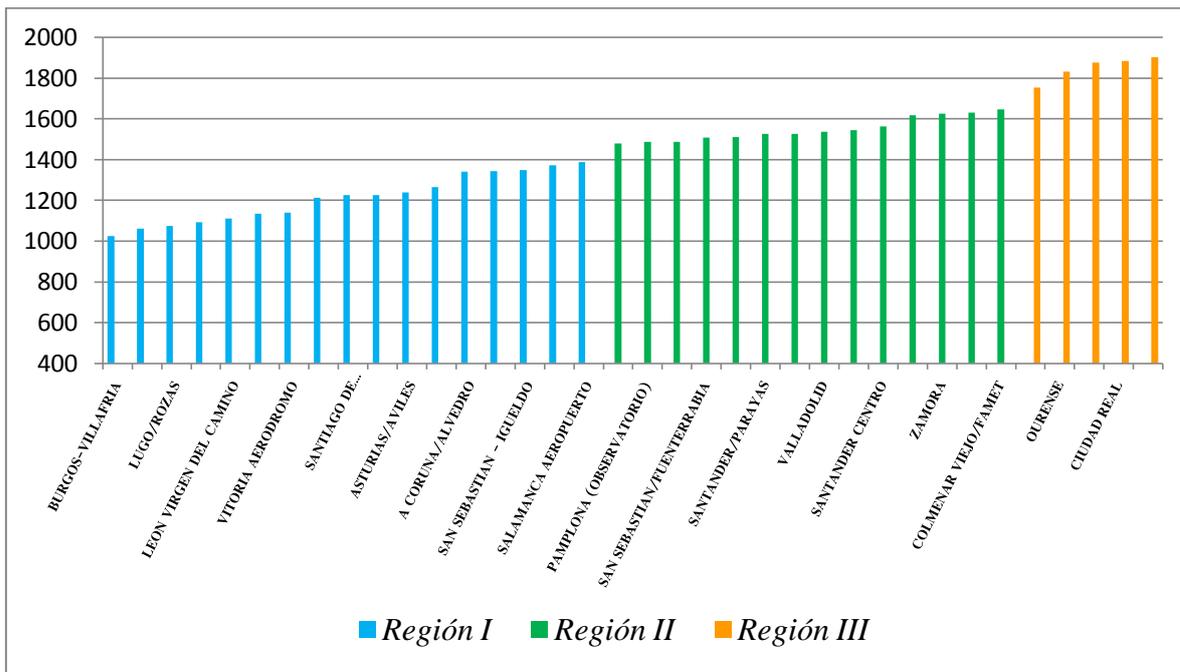
**Figura 1** Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases *Fría*, *Intermedia* y *Templada* del índice GST en °C.



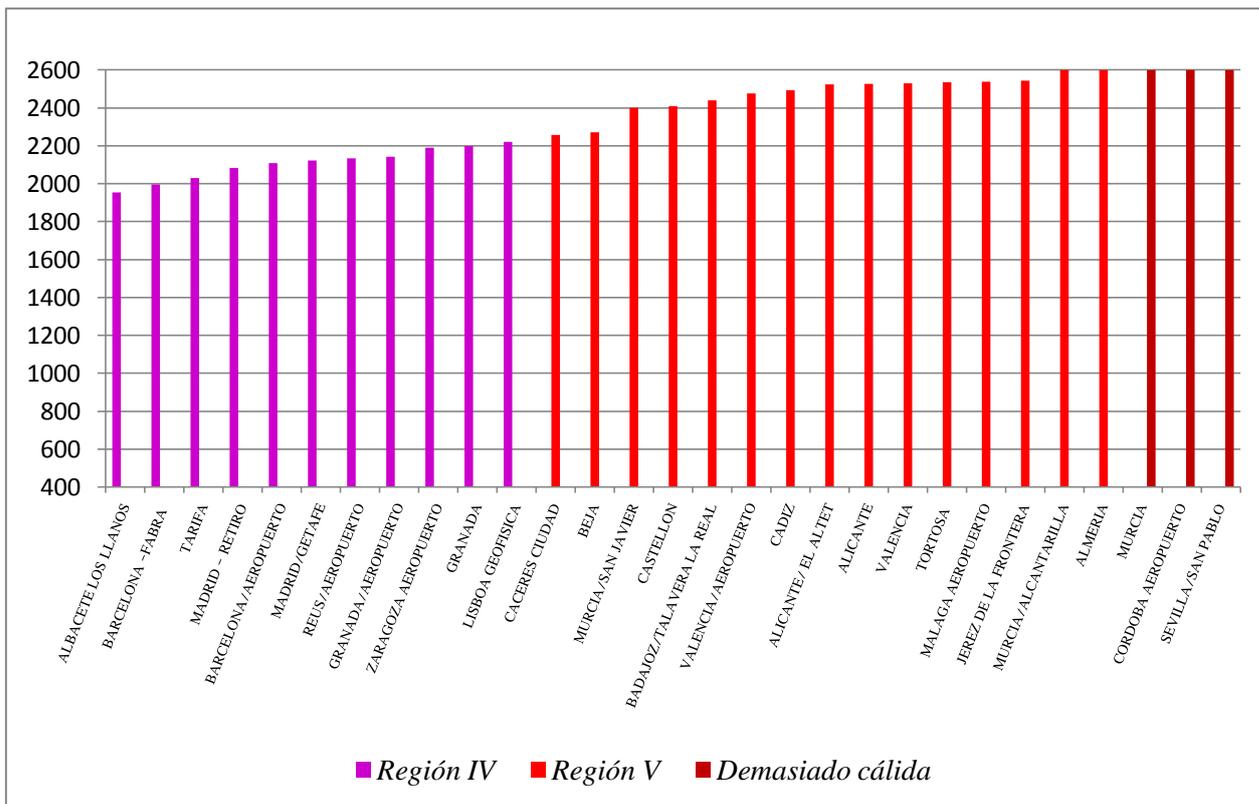
**Figura 2.** Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases *Calida* y *Muy Calida* del índice GST en °C.



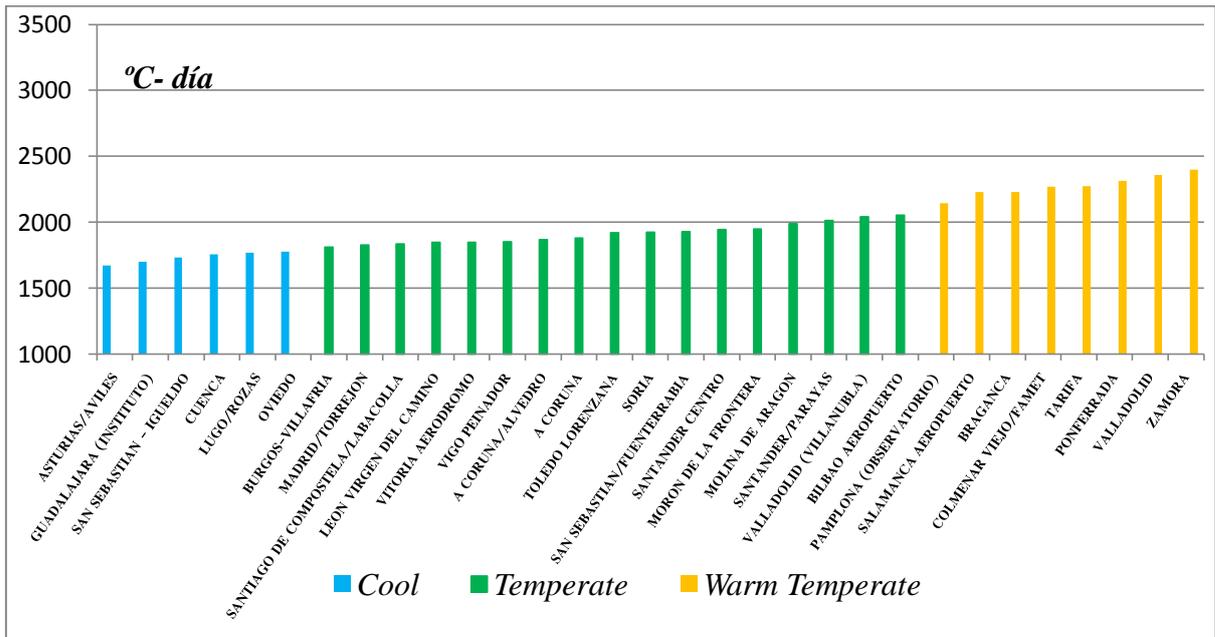
**Figura 3.** Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases *Región I*, *Región II* y *Región III*, para el índice GDD en °C-día.



