

TESIS DOCTORAL

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS
Y ENOLÓGICOS QUE DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS
TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN RIBERA DEL DUERO.

JOSÉ CARLOS ÁLVAREZ RAMOS

LEÓN 2015





UNIVERSIDAD DE LEÓN

Instituto de Investigación de la Viña y el Vino

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN RIBERA DEL DUERO.

José Carlos Álvarez Ramos

León 2015

Director: Dr. José Enrique Garzón Jimeno
Co-Director: Dr. Miguel Ángel Olego Morán



INFORME DEL DIRECTOR DE LA TESIS

El Dr. D. José Enrique Garzón Jimeno como Director y el Dr. D. Miguel Ángel Olego Morán como Co-director de la Tesis Doctoral titulada “Identificación de los factores edáficos, climáticos y enológicos que definen las características de los terroirs en la Denominación de Origen Ribera del Duero”, realizada por D. José Carlos Álvarez Ramos en el programa de doctorado Tecnologías Agrarias, informan favorablemente el depósito de la misma, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Dr. Enrique Garzón Jimeno
Director

Dr. Miguel Ángel Olego Morán
Co- Director

En León a ____ de noviembre de 2015

A Marta, Javier y María

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a una serie de personas que han sido fundamentales a lo largo de todo este tiempo y me han ayudado a conseguir realizar este trabajo y sin las cuales no habría sido posible.

Mi más profunda gratitud a los directores de esta Tesis:

Al Dr. José Enrique Garzón Jimeno, compañero incansable de trabajo y de viajes por la geografía vitivinícola Europea, colaborador de multitud de conferencias sobre el mundo del terroir y la viticultura de respeto y un maestro eminente de la edafología vitivinícola española, y al Dr. Miguel Ángel Olego Morán, su perseverancia y dedicación han sido claves para la consecución de esta tesis doctoral, demostrando en todo momento su alta capacidad investigadora y humana.

Al Consejo Regulador de la Denominación de Origen Ribera del Duero y en especial a D. Alberto Tobes Velasco, Director del Departamento de Investigación y Ensayo por su disposición y colaboración en muchos de los datos de este trabajo.

Al Instituto de Investigación de la Viña y el Vino de la Universidad de León y a todos sus colaboradores.

Al Dr. Jose Luis Villarías Moradillo, por inculcarme los valores de la investigación y el esfuerzo con el ejemplo de toda su carrera profesional en el mundo de fitotecnia, los cultivos agrícolas y la viticultura.

A mi amigo Paco Casas Fernández por darme ánimos y acompañarme tantos años fuera y dentro de la enología.

INDICE

1	ÍNDICE DE TABLAS	16
2	ÍNDICE DE figuras	16
3	ABREVIATURAS.....	21
4	INTRODUCCIÓN	25
4.1	EL CONCEPTO DE TERROIR	25
4.1.1	El concepto de terroir en la historia.....	26
4.1.2	Factores naturales que determinan el terroir.....	28
4.1.3	Elementos clave para la expresión del terroir.....	39
4.2	HISTORIA DE LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN RIBERA DEL DUERO.....	41
4.3	EL CLIMA EN LA D.O. RIBERA DEL DUERO	46
4.3.1	ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS EN LA D.O. RIBERA DEL DUERO	47
4.4	LOS SUELOS EN LA D.O. RIBERA DEL DUERO.....	48
4.4.1	GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL DUERO	48
4.4.2	GEOMORFOLOGÍA DE LA D.O. RIBERA DEL DUERO	49
4.5	EL CULTIVAR TEMPRANILLO	51
4.5.1	CARACTERIZACIÓN DEL CV. TEMPRANILLO.....	51
4.6	LA MADUREZ ÓPTIMA DE LAS BAYAS DE VID	54
4.6.1	El ácido L-málico.....	56
4.6.2	La madurez fenólica	57
5	OBJETIVOS	61
6	MATERIALES Y MÉTODOS.....	65
6.1	Localización geográfica de los viñedos objeto de estudio	65
6.2	Muestreo de bayas (parámetros enológicos)	67
6.2.1	Análisis del peso de 100 bayas (P100).....	68
6.2.2	Análisis del grado alcohólico probable.....	68
6.2.3	Análisis del pH	68
6.2.4	Análisis de la acidez total	69
6.2.5	Análisis del ácido málico.....	69
6.2.6	Análisis de la extractabilidad de los antocianos.....	69
6.3	Muestreo de suelos (parámetros edáficos)	69
6.3.1	Determinación de la clase textural.....	70
6.3.2	pH en agua.....	70

6.3.3	Conductividad eléctrica.....	70
6.3.4	Materia orgánica del suelo.....	70
6.3.5	Bases de cambio (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ y K ²⁺).....	71
6.3.6	Fósforo soluble en bicarbonato sódico (Método Olsen).....	71
6.3.7	Micronutrientes (Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Cu ²⁺ y Zn ²⁺)	71
6.4	Parámetros climáticos.....	72
6.5	El procedimiento de la regresión lineal múltiple	74
6.6	El procedimiento de análisis de componentes principales.....	76
6.7	El procedimiento de análisis de correlación canónica	77
7	RESULTADOS	81
7.1	Estadísticos descriptivos y relaciones bivariadas.....	81
7.2	Análisis de Componentes Principales.....	95
7.2.1	Parámetros edáficos.....	95
7.2.2	Parámetros enológicos.....	98
7.3	Análisis de Correspondencias Canónicas	99
7.4	Modelización del ácido L-málico	101
7.4.1	Diagnóstico de la multicolinealidad	101
7.4.2	Selección del modelo de regresión óptimo.....	101
7.4.3	Importancia relativa de los parámetros predictivos	103
7.4.4	Validación del modelo.....	103
7.5	Modelización de la extractabilidad de los antocianos	104
7.5.1	Diagnóstico de la multicolinealidad	104
7.5.2	Selección del modelo de regresión óptimo.....	104
7.5.3	Importancia relativa de los parámetros predictivos	106
7.5.4	Validación del modelo.....	106
8	DISCUSIÓN.....	109
8.1	Estudiar el nivel de significancia en la relación entre el estado de fertilidad del suelo y las cualidades del mosto obtenido de los viñedos asentados sobre tales suelos	109
8.2	Modelización de los niveles de ácido L-málico en el momento de cosecha.....	110
8.3	Modelización de los niveles de extractabilidad de los antocianos en el momento de cosecha.....	114
8.4	Evaluar la importancia relativa de cada uno de los parámetros predictivos que colaboran de forma significativa en la predicción de cada uno de los parámetros modelizados	117

8.5	Evaluar el grado de éxito en los niveles de predicción en cada uno de los modelos desarrollados.....	117
8.6	Perspectivas de futuro	118
9	CONCLUSIONES:	121
10	BIBLIOGRAFÍA	125
11	ANEXOS	139
12	PRODUCCION CIENTIFICA.....	203

1 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Localización geográfica de los viñedos objeto de estudio. Coordenadas X e Y (m).....	65
Tabla 2. Distancias euclídeas entre viñedos y estaciones meteorológicas EM (m).....	73
Tabla 3. Parámetros de fertilidad en los viñedos objeto de estudio. Contenidos de arena, limos y arcilla (%), periodo de estudio (años).....	81
Tabla 4. Parámetros de fertilidad en los viñedos objeto de estudio: CE (ds m^{-1}), MOS (%), P (mg kg^{-1}), Ca y Mg (cmol c kg^{-1}).	82
Tabla 5. Parámetros de fertilidad en los viñedos objeto de estudio. K (en cmol c kg^{-1}), Fe, Mn, Cu y Zn (mg kg^{-1}).....	83
Tabla 6. Parámetros enológicos y climáticos en los viñedos objeto de estudio. SST (Baumè) AT, AM (g/l), PB (g) y ITEV ($^{\circ}\text{C}$).	84
Tabla 7. Parámetros climáticos en los viñedos objeto de estudio. Unidades IRTEV ITFE ($^{\circ}\text{C}$), PFE PEV PVV (mm) y EA (mg/l).....	85
Tabla 8. Puntuaciones de los parámetros edáficos pH, MOS, K y Fe en los dos componentes extraídos en el ACP y varianzas explicada y acumulada por ambos componentes.	97
Tabla 9. Puntuaciones de los parámetros enológicos pH, AT y SST en los dos componentes extraídos en el ACP y varianzas explicada y acumulada por ambos componentes.	99
Tabla 10. Naturaleza de los variados canónicos extraídos en el ACC.	99
Tabla 11. Coeficientes estandarizados de los variados canónicos extraídos en el ACC.	100

2 ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. El término Terroir conceptualiza los factores medioambientales que influyen la composición de la uva y la calidad del vino (Fuente: VAUDOIR, 2003).....	27
Figura 2. El suelo constituye una parte fundamental del concepto terroir en Francia (Fuente: HUMORISTES ASSOCIÉS, 1980).	32
Figura 3. Terroir digital para un viñedo en Nueva Gales del Sur (Australia). El índice local ha sido calculado en base a los parámetros siguientes: exposición a la radiación solar, agua fácilmente disponible, relación arcilla/limo y profundidad del sistema radicular (Fuente: White, 2015).	33
Figura 4. Patrón generalizado en las franjas costeras de las corrientes convectivas de aire vespertinas en las laderas orientadas mar adentro y hacia el interior (Fuente: GLADSTONES, 2011).	37
Figura 5. Las condiciones naturales del medio vitícola condicionan la naturaleza de los vientos dominantes, si bien el viticultor puede actuar modulando determinados parámetros de los mismos (dirección e intensidad de los mismos).	38
Figura 6. Agrupamiento varietal basado en la temperatura media durante el período vegetativo de la vid. Las barras horizontales representan el intervalo térmico en el que cada cultivar madura y produce vinos de alta expresión en sus regiones de referencia. . Las líneas de trazos en las barras indican que el rango puede ampliarse o contraerse a medida que la	

disponibilidad de datos aumente, aunque variaciones superiores a $\pm 0,2-0,5$ °C son muy poco probables (Fuente: Jones et al., 2012).	40
Figura 7. Relieve, red hidrográfica y límites administrativos de la D.O. Ribera del Duero (Fuente: MOLINERO Y CAYETANO CASCO, 2011).....	45
Figura 8. Terroir del cv. Tempranillo en la DO Ribera del Duero.	46
Figura 9. Vitis vinifera L. cv. Tempranillo (Fuente: KERRIDGE Y ANTCLIFF, 1999).	51
Figura 10. Ampelografía de sumidad, hoja joven y hoja adulta en Vitis vinifera L. cv. Tempranillo (Fuente: MAGRAMA, 2015).	52
Figura 11. Ampelografía de racimo, fenología y aptitudes, agronómicas y enológicas, en Vitis vinifera L. cv. Tempranillo (Fuente: MAGRAMA, 2015).	53
Figura 12. Distribución espacial en la D.O. tanto de los viñedos objeto de seguimiento, como de las estaciones climatológicas (weather stations (WS)) durante el período de investigación (Fuente: GOOGLE EARTH, 2015; Fecha de la imagen: 10/X/2013. Acceso: VI/2015	66
Figura 13. Histogramas de distribución y correlaciones bivariadas existentes entre los parámetros enológicos y climáticos.....	87
Figura 14. Evolución del promedio global de los parámetros enológicos en el conjunto de viñedos objeto de estudio. EA (mg/l), PB (g), AM y AT (g/l) y.....	88
Figura 15. Variación en los niveles de los parámetros enológicos pH y AT en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. AT (g/l).....	89
Figura 16. Variación en los niveles de los parámetros enológicos SST y AM en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. SST (Baumè) y AM (g/l).	90
Figura 17. Variación en los niveles de los parámetros enológicos PB y EA en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. PB (g) y EA (mg/l).	91
Figura 18. Variación en los niveles de los parámetros climáticos ITEV y IRTEV en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. ITEV y IRTEV (°C).	92
Figura 19. Variación en los niveles de los parámetros climáticos ITFE y PFE en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. ITFE (°C) y PFE (mm).....	93
Figura 20. Variación en los niveles de los parámetros climáticos PEV y PVV en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. PEV y PVV (mm).	94
Figura 21. Variación en los niveles del parámetro climático IH en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento.....	95
Figura 22. Diagrama de dispersión biespacial para los dos primeros componentes extraídos a partir del ACP realizado para los parámetros edáficos.....	97
Figura 23. Diagrama de dispersión biespacial para los dos primeros componentes extraídos a partir del ACP realizado para los parámetros enológicos.	98
Figura 24. Correlaciones bivariadas entre los componentes extraídos en los ACPs.	100
Figura 25. Importancia relativa de los parámetros predictivos en la modelización del AM. ...	103
Figura 26. Importancia relativa de los parámetros predictivos en la modelización de la EA. ...	105
Figura 27. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADI. ITEV (°C)	140
Figura 28. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADI. ITFE y ITEV (°C), AT (g/l).....	141
Figura 29. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADI. ITEV (°C), PVV (mm), AM y AT (g/l)	142

Figura 30. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADII. SST (Baumè), ITEV (°C).....	143
Figura 31. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADII. ITFE y ITEV (°C), AT (g/l).....	144
Figura 32. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADII. ITEV (°C), AM y AT (g/l) y PVV (mm)	145
Figura 33. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en CR. SST (Baumè), ITEV (°C).....	146
Figura 34. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en CR. ITFE e ITEV (°C) y AT (g/l).....	147
Figura 35. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en CR. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	148
Figura 36. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en F. SST (Baumè) y ITEV (°C).....	149
Figura 37. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en F. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l).....	150
Figura 38. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en F. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	151
Figura 39. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMI. SST (Baumè), ITEV (°C).....	152
Figura 40. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	153
Figura 41. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	154
Figura 42. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMII. SST (Baumè), ITEV (°C).....	155
Figura 43. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMII. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	156
Figura 44. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	157
Figura 45. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHI. SST (Baumè), ITEV (°C).....	158
Figura 46. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	159
Figura 47. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	160
Figura 48. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHII. SST (Baumè), ITEV (°C).....	161
Figura 49. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHII. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	162
Figura 50. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	163
Figura 51. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en M. SST (Baumè), ITEV (°C).....	164

Figura 52. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en M. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	165
Figura 53. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en M. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)	166
Figura 54. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OD. SST (Baumè), ITEV (°C).....	167
Figura 55. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OD. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	168
Figura 56. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OD. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)	169
Figura 57. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OR. SST (Baumè), ITEV (°C).....	170
Figura 58. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OR. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	171
Figura 59. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OR. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)	172
Figura 60. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PdD. SST (Baumè), ITEV (°C).....	173
Figura 61. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PdD. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	174
Figura 62. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PdD. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	175
Figura 63. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. SST (Baumè), ITEV (°C).....	176
Figura 64. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	177
Figura 65. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)v	178
Figura 66. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFII. SST (Baumè), ITEV (°C).....	179
Figura 67. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFII. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	180
Figura 68. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)	181
Figura 69. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQI. SST (Baumè), ITEV (°C).....	182
Figura 70. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	183
Figura 71. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)	184
Figura 72. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQII. SST (Baumè), ITEV (°C).....	185
Figura 73. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQII. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	186

Figura 74. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	187
Figura 75. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QO. SST (Baumè), ITEV (°C).....	188
Figura 76. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QO. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	189
Figura 77. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QO. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)	190
Figura 78. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QP. SST (Baumè), ITEV (°C).....	191
Figura 79. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QP. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	192
Figura 80. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QP. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	193
Figura 81. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en SEG. SST (Baumè), ITEV (°C).....	194
Figura 82. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en SEG. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	195
Figura 83. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en SEG. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	196
Figura 84. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en VD. SST (Baumè), ITEV (°C).....	197
Figura 85. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en VD. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)	198
Figura 86. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en VD. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm).....	199

3 ABREVIATURAS

aC: Antes de Cristo
ACC: Análisis de correlación canónica.
ACP: Análisis de Componentes Principales
AD: Aranda de Duero
AIC: Criterio Informativo Akaike
AM: ácido málico
AT: Acidez total
BIC: Criterio Informativo de Bayes
C.R.D.O.: Consejo regulador de la Denominación de Origen
CE: Conductividad eléctrica
CR: Castillejo de Robledo
D.O.: Denominación de Origen
D: Distancias de Cook
dC: Después de Cristo
DTPA: Dietilen triamino pentacético
E: Envero
EA: Extractabilidad de los antocianos
EFA: Estado fenológico A
EFB: Estado fenológico B
EM_AD: Estación meteorológica Aranda de Duero
EM_LH: Estación meteorológica La Horra
EM_PF: Estación meteorológica Peñafiel
EM_SEG: Estación meteorológica San Esteban de Gormaz
EM_VD: Estación meteorológica Valbuena de Duero
EM_Vdc: Estación meteorológica Vadocondes
EM_VG: Estación meteorológica Villanueva de Gumiel
F: Fuentelcésped
FIV: Factor de inflación de la varianza
GM: Gumiel de Mercado
ha: hectárea
IH: Índice heliotérmico de Huglin
IRTEV: Integral de rangos térmicos diarios desde envero hasta vendimia.
ITEV: Integral de rangos térmicos diarios en vendimias.
ITFE: Integral de rangos térmicos diarios desde floración hasta envero.
LH: La Horra
M: Milagros
MOS: Materia orgánica del suelo
NADH: Nicotinamida adenina dinucleótido
OD: Olivares de Duero
OR: Olmedillo de Roa
P₁₀₀: Peso de 100 bayas
PB: Peso de baya
PdD: Pedrosa de Duero
PEV: Precipitación media diaria en vendimia
PF: Peñafiel
PFE: Precipitación media diaria en el estado fenológico del envero
PQ: Pesquera de Duero
PVV: Precipitación media diaria entre dos vendimias anual

QO: Quintanilla de Onésimo

QP: Quintana del Pidio

SEG: San Esteban de Gormaz

SST: Sólidos solubles totales

T_b: Temperatura base

T_{media}: temperatura media diaria

T_{mn}: temperatura mínima diaria

T_{mx}: temperatura máxima diaria

USDA: United States Department of Agriculture

V: Vendimia

VD: Valbuena de Duero

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO.

INTRODUCCIÓN



4 INTRODUCCIÓN

4.1 EL CONCEPTO DE TERROIR

El término terroir proviene del vocablo popular latino *terratorium*, deformación de *territorium* (VAUDOIR, 2003), siendo definido por SEGUIN (1988), como un ecosistema interactivo, en un lugar determinado, que engloba tres conceptos ligados entre sí: suelo, clima y cultivo, a los cuales se deben de sumar las prácticas culturales que el hombre pone en práctica cada ciclo de cultivo anual.

Pocos términos han causado tanto debate entre viticultores y enólogos, así como periodistas y científicos vinculados al mundo del vino, como este término francés. Demasiado a menudo, este término ha sido focalizado exclusivamente bajo el prisma del suelo sobre el que se encuentra localizado el viñedo, pero este vocablo francés alberga un significado mucho más sutil y complejo.

El término original francés ha significado siempre algo muy diferente al término de “suelo”, que en francés es “sol”. De hecho, se encuentra más íntimamente vinculado a la noción de territorio (en francés, “territoire”), derivado del latín *territorium*. Podría considerarse pues que “terroir” es un lugar vinculado a un espacio donde generaciones de seres humanos han creado un estilo de vida distintivo durante el cual han elaborado diversos productos (ASSELIN *et al.*, 1996). Ante las grandes dificultades que siempre ha entrañado traducir a otros idiomas el término terroir, la UNESCO (2005), ha propuesto esta definición desarrollada por un grupo de trabajo del INRA/INAO: “Terroir es un espacio geográfico delimitado, definido por una comunidad de seres humanos que en el curso de la historia ha desarrollado un conjunto de rasgos distintivos culturales, de conocimiento y de prácticas fundamentadas en un sistema interactivo entre el medio ambiente natural y los factores humanos.” Tal definición se aleja de la más usual noción restrictiva de los terroir vitivinícolas asociada primordialmente a la combinación de los factores medioambientales que confieren una personalidad distintiva a cada vino. No obstante, para muchas personas, la noción de terroir se extiende más allá de unas meras dimensiones físicas.

Una dimensión importante que debe de ser considerada a la hora de abordar la definición de terroir bajo un prisma vitivinícola, son los diversos intereses que subyacen ante la diversidad de definiciones. Algunos consideran que además del suelo existen otros factores de gran importancia en las cualidades de un vino. Otros desean monopolizar este término a la delimitación de un territorio (UNWIN, 1991).

Desde un punto de vista vitivinícola, destaca la definición del término aportada por GLADSTONES (2011): “Terroir es el entorno medioambiental que envuelve a la vid, de tal forma que constituye la combinación de clima, topografía, geología y suelo que influye

en su desarrollo y en las características de las uvas y vinos que de ellas se obtienen. Las levaduras locales y cualquier otro tipo de microorganismos implicados en los procesos de elaboración también pueden ejercer una influencia significativa sobre las cualidades de los vinos obtenidos. Todos estos factores interactúan con las actuaciones que el ser humano desarrolla en el viñedo y en la zona de elaboración donde finalmente se origina el vino. Cualquier tipo de actuación en el almacenamiento y en el proceso de comercialización pueden influenciar las cualidades finales de un vino de forma previa a su consumo, aunque esta última actuación no puede considerarse como propia del alma del término terroir”.

De forma reciente, la Organización Internacional de la Viña y el Vino ha adoptado como propia la siguiente definición de terroir: “El terroir vitivinícola es un concepto referido a una localización geográfica en la cual el conocimiento colectivo de las interacciones existentes entre el medioambiente físico y biológico y las prácticas vitivinícolas desarrolladas, han dado lugar a un carácter distintivo de los productos originarios del citado entorno geográfico (Resolución OIV/Viti 333/2010) (OIV, 2010). La conceptualización del término terroir podría ser entonces referida a la existencia de un ecosistema interactivo, en una localización dada, incluyendo el clima, el suelo y la propia planta de vid (VAN LEEUWEN Y SEGUIN, 2006), si bien en un sentido más amplio como el propuesto por otros autores (VAUDOUR, 2003), tal concepto debe de incluir el factor humano (**Figura 1**). Desde el punto de vista de la vitivinicultura como actividad humana, la influencia de las condiciones medioambientales sobre la vid se encuentran moduladas, hasta cierto punto, por la actuación humana, de tal forma que el conjunto de estas prácticas vitícolas y enológicas deben de ser consideradas como parte integrante de la noción de terroir.

4.1.1 El concepto de terroir en la historia

4.1.1.1 EN LA EDAD ANTIGUA

De forma gradual, desde los tiempos del Neolítico hacia adelante, los seres humanos comenzaron a transformar la distribución natural de la vid, buscando la identificación de vides que produjeran bayas con las cualidades más valoradas en cada uno de los asentamientos humanos.

La costumbre de citar los vinos por el nombre de su región o localidad de origen, se remonta a la antigüedad griega y romana. Durante la segunda dinastía del antiguo Egipto, alrededor del año 2650 a.C., la noción de terroir llegó a una fase ya avanzada: "Se convirtió en una costumbre el incluir en los envases, además del año de la cosecha, los nombres de los lugares de origen. Estos nombres se representaban junto con el dibujo de recintos amurallados o haciendas en donde los vinos se elaboraban, y se

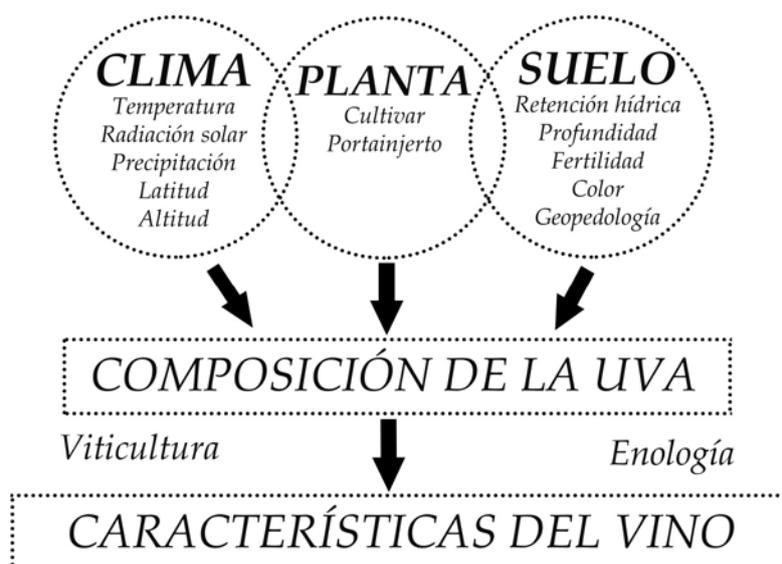


Figura 1. El término Terroir conceptualiza los factores medioambientales que influyen en la composición de la uva y la calidad del vino (Fuente: VAUDOUR, 2003).

convirtió en el estándar por el cual se daban a conocer todos los vinos del reino egipcio "(POTT, 2000).

Los primeros escritos de la definición de terroir fueron referenciados por los antiguos agrónomos latinos. Estas definiciones se basaban en las experiencias vitícolas realizadas en Pagus Arebrignus (la actual Borgoña). Fue durante este tiempo, en el siglo I d.C., cuando el escritor hispano Lucius Junius Moderatus, de sobrenombre Columela (Gades, 4 d.C. - Tarento, 70 d.C.), comenzó a pensar en la variedad de uva más adecuada para producir un gran vino. Columela aportó una descripción muy clara: "Las variedades de vid que poseen las hojas y las bayas más pequeñas tienen ciertas ventajas sobre las demás, ya que resisten la sequía y pueden soportar el frío sin dificultad, siempre que no sea demasiado húmedo. En ciertos lugares, producen vinos que se conservan bien, y son las únicas lo suficientemente fértiles para hacer justicia a los suelos más pobres" (RIGAUX, 2006).

De esta forma, se puede concebir que durante la expansión del Imperio Romano en Europa, un importante aspecto de la noción de terroir se encontraba ya bien establecido. En primer lugar, los viticultores y elaboradores se encontraban familiarizados con la noción de que existía un vínculo muy estrecho entre las vides cultivadas en un entorno medioambiental concreto y los vinos obtenidos a partir de las cosechas procedentes de las mismas. Vinculado a lo anterior, desde un punto de vista comercial eran sabedores de que determinadas zonas productivas habían creado una reputación de regiones productoras con marchamo de "vinos de calidad" (UNWIN, 2012).

4.1.1.2 EN LA EDADES MEDIA Y MODERNA

La expansión de la viticultura hacia el norte de Europa durante la expansión del Imperio Romano, condujo al descubrimiento de nuevos cultivares de *Vitis vinifera*. El desarrollo de cruzamientos varietales conllevó alcanzar una mayor complejidad gustativa y aromática, de tal forma que durante los subsecuentes siglos la labor de los viticultores se centró en la selección de aquellos cultivares que mejor se adaptaban a las condiciones ambientales locales (UNWIN, 2012).

En la Edad Media, cuando los monjes de Borgoña comenzaron a delinear y codificar los viñedos de la región, la noción de terroir se convirtió en el alma de la viticultura (MACNEIL, 2002). Una vez que se dieron cuenta de cómo algunos parajes daban lugar a vinos con sabores distintivos, comenzaron a registrar sus impresiones durante siglos, con el objeto de estudiar y comparar viñedo a viñedo los vinos elaborados en ellas. La clasificación jerárquica de los viñedos de Borgoña en Village Cru, Premier Cru y Grand Cru, fue el resultado de este experimento masivo vitivinícola (MACNEIL, 2002). Este podría considerarse como el comienzo de los grandes vinos de terroir, con una singularidad de carácter que sigue dominando el estilo de todas las regiones.

En 1395, Philippe le Hardi, Duque de Borgoña, instruyó a sus súbditos a arrancar de raíz el cultivar Gamay. En 1441, a raíz de la destrucción casi total de la Gamay en la región de la Côte d'Or, surgió la oportunidad de establecer Pinot noir como cultivar noble de la región y limitar su plantación principalmente a los Côtes (POTT, 2000). Así fue como se introdujo el cultivar Pinot noir en la Borgoña.

La historia demuestra que la clasificación de los viñedos y su demarcación se basó principalmente en un aprendizaje empírico de la ubicación, el cultivar, la tradición de la viticultura y la vinificación. Los nuevos países vitivinícolas se han interesado en la filosofía del terroir en su esfuerzo por producir grandes vinos de calidad, pero sin pasar por el proceso de aprendizaje empírico. Se acude por lo tanto a la zonificación vitícola y sus metodologías con el objeto de demarcar terroirs que produzcan grandes vinos en un período relativamente corto de tiempo.

4.1.2 Factores naturales que determinan el terroir

4.1.2.1 CORRIENTES DE PENSAMIENTO

Existen dos corrientes de pensamiento acerca de la influencia de los factores medioambientales sobre la calidad del vino. En primer lugar se encuentran aquellos que no negando completamente la influencia de las condiciones ambientales sobre la calidad del producto final, tienen la certeza de que el aspecto cualitativo del vino está determinado en gran medida por las operaciones desarrolladas en la bodega. De forma

opuesta, el defensor del concepto terroir acepta y abraza el término como la realidad que define a un gran vino. Esto no quiere decir que el defensor del terroir no valore la influencia del factor humano, pero establece la supremacía que desempeña la influencia constante de los factores naturales como el suelo, el clima y la orografía en la calidad del vino (MOUTON, 2006).