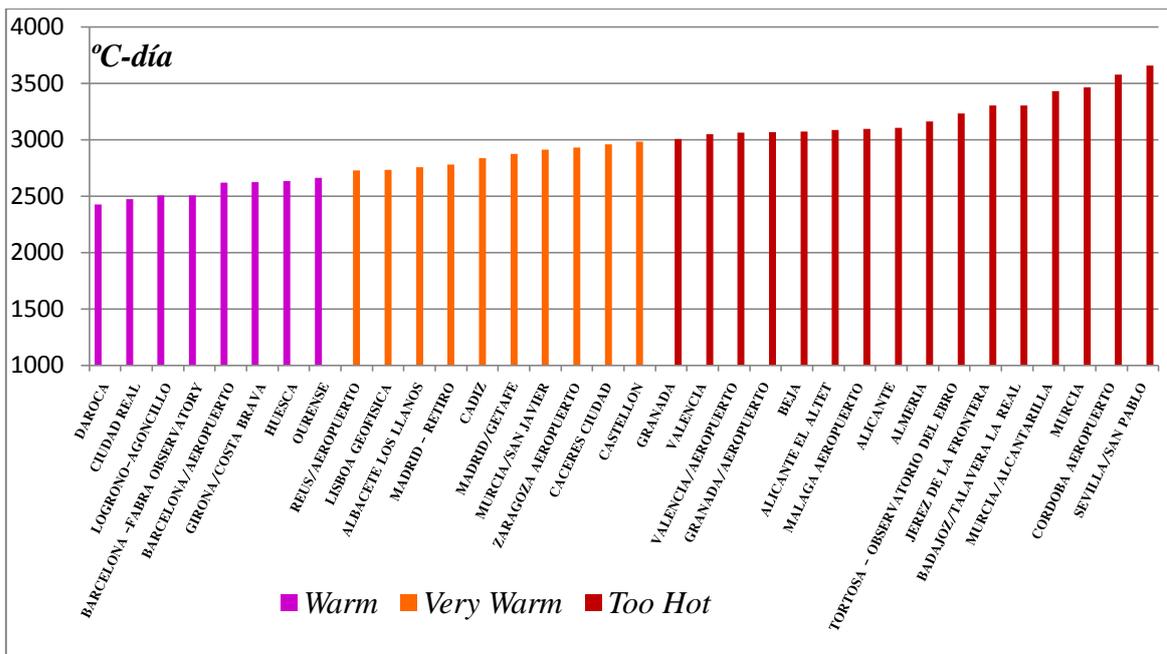
**Figura 4** Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases *Región IV*, *Región V* y *Demasiado cálida* del índice GDD en °C-día.