4.1.2.2 UBICACIÓN

En la actualidad, los mejores vinos del mundo son aquellos que muestran con gran precisión las distintivas características de su origen. Esto tiene mucho que ver con el entorno geográfico particular que estampa en el vino un carácter y un sentido de lugar. En este sentido, podría considerarse que un gran vino de terroir, es aquel cuya localización provoca una maduración de las uvas óptima y regular vendimia tras vendimia, de tal forma que sus vinos tienden a ser más equilibrados a lo largo de los años que otros terroirs vecinos. Pero por encima de todo, un gran terroir va a tener una expresividad, o carácter distintivo, que provocará un sentido cognitivo en el consumidor. Finalmente, un gran terroir dispone de la capacidad de adaptarse con éxito a los cambios climáticos, y producir la misma calidad de producto año tras año (MOUTON, 2006).

4.1.2.3 LOS FACTORES NATURALES

En la comprensión del efecto terroir en viticultura, es de extrema importancia tomar en consideración la interacción existente entre los diversos factores que contribuyen a expresar el terroir. Mientras que los vinos de alta calidad se elaboran a partir de viñedos cultivados en una amplia gama de climas, resulta completamente imposible definir con precisión el clima ideal para vinos de alta expresión en términos de temperatura, precipitación o radiación solar y su distribución en el ciclo anual de cultivo. De igual modo, los vinos de máxima calidad son elaborados a partir de viñedos cultivados en suelos de diferente naturaleza; en virtud de lo anterior, es imposible definir el mejor medio edáfico para la producción de vinos de calidad en términos de profundidad, textura, estructura o composición mineral (VAN LEEUWEN, 2010). Particularmente, en los estudios concernientes al efecto terroir, los investigadores habitualmente son víctimas de su propia disciplina profesional (MORAN, citado por VAN LEEUWEN, 2010), y a menudo cometen el error de no tener en cuenta otras disciplinas ajenas a la suya, o ni tan siquiera considerar la posible interacción entre diversos factores (VAN LEEUWEN, 2010).

4.1.2.3.1 *Geología*

Existe una relación directa entre la geología y el suelo y por ende, entre la geología y el vino. De esta forma, WOOLDRIDGE (2000) analizó las razones por las que la geología influye en el perfil de los vinos, de tal forma que estableció cómo el carácter identificativo de los vinos de una zona o región está influido por la orografía del terreno, las elevaciones y depresiones topográficas y su orientación, influenciando esta última la exposición a la radiación solar y a los vientos predominantes. Esta naturaleza de la geología como factor decisivo en la naturaleza del terroir, ha sido también estudiada por HANCOCK (1999), quien estableció que en el concepto de terroir subyace a la naturaleza geológica del suelo de cultivo, a sus características de naturaleza física y química, y su variación en el entorno.

Los siguientes aspectos de la geología presentan un efecto directo en el rendimiento de la vid y por lo tanto tienen un efecto significativo sobre las prácticas vitícolas a desarrollar (WOOLDRIDGE, 2000):

- La textura del suelo está relacionada con la naturaleza de la roca madre y su meteorización, de tal forma que la geología muestra un efecto directo sobre las características físicas del suelo, influyendo en el drenaje, la compactación, la capacidad de retención de agua, la temperatura, el nivel de materia orgánica y la aireación, todo lo cual influencia el rendimiento de la vid.
- La morfología del entorno. Los procesos geológicos desarrollados en tiempos remotos han dado lugar a la topografía actual, desarrollando el actual potencial para el cultivo de la vid.
- Variaciones en el nivel de las grandes masas de agua (océanos y mares).

4.1.2.3.2 *LA TOPOGRAFÍA*

La topografía se encuentra íntimamente ligada a la geología, mostrando una fuerte interacción en clave medioambiental con parámetros climáticos. De esta forma, el término topografía en los terroirs vitícolas engloba los siguientes parámetros: exposición (orientación a la radiación solar), altitud y morfología (SAAYMAN, 2002).

La calidad de las uvas está muy influenciada por la temperatura (tanto en lo relativo a las integrales térmicas como a los gradientes térmicos) y por las concentraciones de dióxido de carbono en el entorno atmosférico de la vid, estando ambas cualidades influenciadas por la topografía (GLADSTONES, 1992). De un modo indirecto, entre los efectos que ejerce la topografía sobre el clima se pueden citar los siguientes: la capacidad de evaporación de agua y el drenaje del suelo, la exposición a los vientos dominantes, la protección frente a vientos fríos y la intensidad e incidencia de los

rayos del sol sobre la superficie (CAREY, 2001). La altitud es uno de los factores que más influyen en el mesoclima del viñedo, de tal forma que un incremento de la altitud, en la gran mayoría de los casos, da como resultado una disminución en la temperatura a razón de 1 °C por cada aumento de 100 m (PRESTON-WHYTE Y TYSON, citados por CAREY, 2001).

Igualmente, la orientación de las pendientes afecta al factor térmico a consecuencia de su exposición a la luz solar, el viento y las precipitaciones, de tal forma que a una misma altitud, los valores en los parámetros climáticos pueden variar considerablemente de una pendiente a otra debido a una mayor intercepción de la radiación solar (SCHULTZ, citado por CAREY, 2001).

Un amplio conjunto de los parámetros que definen el clima de un terroir se encuentran influenciados por la topografía de la región, presentando un efecto significativo en el carácter y en la calidad de los vinos resultantes. Es pues crucial que los factores climáticos sean estudiados en conjunto con el factor edáfico para un entorno específico, con el cultivar elegido para la producción de vinos de calidad (MOUTON, 2006).

4.1.2.3.3 EL SUELO

El suelo tiene un efecto definitivo sobre el carácter y la calidad del vino. El efecto del medio edáfico en las cualidades organolépticas de las bayas es complejo a causa de la influencia que presenta sobre la nutrición vegetal, desde el punto de vista hídrico y mineral, y en el desarrollo y funcionamiento del sistema radicular de la vid (TOMASI *ET AL.*, 2013). No obstante, la uniformidad de las características del medio edáfico para un terroir dado, es probablemente, más importante que cualquiera de las cualidades edáficas individuales, ya que la variabilidad del factor suelo es una de las fuentes principales de un desarrollo asincrónico de las bayas disminuyendo la calidad de los vinos (JACKSON, 2008). Según CAREY (2001), la naturaleza del suelo influye en la composición final de las bayas de vid a través de las siguientes características:

- Composición química y pH del medio edáfico.
- Color.
- La temperatura.
- La textura y estructura del suelo.
- La profundidad.
- El estado de humedad (drenaje y capacidad de retención).
- Niveles de carbonatos (TOMASI *ET AL.*, 2013).

A pesar de la importancia de todas las cualidades edáficas anteriormente enumeradas, un gran número de edafólogos que se han aproximado a la ciencia vitícola han mostrado una posición común a la hora de definir a la capacidad de retención de humedad del suelo y el control del suministro de nutrientes a la vid, como las dos cualidades más influyentes en las características cualitativas de la uva desde un punto de vista edáfico (LANZ, 2004). No obstante, autores como VAN LEEUWEN (2010) consideran que el estado hídrico en el cual se halle la planta (directamente vinculado a la capacidad de retención y suministro hídrico del medio edáfico), ejercen una mayor influencia en la calidad y estilo del vino resultante que la composición mineral del medio de cultivo. Con respecto a este aspecto nutricional, HILBERT *ET AL.* (2003) se muestran concluyentes a la hora de indicar que una limitación en la nutrición nitrogenada de la vid reducirá el vigor de la planta, el peso de las bayas y los



Figura 2. El suelo constituye una parte fundamental del concepto terroir en Francia (Fuente: HUMORISTES ASSOCIÉS, 1980).

rendimientos productivos, e incrementará los niveles de azúcares fermentescibles así como la concentración de taninos y antocianos en las bayas. En Francia, se pone especial énfasis en el concepto de terroir al papel que desempeñan el suelo y el conjunto de interacciones de este con otros elementos del medioambiente (Figura 2), especialmente en lo que concierne a la capacidad de suministro del recurso hídrico (MOUTON, 2006). Según LANZ (2004), la capacidad de retención de agua o la regulación del suministro a la planta del recurso hídrico, dependería principalmente de la textura y la pedregosidad del suelo. A su vez, el

porcentaje de arcilla es el parámetro con mayor influencia en la textura del suelo y es esta propiedad física la que juega un papel significativo en la determinación de la calidad del vino.

De la siguiente forma caracteriza ROBINSON (citado por MOUTON, 2006) las cualidades de los suelos en los *Premier Crus* de Burdeos: “En primer lugar, ninguno de estos suelos muestran condiciones de una gran fertilidad, pero no obstante ninguna de las vides que en ellos se desarrollan muestran deficiencias nutricionales por elementos

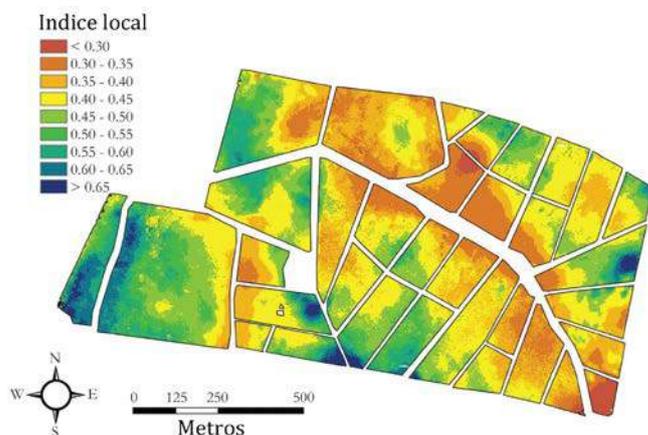


Figura 3. Terroir digital para un viñedo en Nueva Gales del Sur (Australia). El índice local ha sido calculado en base a los parámetros siguientes: exposición a la radiación solar, agua fácilmente disponible, relación arcilla/limo y profundidad del sistema radicular (Fuente: WHITE, 2015).

minerales. En segundo lugar, en estos suelos el suministro de agua a las vides se encuentra perfectamente regulado, de tal manera que el estado hídrico de las plantas se encontraba en todo momento en condiciones adecuadas, sin mostrar extremos en cualquier dirección. Finalmente, el drenaje que caracteriza a todos estos viñedos se puede definir como excelente, evitándose

en todo momento posibles condiciones de encharcamiento. En el caso de los suelos predominantemente arcillosos, esta última característica dependía de sus niveles de materia orgánica y/o de los contenidos de calcio, de tal manera que mantenían unas condiciones de estructura de poro abierto tales que el agua puede drenar con facilidad.

Sin embargo, debido a la gran biodiversidad de orografías y climas existentes, que de forma conjunta con el cultivar seleccionado y las prácticas vitícolas, influyen de forma potencial el cultivo de la vid, en países del Nuevo Mundo vitivinícola como Sudáfrica, Chile, Argentina y Estados Unidos, genera controversia aceptar el papel preponderante que se otorga al suelo en los países productores del Viejo Mundo (MOUTON, 2006). A este respecto SAAYMAN (citado por MOUTON, 2006) refleja la gran importancia de realizar, sobre una base científica, estudios sobre la influencia que los suelos y el clima puedan presentar sobre la calidad del vino, a fin de zonificar unidades homogéneas de terroir.

La variabilidad natural del medio edáfico es una contribución tremendamente importante para la variabilidad global en el desarrollo vegetativo de la vid. La viticultura de precisión ofrece una amplia gama de herramientas al viticultor para gestionar tal variabilidad, y tomar decisiones de manejo del cultivo como respuesta a un conocimiento adecuado del medio, y por consiguiente, obteniendo un mayor control sobre las características cuantitativas y cualitativas de las cosechas. De esta forma, mediante el empleo de herramientas de elevada capacidad de resolución

espacial y la incorporación de datos a un sistema de información geográfica, el viticultor tiene la posibilidad de zonificar un viñedo para discriminar su manejo desde el propio proceso inicial de plantación de la vid, hasta la gestión del propio ciclo vital de la planta, incluyendo el delicado espacio de tiempo anual que constituye el período de cosecha. Cuando tales aspectos claves del medio edáfico son combinados de forma conjunta con parámetros climatológicos en un mismo modelo vinculado a un sistema de información geográfica (**Figura 3**), los mapas resultantes pueden ser interpretados como terroirs digitales (WHITE, 2015).

4.1.2.3.4 EL CLIMA

CARBONNEAU *ET AL.* (2007), consideran el clima como principal factor de influencia de los rendimientos y de la sanidad vegetal así como en la calidad y la tipicidad de las diferentes añadas. Estos autores prestan una enorme atención a la escala con la que se aborda el análisis de las relaciones entre clima y viticultura. De esta forma, utilizan los conceptos de macroclima, mesoclima y microclima para la caracterización de una gran región vitícola, del clima local de una zona vitícola más o menos amplia, o del clima de una determinada parcela o incluso de una cepa concreta (RODRIGUEZ, 2014). Si bien las características climáticas de un área determinada (macroclima y mesoclima), no son fácilmente (o incluso imposible) modificables, el entorno microclimático que concierne a las estructuras vegetativas que rodean al racimo y al propio racimo, puede ser modelado, hasta cierto punto, mediante intervenciones agronómicas (TOMASI *ET AL.*, 2013).

El análisis de los elementos del clima ayuda a identificar y caracterizar nuevas áreas para el desarrollo de nuevas plantaciones de vid y para la elección del sitio óptimo (nuevos terroirs). Un factor muy importante es el de la elección del cultivar de vid más apropiado, ya que este debe de estar adaptado para que sus estados fenológicos sean acordes con el clima del lugar en las diferentes estaciones. De un modo general, se puede aseverar que las condiciones climáticas para cualquier buen terroir son aquellas en las que la temporada de maduración se produzca durante el período de enfriamiento de la estación, pero debiendo ser lo suficientemente cálida para que las bayas puedan acumular los sólidos solubles totales y desarrollar sus cualidades gustativas y aromáticas (CAREY, 2001).

En cualquier caso, el papel del clima en el efecto terroir no puede ser aislado del cultivar objeto de estudio. Tal es así, que la secuencia temporal de maduración de las bayas se encuentra vinculada a las condiciones climáticas locales y a la precocidad fenológica del cultivar. El último de los dos condicionantes previos es una cualidad genética que es muy variable de un cultivar de vid a otro (VAN LEEUWEN, 2010).

4.1.2.3.4.1 Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros más fácilmente perceptibles en cuanto a su influencia en el ciclo vital de la vid y se encuentra modulada por características concretas de la ubicación espacial del viñedo (TOMASI *ET AL.*, 2013). Aunque la vid se ha adaptado a una amplia diversidad de condiciones medioambientales, la temperatura óptima durante cualquiera de sus estados fenológicos no debe de exceder de 30-32 °C (WILLIAMS *ET AL.*, 1994). Este umbral térmico se encuentra vinculado a la acción que la temperatura ejerce en la actividad enzimática que condiciona los principales fenómenos físicos y fisiológicos de la vid (TOMASI *ET AL.*, 2013). Por otra parte, la temperatura del medio edáfico ejerce un impacto directo en el desarrollo del sistema radicular, la salida del período de reposo vegetativo, la absorción de nutrientes minerales y los procesos de síntesis hormonal (MORLAT, 1989; MORLAT Y ASSELIN, 1993). De esta forma, tanto la temperatura atmosférica como la existente en el entorno del sistema radicular constituyen, de forma conjunta, una unidad térmica que influencia los principales procesos fisiológicos de la vid (TOMASI *ET AL.*, 2013).

Los principales aspectos cualitativos de las bayas que se encuentran condicionados por el parámetro térmico se pueden definir como, (MOUTON, 2006):

- Correlación positiva entre la temperatura y los niveles de azúcar, hasta un determinado umbral de temperatura.
- Correlación negativa entre la temperatura y los niveles de ácido málico.
- Correlación positiva entre la temperatura y los niveles de potasio, lo que afecta en gran medida al pH de los mostos.
- El efecto de las temperaturas nocturnas en la síntesis de antocianinas se halla muy influenciado por la diferencia de temperaturas entre el día y la noche.
- De forma general, los componentes gustativos y aromáticos, así como los pigmentos causantes del color en uva tinta, se desarrollan de forma favorable en temperaturas intermedias (en el intervalo correspondiente a 14 -26 °C) (GLADSTONES, 2011).
- Las temperaturas moderadamente bajas durante el período de maduración, combinadas con humedades relativas elevadas, conducen al desarrollo de componentes gustativos y aromáticos en bayas con niveles reducidos de azúcares y con niveles relativamente elevados de ácidos naturales (GLADSTONES, 2011).

4.1.2.3.4.2 Precipitación

De la siguiente forma cita GLADSTONES (2011) las condiciones de régimen de humedad adecuadas, durante el ciclo vegetativo anual de la vid, para alcanzar el equilibrio óptimo en el desarrollo vegetativo y productivo de la planta:

- Durante el período invernal y las primeras fechas primaverales, deberán producirse las necesarias precipitaciones en forma de nieve o lluvia para proveer al medio edáfico de las suficientes reservas hídricas sin alcanzar las condiciones de encharcamiento.
- Durante el estado fenológico de floración deberá haber ausencia de precipitaciones.
- En el período de tiempo existente entre cuajado y envero, debe de existir un estrés hídrico moderado que interrumpa el desarrollo de los pámpanos y sus estructuras vegetativas.
- En el período de tiempo existente entre envero y cosecha, es adecuado un estrés hídrico suave a moderado que inhiba el desarrollo vegetativo de la vid.
- En el período post-cosecha hasta la caída de la hoja, debe de haber un nivel de humedad suficiente en el medio edáfico que permita continuar con la asimilación de nutrientes minerales con el objeto de acumular suficientes reservas nutricionales a la planta y permita un adecuado agostamiento de sus pámpanos.

En general, una menor disponibilidad de recursos hídricos para la vid conducirá a una disminución en el tamaño de las bayas y una mayor concentración de elementos fenólicos, pero un déficit hídrico severo afectará de forma adversa a la biosíntesis de compuestos en las bayas (KENNEDY, 2010). El agua juega un papel fundamental en las cualidades organolépticas de las bayas, debiendo ser siempre considerada de forma interrelacionada con el factor edáfico y con el estado fenológico en el cual se halle la planta (VAN LEEUWEN *ET AL.*, 2009).

4.1.2.3.4.3 Humedad relativa

La humedad relativa influye en los siguientes aspectos de las bayas de vid:

- Existe certeza de que los azúcares y otros solutos se mueven en el floema hacia las bayas en estado de madurez como respuesta directa al flujo transpiracional que tiene lugar en la superficie de las bayas (DREIER *ET AL.*, 2000).
- Los valores bajos de humedad relativa y las temperaturas elevadas, aceleran la acumulación de azúcares en las bayas y de otros solutos procedentes del floema como el potasio (GLADSTONES, 2011).

- Los niveles de humedad relativa de media-tarde, de forma conjunta con los valores térmicos máximos durante los 30 días finales del período de maduración, constituyen unos índices fiables en la evaluación de los terroirs (GLADSTONES, 2011).
- Los valores de humedad relativa pueden producir enfermedades fúngicas en el período de maduración.

En cualquier clima árido la humedad relativa, de forma conjunta con la temperatura,

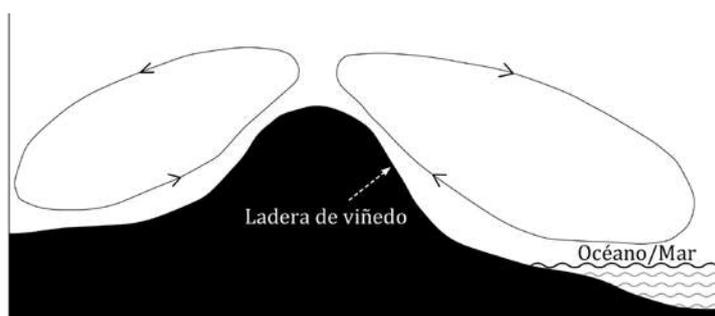


Figura 4. Patrón generalizado en las franjas costeras de las corrientes convectivas de aire vespertinas en las laderas orientadas mar adentro y hacia el interior (Fuente: GLADSTONES, 2011).

es un factor importante ya que una fuerte transpiración de la planta puede causar estrés hídrico en la vid debido a la gran demanda hídrica exigida por la planta en respuesta a tales condiciones (CAREY, 2001), que puede conducir a la pérdida de superficie foliar

activa y el colapso del metabolismo (MOUTON, 2006).

4.1.2.3.4.4 El viento

El viento ejerce influencias indudables en el cultivo de la vid. A modo de ejemplo, la proximidad a mares y océanos (y en menor escala, a las grandes masas de agua dulce), promueve la ecuanimidad de los factores climáticos de temperatura y humedad relativa, a través de las corrientes de aire convectivas (**Figura 4**), que alterna el flujo de brisas terrestres y marinas con diferentes niveles de humedad y temperatura en las diferentes fases del día (GLADSTONES, 2011). Otras potenciales influencias que puede ejercer el viento sobre la práctica vitícola son las siguientes:

- El desarrollo de los brotes nuevos en la vid puede verse afectado, durante la primavera y principios del verano, por el efecto de vientos fuertes, pudiendo resultar dañados los racimos en sus estados más juveniles, lo que daría lugar a una reducción de los rendimientos (MOUTON, 2006).
- El cierre de estomas en los órganos foliares, con la consiguiente inhibición del proceso fotosintético, puede estar motivado por la existencia de vientos de intensidad moderada (MOUTON, 2006).
- Si bien los vientos de fuerte intensidad pueden conducir a una inhibición del desarrollo vegetativo de la vid con la consiguiente disminución del rendimiento

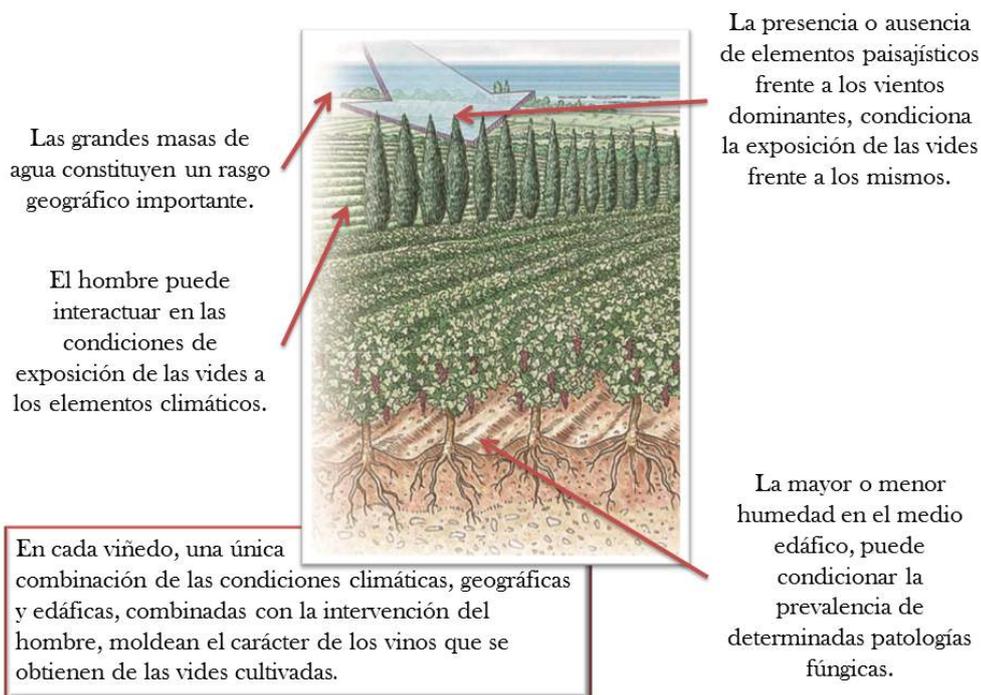


Figura 5. Las condiciones naturales del medio vitícola condicionan la naturaleza de los vientos dominantes, si bien el viticultor puede actuar modulando determinados parámetros de los mismos (dirección e intensidad de los mismos). Autor MIGUEL ÁNGEL OLEGO MORÁN

productivo, la calidad de estas últimas puede verse incrementada como respuesta a esa restricción en los rendimientos (CAREY ET AL., 2002).

- La disposición abierta en la arquitectura vegetal de la vid reduce, de forma general, los riesgos de la planta en su exposición a las heladas por radiación, si bien se ve incrementado el riesgo a las heladas por advección (GLADSTONES, 2011). Esta misma disposición abierta de las estructuras vegetativas que permite la circulación del viento en el interior disminuye el riesgo de aparición de determinadas patologías de naturaleza fúngica.
- De gran influencia significativa para los vinos de terroir pueden considerarse los vientos de carácter regional (afectados por las condiciones orográficas particulares), las brisas marinas, o aquellas condicionadas por grandes masas de agua dulce (GLADSTONES, 2011), así como las posibles modificaciones paisajísticas de origen humano que puedan alterar de forma sensible la circulación de los vientos dominantes (**Figura 5**).

4.1.2.3.4.5 La luz

La influencia de la iluminación sobre el terroir presenta una naturaleza dual: la duración (heliofanía) y la intensidad (radiación directa y difusa) (TOMASI *ET AL.*, 2013). Aceptando la aseveración de SMART (1985), quien indica que es la capa de órganos foliares externa la que captura el 90 % de la radiación solar, resulta fácil comprender la relevancia de cualquier tipo de operación vitícola que maximice la exposición al sol de las hojas y los racimos, minimizando las zonas de sombreado.

4.1.3 Elementos clave para la expresión del terroir

Según VAN LEEUWEN (2006), los elementos clave requeridos para garantizar la expresividad de un terroir, con el objeto de producir un vino con cualidades distintivas, son los siguientes:

- Las variedades de vid a emplear deben de tener un rendimiento óptimo y debe estar acorde con las condiciones climáticas locales, a fin de obtener plena madurez al final de la temporada (**Figura 6**).
- Los vinos de terroir deben de elaborarse partir de uvas procedentes de un mismo viñedo.
- La expresividad del terroir se obtiene cuando la maduración se lleva a cabo en ausencia de temperaturas elevadas en el período final de maduración; una rápida maduración de las uvas en condiciones de calor limita la síntesis de aromas.
- Los grandes terroirs en los vinos tintos se obtienen a partir de viñedos con moderadas o severas limitaciones (restricciones del suministro hídrico o restricciones en la absorción de nitrógeno).
- Cuando la restricción hídrica o nutricional es severa, los vinos tintos de alta calidad sólo se pueden conseguir con rendimientos productivos limitados.
- En el terroir de los vinos blancos, los viñedos requieren menos limitaciones. La deficiencia de nitrógeno y un grave estrés hídrico pueden reducir, por ejemplo, el potencial aromático del cultivar “Sauvignon blanc”.