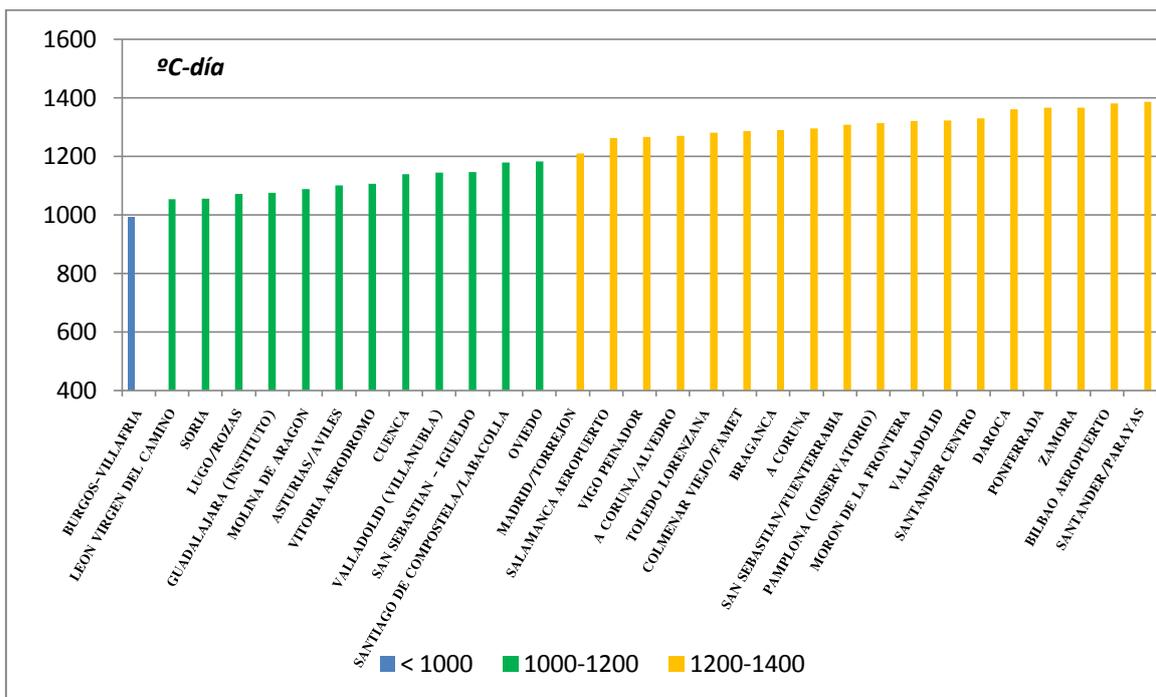
**Figura 5.** Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases *Fría*, *Templada*, *Cálida/Templada* del índice HI en °C-día.



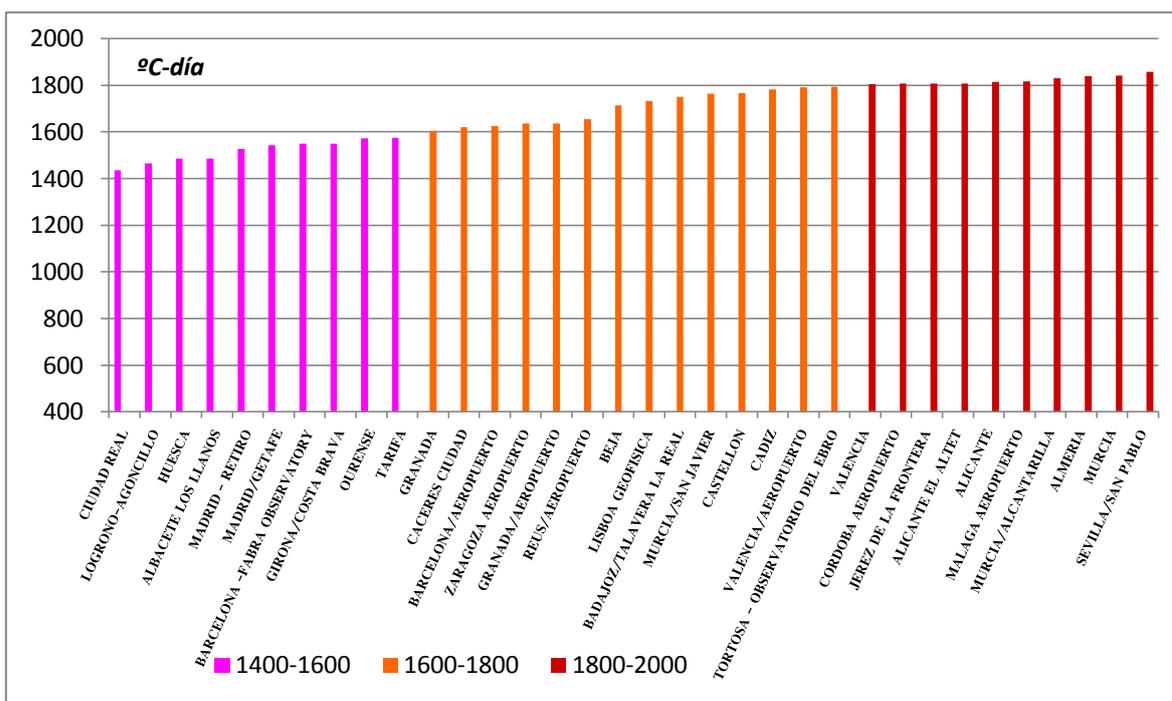
**Figura 6.** Clasificación de las estaciones utilizadas según las clases *Cálida*, *Muy Cálida*, *Demasiado Cálida*, del índice HI en °C-día.