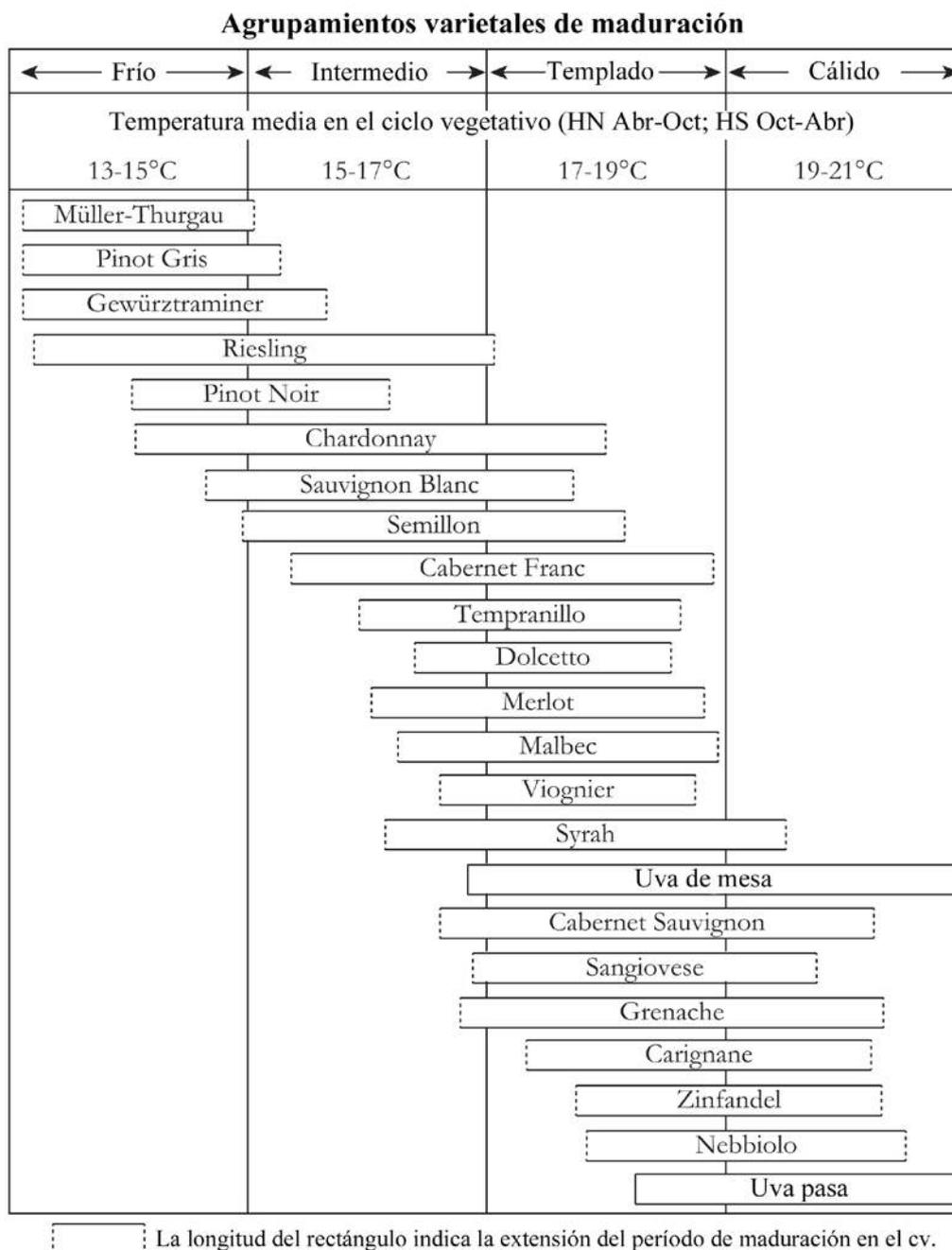


Figura 6. Agrupamiento varietal basado en la temperatura media durante el período vegetativo de la vid. Las barras horizontales representan el intervalo térmico en el que cada cultivar madura y produce vinos de alta expresión en sus regiones de referencia. Las líneas de trazos en las barras indican que el rango puede ampliarse o contraerse a medida que la disponibilidad de datos aumente, aunque variaciones superiores a $\pm 0,2-0,5$ °C son muy poco probables (Fuente: JONES ET AL., 2012).

4.2 HISTORIA DE LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN RIBERA DEL DUERO

Fueron los romanos los que extendieron la vitivinicultura por el centro del continente europeo, y por consiguiente en la Ribera del Duero (Hispania), y los que desarrollaron labores vitícolas que fueron consolidando, a la vez que importaban nuevos cultivares de uva, mejorando los disponibles y acometiendo avances técnicos en los procedimientos enológicos como lagares, ánforas o barricas. Introdujeron, además, las botellas y recipientes de vidrio, y técnicas de cultivo como el marco a tresbolillo o el injerto, lo que desembocó en vinos de calidad espesos, amargos y con alta graduación alcohólica (HUETZ DE LEMPS, 2005).

Existen vestigios arqueológicos de esta época en la Ribera del Duero, fechados en la primera mitad del siglo V d.C., como un mosaico dedicado al dios Baco en la villa romana de Santa Cruz en Baños de Valdearados (Burgos) (MOLINERO HERNANDO, 1997). No obstante, la presencia de vino en la Ribera del Duero fue anterior al Imperio Romano, pues se han encontrado restos en los enterramientos vacceos de Pintia (Padilla de Duero – Peñafiel, en la provincia de Valladolid) que ponen de manifiesto el importante papel que jugaba el vino para esta civilización. Los vacceos son una etnia prerromana que habitó la meseta central en el curso medio del Duero y el Pisuegra y que se organizaba en torno a ciudades como Pintia. Su origen se sitúa en el siglo V a.C. y su declive se produjo, tras romanizarse, en el siglo VII d.C., con la ocupación visigoda. En la necrópolis de este yacimiento fue hallada una copa fechada en el siglo IV a.C. cuya analítica ha corroborado la presencia de vino. Sin embargo, lo anterior no indica la existencia de viñedos, a pesar de que no deben descartarse, pues en recientes intervenciones en la antigua Cauca, actual Coca, en la provincia de Segovia, se han recuperado semillas de uva, con lo que no resulta descabellado pensar que, también, se cultivase en esta zona (MOLINERO HERNANDO, 1997).

El geógrafo e historiador griego Estrabón (63 a.C. – 24 d.C.) en su obra Geografía, nos relata que los vacceos, en el siglo V a.C., habían creado los primeros viñedos ibéricos, si bien ubica estos únicamente en el litoral peninsular, manteniendo que en la Ribera del Duero no se conocía el cultivo de la vid (UNWIN, 2001).

A partir del siglo VIII, España estuvo sometida a una larga ocupación musulmana. Durante siglos la meseta castellana fue tierra de nadie, donde el goteo de ejércitos musulmanes y cristianos era constante, al igual que el saqueo y la destrucción sistemática de ciudades, aldeas y cultivos por parte de ambos bandos, lo que condujo a que estas tierras se convirtiesen en un desierto demográfico. Los viñedos fueron de los pocos cultivos que resistieron las devastadoras guerras, ya que era sumamente complejo arrasar con las explotaciones vitícolas, las cuales se encontraban configuradas por vides en un marco de plantación amplio por cuestiones de optimización hídrica ante la aridez de los suelos (JOHNSON, 2005).

La reconquista cristiana de la Península Ibérica fue acompañada de la repoblación vitícola de todas aquellas zonas que habían sido assoladas. En este proceso tuvieron mucha importancia las órdenes monásticas que se instituyeron en todo el territorio reconquistado a fin de ir reinstaurando el dogma católico (JOHNSON, 2005). Uno de los momentos clave para la Ribera del Duero fue la fundación, en el siglo XII, del monasterio Cisterciense de Santa María de Valbuena (MOLINERO HERNANDO, 1997). Los frailes provenientes de la borgoña francesa, donde se había infundado un profundo arraigo hacia la vitivinicultura, cultivaban sus viñedos próximos al monasterio, y el resto eran arrendados a los concejos, quienes pagaban sus rentas en trigo y vino, comercializándose el excedente ante el momento de auge que se estaba viviendo (HUETZ DE LEMPS, 2005). Comienza una época de expansión para el viñedo en la Ribera del Duero, que incrementa su producción ante una sucesión de años con climatología benigna y un aumento de la explotación de vid por la constitución de una nueva articulación social del territorio en torno al vino. Se instauran los contratos *complantatio* (a medias), un tipo de arrendamiento por el cual el propietario de una tierra sin cultivar, en el caso de la Ribera del Duero los monjes del monasterio de Santa María de Valbuena, la cede a un viticultor para que él la plante con cepas, y cuando el viñedo empieza a dar frutos, se divide a la mitad entre el dueño y el trabajador. De este modo, una gran cantidad de extensiones pasan a manos de pequeños productores (MOLINERO HERNANDO, 1997).

En el siglo XIV, el sector vitivinícola sufre una recesión y cobran un especial protagonismo los concejos, quienes en busca de la defensa de los viñedos de sus demarcaciones, articulan ordenanzas que fijan medidas contra los robos, la regulación del trabajo en la vendimia, el almacenamiento, consumo, venta, etc. La excesiva parcelación de los viñedos y la necesidad de protegerlos, condicionaron un nuevo modelo de organización vitícola basado en pagos (MOLINERO HERNANDO, 1997). Éstos eran un conjunto de viñas de diferentes propietarios que se reagrupaban para facilitar su vigilancia. Según la Ordenanza de Peñafiel (1345), los “viñaderos” debían vigilar, día y noche, el pago asignado, y su primera tarea pasaba por preparar su choza, refugio muy básico construido con ramas, abobe o piedra que, además, servía a los viticultores para protegerse de las adversidades climáticas. La labor de estos guardianes se acompañaba de una serie de medidas muy estrictas para evitar el hurto de las uvas, llegándose a prohibir, hasta a los propietarios, acudir a los viñedos a por mimbres, veros y tamarises (MOLINERO HERNANDO, 1997).

En el siglo XVIII, se consolida en la Ribera del Duero la expansión vitícola que se había iniciado el siglo anterior. No obstante, según el catastro del Marqués de la Ensenada, los viñedos de Peñafiel, Pesquera y Curiel (todos ellos en la actual provincia de Valladolid), no eran muy extensos, aunque ya estaban muy bien considerados sus caldos (MOLINERO HERNANDO, 1997). De 1870 a 1884, la vitivinicultura española atraviesa un periodo de euforia ante las elevadas ventas y el alto precio de los vinos, lo que

condujo a un aumento de la extensión de la vid (UNWIN, 2001). La mano destructora de la filoxera en Francia multiplicó las exportaciones desde España, aprovechándose el ferrocarril que abarató sustancialmente los costes del transporte, (KLADSTRUP, 2006). La Ribera del Duero, lógicamente no fue ajena a estos tiempos de bonanza en el sector vitivinícola español. Sin embargo, el aislamiento territorial al que estaba sometida la Ribera del Duero no ayudó mucho a un incremento masivo de la superficie vitícola, aunque sus exportaciones eran significativas (MOLINERO HERNANDO, 1979).

La devastadora acción de la filoxera llegó a la Ribera a finales del siglo XIX y redujo a un tercio la superficie de viñedos. La debilidad de las cepas autóctonas ante la filoxera obligó a importar vides americanas que poseían raíces inmunes al insecto y sobre las que se injertaron las variedades locales. Estas soluciones contribuyeron a frenar a la demoledora filoxera, pero desembocaron en una significativa reducción de la productividad y en el avance de otros tipos de cultivares como la Garnacha y la Mollar que resultaron de buena calidad para la obtención de rosados, pero no de tintos (MOLINERO HERNANDO, 1997).

Hasta finales del siglo XIX, la preparación del suelo se realizaba a golpe de azadón, siendo todas las plantaciones directas, las cuales eran llevadas a cabo con los propios sarmientos que se obtenían de la poda, previa seleccionados acorde a los medios técnicos del momento. Las vides se disponían en líneas poco separadas entre sí, facilitando al cultivador las labores agrícolas ejecutadas mediante tracción animal. La reposición de marras era elevada, con lo que la fisionomía de los viñedos era muy heterogénea. Tres cuartas partes de las viñas eran explotadas de forma directa por los titulares, lo que evidencia el predominio de la pequeña propiedad y el trabajo de forma directa (HUETZ DE LEMPS, 2005). Es en esta época cuando los vinos de la Ribera comienzan a despuntar y a ser considerados de calidad, principalmente por la implantación en Valbuena de Duero de Bodegas de Lecanda, procedentes de Burdeos (MOLINERO HERNANDO, 1997; PEÑÍN, 2002). La necesidad de vides tempranas adaptadas al frío, motivó a Eloy Lecanda a importar los cultivares franceses Cabernet Sauvignon, Malbec y Merlot que se unirían a las autóctonas (PEÑÍN, 2002).

Mientras que en Europa, después de la Segunda Guerra Mundial, se incrementó ostensiblemente la producción de vino gracias a la mecanización y al empleo de sustancias químicas (KLADSTRUP, 2006), en España, después de finalizar la Guerra Civil, el negocio vitivinícola se ralentizó. En 1933 se prohíbe plantar viñas en tierras de regadío y años más tarde, en 1954, un Decreto Ley prevé el arranque de las ya plantadas de forma fraudulenta en tierras susceptibles de ser regadas, con lo que los viñedos que ocupaban las terrazas bajas del Duero, desaparecieron (APARICIO *ET AL.*, 2008). En Aranda de Duero (Burgos) de 892 hectáreas de viñedo 107 eran de regadío en 1950, pasando a 40 ha cuatro años más tarde y desapareciendo, casi por completo,

a inicios de los años 60, algo semejante a lo que ocurrió en Roa y en Pesquera de Duero (MOLINERO HERNANDO, 1979).

Es en la década de los años 50 cuando la población de la Ribera del Duero decrece, fruto del masivo éxodo rural hacia las ciudades. Lo anterior provoca un abandono de las viñas, bien por la emigración de los propietarios, bien por la falta de mano de obra, lo que redujo el volumen de vinos y obligó a importar otros de zonas emergentes del país, como Rioja o Castilla La Mancha (APARICIO ET AL., 2008). Poco a poco el campo se fue mecanizando, y a finales de los años 50 se implanta un nuevo sistema de producción mucho más tecnificado, lo que conduce a una disminución de las necesidades de mano obra (APARICIO ET AL., 2008).

La extraordinaria división de los terroirs se intenta paliar, en unos casos, a través de la concentración parcelaria y, en otros, mediante cooperativas de viticultores (APARICIO ET AL., 2008). La primera cooperativa que surge en la Ribera del Duero es la de Peñafiel, fundada el 29 de marzo de 1927, que comenzó elaborando vinos nobles a imitación de Vega Sicilia, pero a comienzos de la segunda mitad de siglo gira hacia la elaboración de “clarete” que tan buena salida tenía en los mercados regionales (MOLINERO HERNANDO, 1997). La mayoría de los viticultores carecían de capital suficiente para modernizar sus explotaciones y las cooperativas constituyeron un modelo perfecto para evolucionar, surgiendo una red que se extiende también en la ribera burgalesa, en localidades como Roa o Aranda (MOLINERO HERNANDO, 1979).

En la actualidad son 17 las cooperativas existentes en el área de la Denominación de Origen (C.R.D.O. RIBERA DEL DUERO, 2015). El papel de las cooperativas ha sido trascendental para la supervivencia de los viñedos y gracias a ellas, hoy es significativa la superficie de viñas centenarias en la Ribera. De hecho, casi el 25 % de los viñedos ribereños son anteriores a 1950, existiendo un reducto nada despreciable, del 2,22 % plantado en el siglo XIX, si bien es cierto que más de la mitad tiene una edad inferior a los 20 años (MOLINERO HERNANDO, 1997).

A partir de la década de los 70, las sociedades productoras comienzan a experimentar un cambio de tendencia contraria a la excesiva mecanización y al masivo empleo de medios químicos, tanto en el campo como en la bodega (UNWIN, 2001). A inicios del último tercio del siglo XX se vendían las uvas y el vino joven a bodegas de otras zonas para incrementar su tonalidad, pues en esta época los precios dependían de este parámetro enológico (MOLINERO HERNANDO, 1997; FLORES TÉLLEZ, 2004). Bajo este contexto, un grupo de viticultores y bodegueros, avalados por las virtudes de sus uvas y sus vinos y sabedores del gran potencial de la Ribera del Duero, se pondrían manos a la obra para conseguir una denominación de origen para sus vinos. La idea comenzaría a tomar forma durante la “Semana del Vino de la Ribera” que se celebró en 1975 en La Horra (Burgos). La organización administrativa provincial se presentaba como un

obstáculo difícil de solventar, pero en 1978 se solicitó al Instituto Nacional de Denominaciones de Origen la creación de una zona de calidad con el respaldo del 98% de los vitivinicultores de los municipios ribereños de las cuatro provincias afectadas (Burgos, Segovia, Soria y Valladolid). Tras un largo proceso técnico y burocrático, el 21 de julio de 1982, se firmaba el acta fundacional de la Denominación de Origen Ribera del Duero y se aprobaba su reglamento (PÉREZ ANDRÉS, 2007) (**Figura 7**). La superficie de viñedos plantados, según los últimos datos proporcionados por el Consejo Regulador (C.R.D.O. RIBERA DEL DUERO, 2014), es de 21.993 ha, habiéndose iniciado la andadura de la Denominación con 6.460 ha, lo que ha supuesto un incremento, en 25 años, del 325 %.

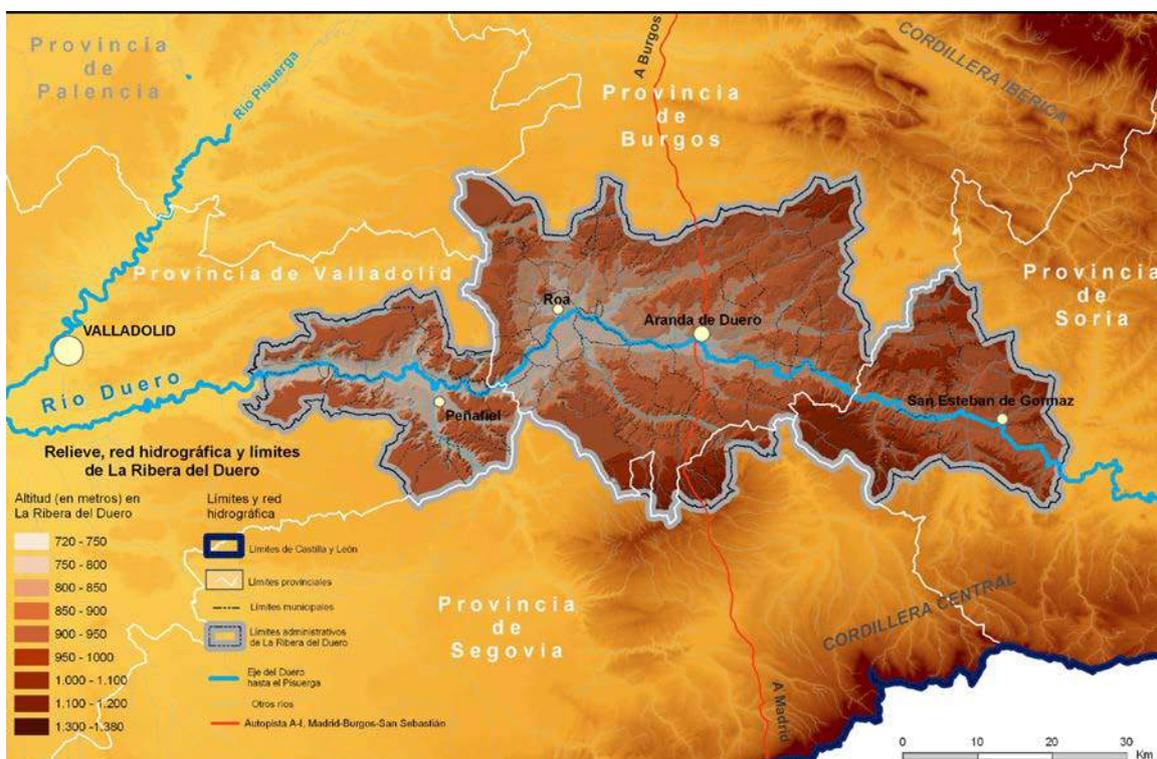


Figura 7. Relieve, red hidrográfica y límites administrativos de la D.O. Ribera del Duero (Fuente: MOLINERO Y CAYETANO Cascos, 2011).

Los viñedos de la Ribera del Duero están plantados con distintos cultivares de *Vitis vinifera*, aunque el predominante es la Tinta del País o Tempranillo (**Figura 8**), con un 94,9 %, seguida de Albillo (2,7 %), Cabernet-Sauvignon (1,1 %), Merlot (0,8 %), Garnacha Tinta (0,5 %) y, finalmente, Malbec (0,1 %), que son manejados por un total de 8.379 viticultores y transformados en vino por 291 bodegas (C.R.D.O. RIBERA DEL DUERO, 2014). La estructura vitícola en la Denominación de Origen (D.O.) es la del pequeño productor, con un tamaño medio de la explotación de 2,5 ha. No obstante, su papel dentro de la economía agrícola comarcal es vital, obteniéndose con la uva en torno a la mitad de los ingresos generados por la agricultura (APARICIO ET AL., 2008).

4.3 EL CLIMA EN LA D.O. RIBERA DEL DUERO

Debido a su localización, la D.O. Ribera del Duero está influenciada por los factores climáticos derivados de su participación en la configuración de la cuenca del Duero dentro de la Península Ibérica (ALONSO, 1989). El aislamiento de la Cuenca del Duero y su elevada altitud, son las dos peculiaridades morfológicas que caracterizan su estructura general y determinan el carácter singular de su clima (GARCÍA FERNÁNDEZ, 1986).

Según la clasificación geográfica de Köppen-Geiger el clima de la D.O. es Csb (KOTTEK *ET AL.*, 2006), mientras que el autor STRAHALER (1994), la incluye dentro de los climas mediterráneos (templados, lluviosos con veranos secos y cálidos). Desde el punto de vista de la clasificación agroclimática de Papadakis, se puede considerar Mediterráneo templado, cálido y seco (ELÍAS, 1973; ELÍAS Y BELTRÁN, 1977). En definitiva se trata de un clima mediterráneo cuyo carácter primordial es la continentalidad, determinada por una pluviometría moderada - baja (400-600 mm), con veranos secos (aridez estival), inviernos rigurosos (medias de enero inferiores a 3 °C) y muy largos (periodo libre de heladas inferior a 140 días), y oscilación térmica acusada (SOTES *ET AL.*, 1992).

Los datos de las precipitaciones nos indican que se trata de una región relativamente homogénea, con una pluviometría media en torno a los 450 mm, aunque existe un gradiente de la pluviometría que aumenta hacia el este de la Ribera del Duero, en cuyo límite oriental se llegan a alcanzar los 600 mm. La época más seca es el verano, en el que el mayor aporte de agua procede de las tormentas estivales, destacando de esta forma la variabilidad importante de las precipitaciones, especialmente durante el periodo de actividad vegetativa (SOTES *ET AL.*, 1992). De esta forma, la relación entre las lluvias de invierno (octubre a marzo) y las de verano (abril a septiembre), es típica del sur de Europa, con escasas precipitaciones en verano acompañadas de lluvias de invierno notables, que conducen a producir vinos alcohólicos y poco ácidos con producciones muy uniformes (SAAYMAN, 1977).

La evaporación es, en los meses de verano, superior a la precipitación, por lo que se presenta un déficit hídrico acusado (-397,4 mm en Tudela de Duero (Valladolid), en un año medio). El suelo actúa en este aspecto como agente regulador, lo que resulta de gran importancia a la hora de elegir las labores culturales, el tipo de



Figura 8. Terroir del cv. Tempranillo en la DO Ribera del Duero.
(Foto: JOSÉ CARLOS ÁLVAREZ, 2014)

portainjerto, el tipo de cultivar y clon, y el sistema de conducción (LÁZARO *ET AL.*, 1978). Adquiere de esta forma una gran importancia la relación existente entre el clima y el suelo, la cual está enormemente influenciada por las condiciones hidromórficas del suelo, de gran importancia en la calidad del vino (SAAYMAN, 1977).

4.3.1 ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS EN LA D.O. RIBERA DEL DUERO

El objetivo de los diversos índices bioclimáticos es el de obtener relaciones entre uno o más parámetros climáticos con la finalidad de caracterizar las aptitudes vitícolas desde diversos puntos de vista: capacidad productiva, posibilidades de maduración, vocación varietal, vocación vinícola, riesgo de enfermedades, etc.

En base a los grados-día de Winkler y Amerine, según describe ELÍAS (1992) en los estudios climáticos se su trabajo “Delimitación cartográfica de zonas vitícolas en la Denominación de Origen Ribera del Duero”, el valor de la integral térmica de las temperaturas medias diarias superiores a 10 °C en el periodo abril-octubre arroja un intervalo medio que varía entre 1.447 (San Esteban de Gormaz) y 1003 (Burgo de Osma), por lo que la D.O. puede englobarse comprendida dentro de la zona 1 (< 1.390 °C) desde un punto de vista práctico.

El índice heliotérmico de Huglin (IH), estima como límite inferior de posibilidades de cultivo con una fotosíntesis activa corresponde aproximadamente a un valor de IH de 1.400, valor que se ve ampliamente rebasado en todas las estaciones de la red de Ribera del Duero (ELÍAS, 1992).

Si se multiplica la suma de las temperaturas activas (diferencia entre las temperaturas medias y 10° C), por la suma de las duraciones de los días (horas de luz) para un mismo período y por la constante 10^{-6} , se obtiene el producto heliotérmico de Branas, Bernon y Levadoux. Los valores de este índice en Ribera del Duero varían entre los límites 4,13 (San Esteban de Gormaz) y 2,42 (Burgo de Osma) (ELÍAS, 1992).

Del análisis de los valores de todos estos índices, se puede concluir que la D.O. Ribera del Duero se trata de una región vitivinícola fresca, con unos valores relativamente bajos de los índices y como consecuencia, existe una limitación de los varietales a cultivar a causa de la duración del ciclo vegetativo, con eventuales problemas de maduración en los años fríos y menos soleados, pero permitiendo, en circunstancias normales, una equilibrada maduración (ELÍAS, 1992).

4.4 LOS SUELOS EN LA D.O. RIBERA DEL DUERO

4.4.1 GEOLOGÍA DE LA CUENCA DEL DUERO

La depresión del Duero es la cuenca sedimentaria interior más representativa de la Península Ibérica. Desde el punto de vista geológico la Cuenca del Duero constituye una gran cubeta formada a finales del Mesozoico y que fue rellenándose durante el terciario con sedimentos detríticos y evaporíticos (FAO, 1989). Bordeada por sistemas montañosos de diferentes litologías, con presencia de penillanuras, páramos detríticos y calcáreos, campiñas y extensas áreas de transición entre condiciones atlánticas y mediterráneas, muestra una gran variedad de medios bióticos y abióticos (CABERO *ET AL.*, 1987). Los factores abióticos, el relieve, la litología y el clima, van a condicionar de forma significativa a las diferentes biocenosis de la región (GARCÍA *ET AL.*, 1979; GRANDE DEL BRÍO, 1982).

Situada en la Meseta Norte, ocupa una gran extensión de la región de Castilla y León (CABERO *ET AL.*, 1982). La cuenca neógena, con una extensión aproximada de 75.000 km², está rodeada por sistemas montañosos de entidad geográfica y litológica muy distinta: limita al Norte con la Cordillera Cantábrica, al Oeste con los materiales de las zonas astur-occidental leonesa y centro-ibérica del Macizo Hespérico, al Sur con el Sistema Central y al Este con la Cordillera Ibérica (PÉREZ GONZÁLEZ, 1979). Morfológicamente es una zona deprimida, formada por llanuras diversas con una elevada altitud media (600-1.100 m.). El sector occidental se forma sobre materiales del zócalo paleozoico y el centro-este sobre sedimentos terciarios y cuaternarios. Dentro de la depresión se pueden distinguir, además de los piedemontes detríticos pliocuaternarios que enlazan con la orla montañosa, varias estructuras litomorfológicas constituidas por sedimentos neógenos y paleógenos: páramos calizos, cuevas (margo-yesíferas), campiñas (areno-arcillosas), y distintas superficies cuaternarias (fundamentalmente vegas y terrazas) (CORRALES, 1979; ALONSO, 1982).

El clima de la depresión es mediterráneo continentalizado, condicionado por el relieve y la situación geográfica, presentando tres características climáticas que van a repercutir en la formación y distribución de los suelos y la vegetación: amplitud térmica, larga duración del invierno y la aridez en el centro de la depresión. El régimen de humedad es ústico en los bordes de la depresión (llegando a údico y ácuico en las zonas de mayor altitud), xérico en la mayor parte de la depresión y arídico en algunos puntos del centro. El régimen de temperatura es méxico, llegando a frígido en zonas de montaña (TEJERO DE LA CUESTA, 1987). Al analizar los suelos de la cuenca se observa que la mayoría han sido alterados por la acción antrópica. En general, los suelos de la cuenca están afectados por tres procesos: iluviación (favorecida por la degradación estructural de horizontes superficiales), rubefacción (se observa sobre todo en suelos

formados a partir de la caliza de los páramos y en terrazas) e hidromorfismo (se manifiesta en concreciones ferruginosas, manchas de óxido-reducción y salinidad, e indica contraste entre clima ambiental y edáfico) (GARCÍA ET AL., 1979).

Finalmente, desde un punto de vista fitogeográfico, la mayor parte de la Cuenca del Duero se encuentra en la región Mediterránea, subregión Mediterráneo occidental, provincias Aragonesa, Castellano-Maestrazgo-Manchega y Carpetano-Ibérica- Leonesa. El área septentrional corresponde a la Región Euro-siberiana, subregión Atlántico-Medioeuropea, provincia Orocantábrica (NAVARRO Y VALLE, 1987).

4.4.2 GEOMORFOLOGÍA DE LA D.O. RIBERA DEL DUERO

Las diversas formas del relieve, a través de sus principales elementos (pendiente, orientación y exposición), regulan el régimen hídrico y térmico del suelo, influyendo en las plantas de vid, directa e indirectamente (BECKER, 1977). La Ribera del Duero se encuadra, desde un punto de vista morfoestructural, en las unidades dentro de la depresión sedimentaria: piedemontes detríticos, páramos calizos, cuestas, campiña arcillosa, campiña arenosa, terrazas y vegas y áreas endorreicas (FAO, 1989).