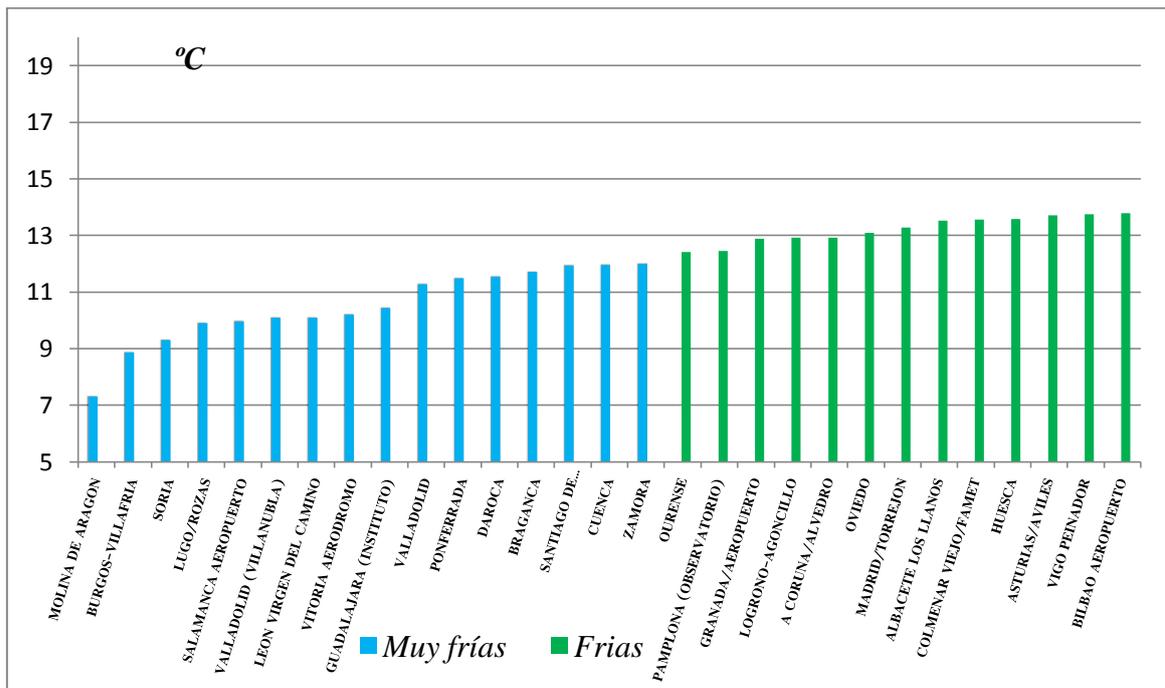
**Figura 7.** Clasificación de las estaciones utilizadas según las tres primeras clases, del índice BEDD en °C-día.



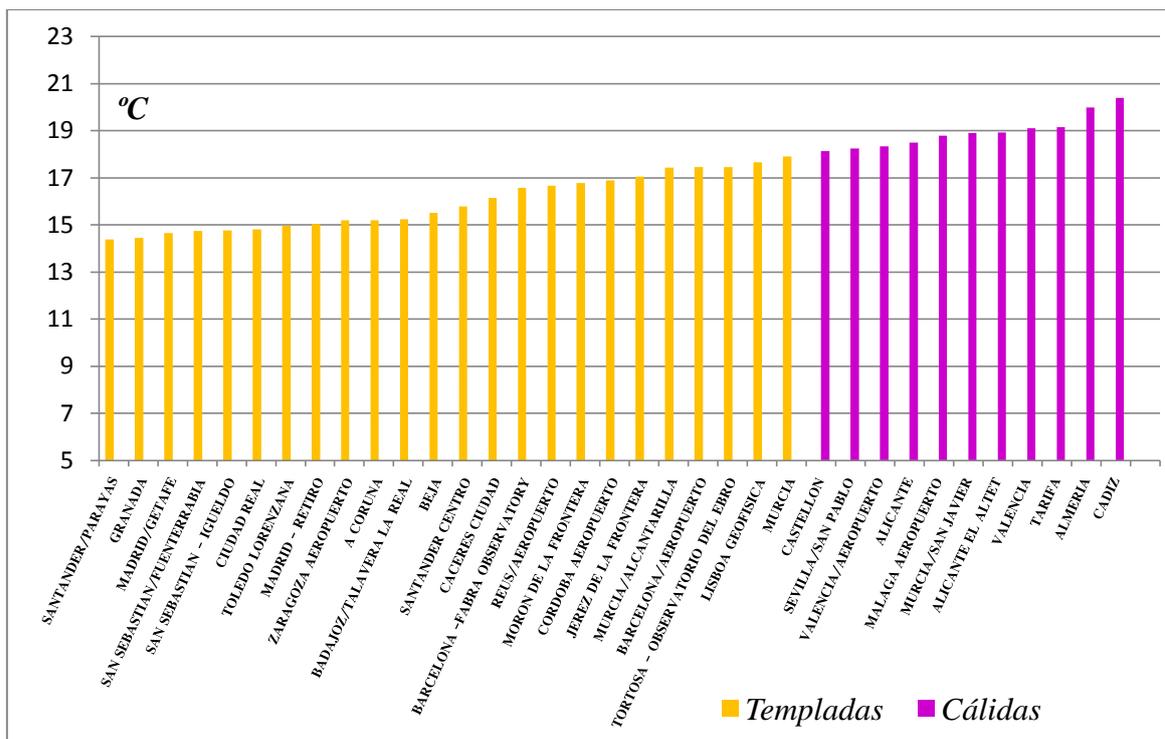
**Figura 8.