4.4.2.1 PÁRAMOS CALIZOS

Los páramos son superficies extensas, de orografía plana, constituidas por estratos calizos horizontales, sometidos a procesos de karstificación. Ocupan el margen nororiental de la cuenca, con enclaves al oeste de Valladolid y al sur del río Duero (GARCÍA ET AL., 1986; LORENZO ET AL., 1993). Sobre las calizas del páramo se han desarrollado preferentemente suelos rojos que, debido a la mezcla de horizontes y a los procesos de decalcificación, se han empardecido. En suelos profundos y menos alterados, aún permanecen los tonos rojizos. Las mayores extensiones corresponden a suelos evolucionados, con pH alcalino y elevada proporción de carbonatos. Corresponden a luvisoles cálcicos y crómicos en los que se pueden observar los procesos de decarbonatación, rubefacción e iluviación (GARCÍA ET AL., 1987).

Si la evolución es menor, se encuentran cambisoles calcáreos y, en menor medida, cambisoles crómicos y eútricos. Si los suelos apenas han evolucionado, o han tenido lugar procesos de regresión, se encuentran leptosoles réndricos. Los páramos se encuentran en gran parte cultivados, si bien en el pasado han soportado una vegetación arbórea abundante, constituida por especies de los géneros *Quercus* y *Juniperus*, en muchos casos en forma arbustiva. No obstante, gran parte de la vegetación del páramo ha sido arrasada por la acción antrópica, y los escasos enclaves forestales corresponden a monte bajo. (LORENZO ET AL., 1993).

4.4.2.2 LADERAS

Constituyen la vertiente de los páramos, representando el tránsito entre páramos calizos y campiñas detríticas. Las facies de cuestras representan la máxima extensión de facies lacustres marginales, caracterizadas por margas, yesos y arcillas en los niveles inferiores, y margas calcáreas y calizas margosas en los superiores (CORRALES, 1979; PORTERO *ET AL.*, 1982). En estas facies, el material original y los suelos apenas se diferencian, encontrándose los últimos representados por los regosoles calcáricos y gípsicos, con vegetación rala y escasa, constituida por matorrales calcícolas y gípsícolas. Sobre margas y calizas pueden encontrarse suelos más evolucionados: cambisoles calcáricos y eútricos.

En las partes bajas de las cuestras de los páramos calizos, donde los horizontes de humus se mantienen o han sido poco alterados, hay algunas zonas de suelo con poca extensión, que podrían clasificarse como Kastanozem (GARCÍA *ET AL.*, 1987).

4.4.2.3 TERRAZAS Y VEGAS

Durante el período cuaternario, los principales cursos fluviales han dejado un gran número de terrazas. En general, la evolución de los suelos aumenta desde las terrazas más bajas a las superiores (ALONSO *ET AL.*, 1991). En las terrazas inferiores, normalmente en proceso de cultivo por parte del hombre, se encuentran perfiles poco desarrollados, frecuentemente cambisoles. En las terrazas superiores aparecen luvisoles (cálcicos o crómicos) y, con menor frecuencia, acrisoles y planosoles. Estos perfiles suelen sufrir procesos de decarbonatación, rubefacción e iluviación. En las terrazas altas es frecuente encontrar vegetación caracterizada por distintas especies de *Quercus*, con estrato de árboles y arbustivo (LORENZO *ET AL.*, 1993).

En las vegas de los ríos se encuentran fluvisoles (FAO, 2006), aunque también pueden aparecer manchas de gleysoles (FAO, 2006). Los citados fluvisoles (FAO, 2006) se desarrollan en el cauce actual del río Duero (a veces se encuentran en las primeras terrazas), siendo los suelos más fértiles de la cuenca, por lo que se cultivan de forma intensa. Los fluvisoles (FAO, 2006) que alcanzan mayor extensión son los eútricos (FAO, 2006), localizados en la depresión terciaria del río Duero, mientras que en los páramos calizos se encuentran fluvisoles calcáreos (FAO, 2006). Los gleysoles (FAO, 2006) aparecen en manchas dispersas como consecuencia de períodos de encharcamiento estacional y riegos periódicos, considerándose este tipo de suelos más apropiados para pastizales (LORENZO *ET AL.*, 1993).

4.5 EL CULTIVAR TEMPRANILLO

El cultivar Tempranillo se distribuye, en su gran mayoría, en territorios de La Rioja, Castilla La Mancha y Castilla y León. De un modo más secundario, el resto de la superficie de cultivo en el territorio nacional se distribuye de la siguiente manera: País Vasco, Navarra, Aragón, Comunidad Valenciana, Extremadura, Cataluña, Comunidad de Madrid, Murcia y Andalucía. (CABELLO *ET AL.*, 2011).

Las Denominaciones de Origen donde se encuentra autorizado este cultivar son: Abona, Alella, Alicante, Almansa, Ampurdán-Costa Brava, Binissalem-Mallorca, Bullas, Calatayud, Campo de Borja, Cariñena, Cataluña, Cigales, Conca de Barberá, Costers del Segre, Jumilla, La Mancha, Manchuela, Méntrida, Mondejar, Monterrei, Montsant, Navarra, Pago vitícola Finca Élez, Pago vitícola Guijoso, Penedés, Pla de Bages, Pla i Llevant, Ribeiro, Ribera del Duero, Ribera del Guadiana, Ribera del Júcar, Rioja, Rueda, Sierra de Málaga, Somontano, Tacoronte-Acentejo, Tarragona, Terra Alta, Toro, Utiel-Requena, Valdeorras, Valdepeñas, Valencia, Valle de Güimar, Vinos de Madrid y Yecla (MAGRAMA, 2011).

4.5.1 CARACTERIZACIÓN DEL CV. TEMPRANILLO

La caracterización del cv. Tempranillo (**Figura 9**), se detalla a continuación desde un punto de vista ampelográfico (en sus hojas, sumidades (**Figura 10**) y racimos), fenológico, agronómico y enológico (**Figura 11**) (MAGRAMA, 2015).

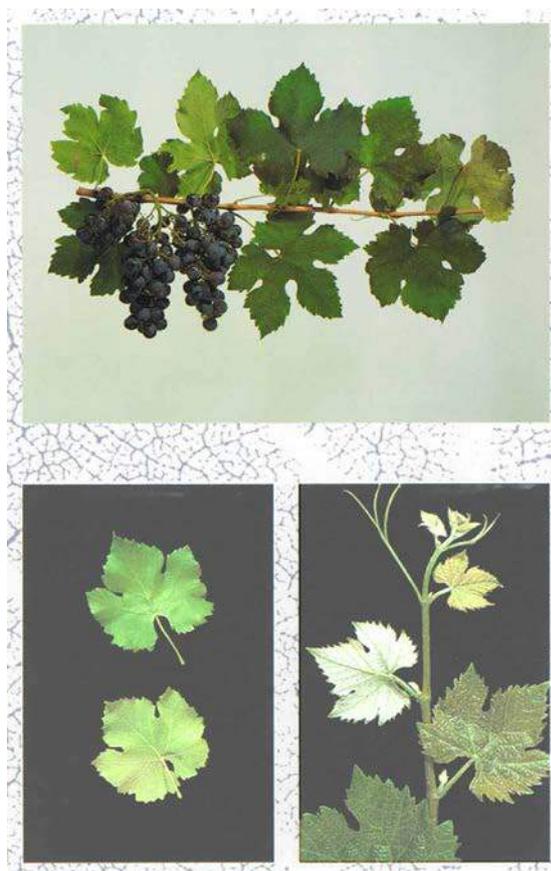


Figura 9. Vitis vinifera L. cv. Tempranillo (Fuente: KERRIDGE Y ANTCLIFF, 1999).

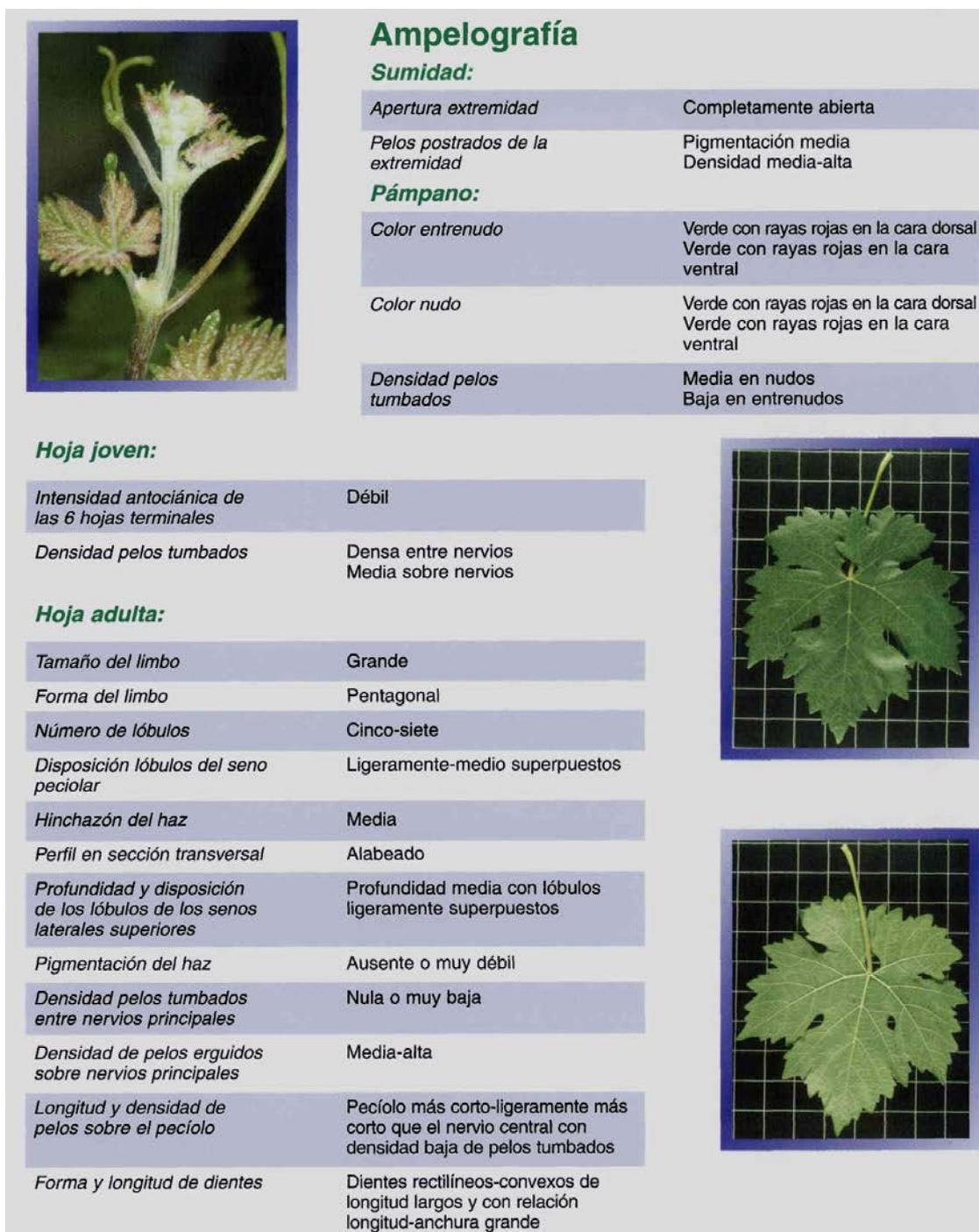


Figura 10. Ampelografía de sumidad, hoja joven y hoja adulta en *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo (Fuente: MAGRAMA, 2015).



Figura 11. Ampelografía de racimo, fenología y aptitudes, agronómicas y enológicas, en *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo (Fuente: MAGRAMA, 2015).

4.5.1.1 SINONIMIAS DEL CV. TEMPRANILLO

Las sinonimias de esta variedad son las siguientes: se denomina “Albillo” en Cifuentes (Guadalajara) y en Almorós (Toledo); “Piñuela” en Almorós (Toledo); “Aragonés” en Gordoncillo (León), Sequeros (Salamanca), y Palencia; “Aragonesa” en La Seca (Valladolid), Coruña del Conde (Burgos), y Burgo de Osma (Soria); “Aragón”, “Vid de Aranda”, y “Tempranillo Rioja” en Aranda de Duero (Burgos); “Arauxa” en el sur de Orense; “Cencibel” en varios municipios de Cuenca, Madrid, Guadalajara, y Ciudad Real; “Chinchillana” en municipios del este de Badajoz, Garrovillas (Cáceres), y Malpartida de Plasencia (Cáceres); “Escobera” en municipios de Cáceres, y Badajoz;

“Genciber” en Cardenere (Cuenca); “Palomino Negro” en Cádiz; “Piñuelo” en Villaviciosa (Córdoba), Pastrana (Guadalajara), Chillón (Ciudad Real), Cebreros (Avila), Villamiel (Cáceres), y Seruela (Badajoz); “Tinta de Madrid” en San Pedro de Latarce (Valladolid), La Bañeza (León), y municipios de Palencia; “Tinta de Toro” en Mota del Marqués (Valladolid), y en la zona de Toro (Zamora); “Tinta del País” en Aranda de Duero (Burgos); “Tinta Fina” en Pedroñeras (Cuenca), Arganda del Rey (Madrid), Peñafiel (Valladolid), Laguna de Negrillos (León), y Villoria (Salamanca); “Tinta Madrid” en municipios de León, y Zamora; “Tinto Aragonés” en Peñafiel (Valladolid), Berlanga de Duero (Soria), y municipios de Burgos, y Zamora; “Tinto Basto” en Madridejos y Santa Cruz de Retamar (Toledo) y municipios de Ciudad Real, y Albacete; “Tinto de Aragón” en Los Balbases (Burgos); “Tinto de Madrid” en municipios de Salamanca; “Tinto del País” en Quintanilla de Abajo (Valladolid), y algunos municipios de Soria; “Tinto Fino” en Madridejos (Toledo), Villarrobledo (Albacete), muchos municipios del sur de Madrid; “Tinto Madrid” en municipios de Madrid, Toledo, Salamanca, y Soria; “Tinta Roriz” en Portugal; “Tinto Valdepeñas” en Valdepeñas (Ciudad Real); “Ull de Llebre” en San Salvador de Guardiola (Barcelona), Porrera (Tarragona), Benlloch (Lérida) y en Useras (Castellón) (YUSTE *ET AL.*, 1998; YUSTE *ET AL.*, 2001; YUSTE *ET AL.*, 2006).

4.6 LA MADUREZ ÓPTIMA DE LAS BAYAS DE VID

El seguimiento del proceso de maduración de las bayas de vid es un procedimiento estrictamente necesario, y sobre todo cuando se aproxima el momento de la cosecha, debido a la complejidad de las evoluciones de los diversos compuestos de la uva y el mosto (CARBONNEAU *ET AL.*, 2003). El criterio para estimar la madurez óptima en las bayas de cultivares tintos son multifactoriales y complejos. Un amplio número de investigaciones han sido encaminadas hacia la investigación de la composición de las bayas durante el proceso de maduración con el objeto de establecer el período de cosecha óptimo (NADAL, 2010).