** Clasificación de las estaciones utilizadas según las tres últimas clases, del índice BEDD en °C-día.



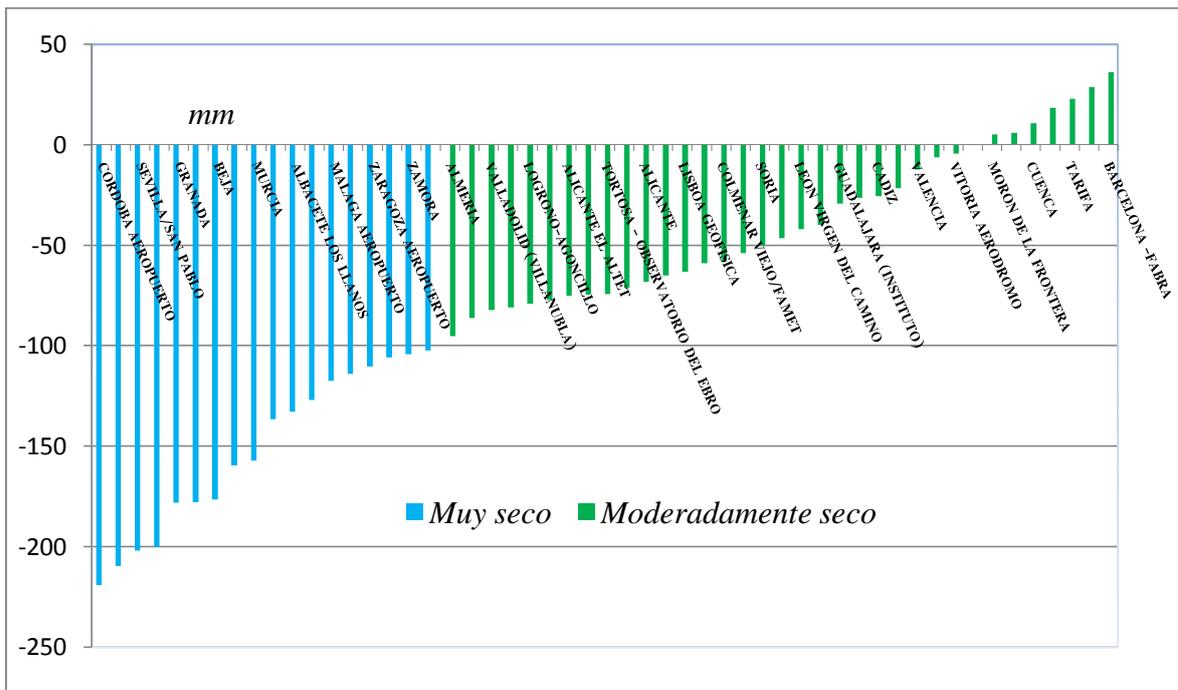
**Figura 9.** Clasificación de las estaciones utilizadas *Muy Frías* y *Frías* según las noches en periodo de maduración, índice CI en °C.



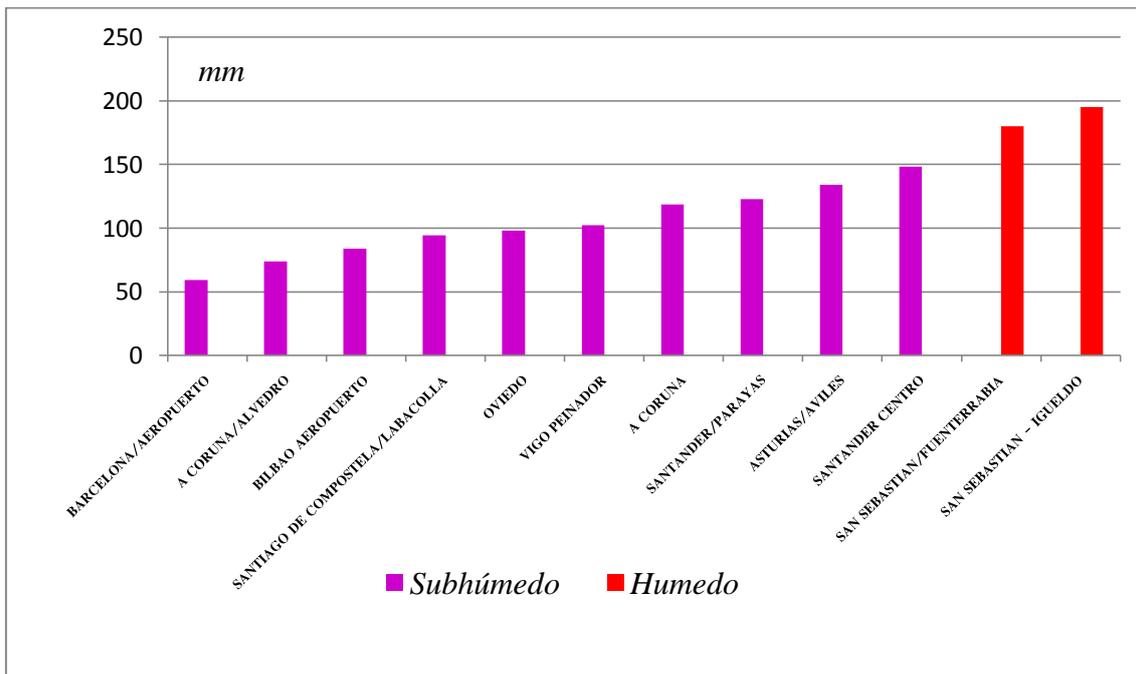
**Figura 10.** Clasificación de las estaciones utilizadas según las noches *Templadas* y *Cálidas* en periodo de maduración, índice CI en °C.



**Figura 11.** Clasificación de las estaciones para el índice DI en las clases *Muy Seco* y *Moderadamente Seco* mm.



**Figura 11.** Clasificación de las estaciones en las clases *Subhúmedo* y *Húmedo* del índice DI, en mm.



*III Mapa de las denominaciones de origen  
protegidas de vinos de España*