El seguimiento de la maduración de las bayas y la decisión del momento óptimo de vendimia es extremadamente complejo a consecuencia de la considerable cantidad de compuestos en juego y a la diversidad de sus respectivas evoluciones durante este proceso. La búsqueda de la tipicidad deseada está asociada al equilibrio óptimo que, a su vez, está basado en la toma de decisiones críticas e inestables. No obstante, con el objeto de simplificar el problema en cuestión, resulta posible clasificar los constituyentes de la baya de vid en tres grupos (CARBONNEAU *ET AL.*, 2003):

- Sustancias en acumulación: azúcares, potasio, aminoácidos, antocianos, “neotaninos” de los hollejos, terpenos y norisoprenoides.
- Sustancias en degradación: ácidos orgánicos (málico y tartárico), taninos “herbáceos” de los hollejos, taninos de las semillas, metoxipirazinas y carotenos.

- Sustancias que originan complejos: a través de procedimientos de glicosilación, de polimerización y de combinación (taninos-antocianos, taninos-polisacáridos y taninos-proteínas).

La evolución de la maduración puede aportar, en ocasiones, una idea anticipada de la calidad potencial de la vendimia, especialmente cuando se desarrolla en malas condiciones eco-fisiológicas. No obstante, el criterio de calidad de la vendimia se puede establecer en función de la transformación de los diferentes constituyentes de las bayas de la vid. La maduración de las bayas lleva consigo la evolución de cuatro parámetros principales (CARBONNEAU *ET AL.*, 2003):

- Aumento de volumen de la baya.
- Hidrólisis de determinados constituyentes que participan en la estructura de las paredes celulares, responsable del reblandecimiento de la baya, y una evolución opuesta de las semillas (esclerificación, lignificación y depósito de una cutícula externa lipídica).
- Acumulación de taninos y de antocianos en los hollejos de los cultivares tintos.
- Biosíntesis de los precursores aromáticos.

Resulta lógico pensar que las interacciones entre el medioambiente físico y biológico y las prácticas vitícolas desarrolladas durante el ciclo vegetativo (terroir), se vean reflejadas en los niveles de los diversos parámetros evaluados con el objeto de determinar el estado de madurez óptima en las bayas de vid en el período de cosecha. La modelización predictiva de estos parámetros de madurez en las bayas, los cuales pueden ser considerados como un reflejo del terroir, puede presentar dos aspectos ventajosos:

- ✓ Por una parte encontrar la posibilidad de obtener un algoritmo que permita obtener niveles fiables para un parámetro de madurez cuya cuantificación práctica suponga niveles de coste y/o tiempo elevado/s.
- ✓ Por otra parte, la realización y optimización de modelos predictivos, puede permitir obtener información adicional acerca de los posibles vínculos entre los procesos fisiológicos y bioquímicos que tiene lugar en la vid, y las condiciones medioambientales y de manejo en las cuales se desarrolla su vida productiva.

En la presente tesis doctoral, se ha optado por centrar los esfuerzos de modelización en los siguientes parámetros de madurez: ácido L-málico y madurez fenólica, representada esta última a través de la extractabilidad de los antocianos.

4.6.1 El ácido L-málico

La acidez de los vinos es un factor fundamental de su calidad. Sus características organolépticas, su color y su aptitud para la conservación y envejecimiento dependen directamente de un nivel óptimo de acidez (SOYER, 2005). Desde un punto de vista enológico, la noción de acidez en mostos y vinos puede ser enfocada desde diversas ópticas: acidez total, acidez volátil, acidez fija y acidez real (pH) (CHATONNET, 2005).

Los ácidos orgánicos del vino, cuya principal propiedad es la de contribuir en gran medida a la acidez del vino, condicionan la estabilidad, el color y la aceptación gustativa. Es fácil comprender pues que el conocimiento de estos ácidos es de gran importancia para el enólogo, ya que su evolución debe de ser monitorizada desde el proceso de maduración de la uva hasta el período de guarda del vino como tal (CABANIS, 2003). No obstante, la acidez de los mostos depende fundamentalmente de las proporciones relativas de tres de los componentes principales de las bayas maduras: los ácidos orgánicos tartárico (muy característico de la vid) y L-málico (AM), y el catión potasio (SOYER, 2005).

A diferencia de las hojas de vid, las bayas verdes de esta planta presentan la particularidad de incorporar de una forma muy efectiva el CO₂ en el AM (RIBÉREAU-GAYON y PEYNAUD, 1982). Durante el día, mientras los estomas se encuentran cerrados para evitar la evaporación del agua intracelular, el CO₂ es recuperado a partir de la descarboxilación del AM que es secretado por la vacuola al citosol, mediante la acción de la enzima málica dependiente de NADP⁺, presente en el citosol y en el cloroplasto. Con este mecanismo, mediante la separación temporal de las reacciones de fijación del CO₂ atmosférico de aquellas del ciclo de Calvin, las plantas CAM disminuyen considerablemente la pérdida de agua durante el día (HEDRICH R. y MARTEN I., 1993).

No obstante, la disminución de la acidez total de la uva, en el transcurso de la maduración, se debe de manera fundamental a la disminución del contenido de AM en la uva, pues tal componente de las bayas se constituye como el principal sustrato de la combustión respiratoria de la uva. De forma opuesta a lo anterior, el ácido tartárico varía en menor medida, de tal forma que las variaciones observadas se corresponden fundamentalmente con un efecto de dilución motivado por el aumento de tamaño de la baya (CHATONNET, 2005). Los diversos factores químicos y biológicos que contribuyen de forma posterior a la degradación del AM durante el proceso de fermentación, han sido discutidos en detalle por VOLSCHENK *et al.* (2006).

El AM puede contribuir, de forma aproximada, a la mitad de la acidez total de las bayas de vid en el momento de su recolección. Si bien su concentración en las bayas tiene a disminuir a medida que avanza el proceso de maduración (especialmente durante períodos muy cálidos al final del ciclo de maduración), ante la existencia de condiciones ambientales frías, los niveles de AM en las bayas pueden mantenerse

elevados. De esta forma, los niveles de AM en las bayas de vid se constituyen a menudo como uno de los principales indicadores empleados para determinar el momento de cosecha (JACKSON, 2014).

4.6.2 La madurez fenólica

Los compuestos fenólicos, desde un punto de vista químico, se caracterizan por un núcleo bencénico que lleva uno o varios grupos hidroxilo. Dichos compuestos intervienen de manera fundamental en la calidad de los vinos, siendo el origen del color y de la astringencia, aportando también olor y sabor, modulando el retrogusto, la persistencia y el cuerpo de los vinos (DÍAZ-PLAZA MARTÍN-LORENTE *ET AL.*, 2000; GONZÁLEZ SAN JOSÉ, 2005, citados por QUIROGA, 2014).

Los niveles de pigmentos antocianicos (flavonoides pertenecientes al conjunto de compuestos fenólicos) y su extractabilidad, constituyen una fracción importante dentro del conjunto de los parámetros que conforman el concepto de calidad en mostos durante el periodo de maduración. Estos antocianidos o antocianidinas, más conocidos como antocianos, poseen una estructura con dos anillos bencénicos unidos por un heterociclo oxigenado, insaturado y catiónico, denominado ion flavilium o flavilio. Bajo la forma heterosídica se denominan antocianinas, bastante más estables que las formas agliconas o antocianidinas. (FULCRAND *ET AL.*, 1998, citados por QUIROGA, 2014). Están localizados en el hollejo, en las tres o cuatro primeras capas celulares del hipodermo y contribuyen de manera preponderante al color de los cultivares tintos (CHEYNIER *ET AL.*, 2003).

La concentración total fenólica se incrementa de forma lenta durante el proceso de maduración hasta que se alcanza un máximo que varía dependiendo del cultivar, las condiciones climáticas y las prácticas culturales. De igual modo, la tasa de síntesis de antocianos se incrementa de forma significativa a partir del estado fenológico de envero, contribuyendo al incremento total de compuestos fenólicos durante el período de maduración de las bayas (NADAL, 2010).

La acumulación de compuestos fenólicos es dependiente del tipo de suelo de cultivo y de su estado de fertilidad (VAN LEEUWEN *ET AL.*, 2004, citados por NADAL, 2010), la capacidad de retención hídrica del mismo, así como la distribución anual de la precipitación en ese específico terroir (CHONÉ *ET AL.*, 2001, citados por NADAL, 2010), y las técnicas de cultivo empleadas en cuanto al manejo específico de la vegetación (NADAL, 2010). Por otra parte, la relación existente entre la superficie de hollejo y el tamaño de las semillas, con respecto al tamaño total de la baya, muestran un papel importante en la extracción de los compuestos fenólicos en el vino resultante (ROSON Y MOUTOUNET, 1992, citados por NADAL, 2010).

La madurez fenólica no solo debe aportar información acerca de la concentración total de sustancias de esta familia en las bayas de vid, sino también que debe de informar acerca de su estructura y la capacidad de ser extraídas de las bayas durante el proceso de vinificación. Aunque diversas metodologías han sido propuestas para asesorar acerca del contenido total fenólico en bayas de vid, una metodología razonable en cuanto a su facilidad de interpretación es la propuesta por SAINT-CRIQ *ET AL.*, (1998). Tal método consiste en la extracción de los antocianos de las bayas en dos condiciones de pH diferentes, una de las cuales (pH = 3,2) simula unas condiciones cercanas al valor de pH del vino, y por lo tanto, permite realizar comparaciones con lo que podría suceder en el proceso de vinificación (NADAL, 2010).

De esta forma, la extractabilidad de los antocianos (EA) se constituye como un parámetro importante a la hora de evaluar el criterio de calidad en una potencial vendimia, ya que refleja una información valiosa tanto en la dinámica de la maduración, como en el propio estado de maduración de las bayas.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO.

OBJETIVOS DEL TRABAJO



5 OBJETIVOS

Los vinificadores pasan, pero el terroir permanece” (NUÑEZ, 2008). En el viejo mundo vitivinícola (Europa), el terroir está ampliamente aceptado como un factor de calidad y estilo en el vino. Más allá de la discusión que diversos autores han planteado acerca del número de factores que determinan la definición de *terroir*, parece encontrarse un amplio consenso en el hecho de la dificultad de incluir todos ellos en un único estudio con el objeto de caracterizar uno u otro *terroir*.

En el apartado de la “Introducción” correspondiente a este trabajo, se ha revisado el conjunto de factores que determinan el concepto de *terroir* y la influencia que ejercen sobre las características resultantes en los vinos obtenidos de un paisaje vitícola plenamente diferenciado. Si bien la noción de este concepto ha despertado desde un primer momento cierta controversia en el ámbito de la vitivinicultura, la veracidad que deba de ofrecer tal término debería de basarse en la metodología científica, con el objeto de que tal concepto, generador a su vez de una notable actividad comercial, perdure en el tiempo.

En el presente trabajo de investigación se aborda la posibilidad de demostrar la importancia de las relaciones existentes entre las propiedades del medio edáfico y las cualidades de los mostos obtenidos a partir de las cosechas de los viñedos que se asientan sobre los suelos objeto de estudio. De igual forma, se aborda la posibilidad de modelizar determinados parámetros enológicos relevantes en el período de maduración de las bayas de vid, con el objeto de predecir sus valores a partir de otros parámetros cuya metodología de medición resulte más sencilla desde un punto de vista metodológico y/o más económica.

De esta forma, los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación serían los siguientes:

1. Describir mediante parámetros edáficos, climatológicos y enológicos representativos los diferentes viñedos seleccionados en el presente estudio de investigación.
2. Evaluar la relación existente entre los parámetros climatológicos y enológicos que puedan caracterizar un terroir.
3. Determinar el nivel de significatividad existente en la relación entre el estado de fertilidad del suelo y las cualidades del mosto obtenido de los viñedos asentados sobre tales suelos.
4. Modelizar los niveles de ácido L-málico en el momento de cosecha a partir de parámetros enológicos y climatológicos.
5. Modelizar los niveles de extractabilidad de los antocianos en el momento de cosecha a partir de parámetros enológicos y climatológicos.

6. Evaluar la importancia relativa de cada uno de los parámetros predictivos que colaboran de forma significativa en la predicción de cada uno de los parámetros modelizados.
7. Evaluar el grado de éxito en los niveles de predicción en cada uno de los modelos desarrollados.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO

MATERIALES Y MÉTODOS



6 MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS VIÑEDOS OBJETO DE ESTUDIO

La Denominación de Origen (D.O.) “Ribera del Duero” presenta tal distinción desde el año 1982. Su localización se desarrolla a lo largo del valle conformado por el río Duero, en la meseta norte de España, alcanzando una extensión aproximada de 3.000 km². Su altitud varía desde los 750 hasta los 950 m de forma aproximada. La precipitación anual se mueve en el rango de los 400 mm en su área este hasta los 600 mm en su área oeste, mientras que la temperatura media se establece en el intervalo 11 – 13 °C. La DO cuenta con un clima Mediterráneo con un cierto carácter continental a causa de del aislamiento provocado por la meseta norte (SOTÉS, 2008). De igual forma, la región de estudio podría ser clasificada de forma primordial como subárida (Thornwaite), con una evapotranspiración de referencia media anual (Thornwaite) en el rango 650 - 700 mm.

PARCELA	COORDENADAS UTM			COORDENANDAS GEOGRAFICAS		
	X	Y	HUSO HORARIO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
QUINTANILLA DE ONESIMO	387853,72	4609188,85	30	41°37'32,94''N	4° 20' 46,32''W	739 m
OLIVARES DE DUERO	386347,07	4609937,5	30	41°37'56,44''N	4° 21' 51,92''W	725 m
VALBUENA DE DUERO	392798,95	4609282,04	30	41°37'38,4''N	4° 17' 12,743''W	751 m
PEÑAFIEL I	409285,63	4605451,77	30	41°35'41,59''N	4° 5' 18,3''W	779 m
PEÑAFIEL II	408344,03	4605951,3	30	41°35'57,4''N	4° 5' 29,24''W	780 m
PESQUERA DE DUERO I	398835,27	4610763,64	30	41°38'29,27''N	4° 52' 52,82''W	765 m
PESQUERA DE DUERO II	400786,18	4610995,5	30	41°38'37,67''N	4° 11' 28,65''W	771 m
PEDROSA DE DUERO	419494,46	4618183,72	30	41°42'38,31''N	3° 58' 3,57''W	855 m
OLMEDILLO DE ROA	423087,27	4626733,11	30	41° 47' 16,76'' N	3° 55'32,11''W	858 m
LA HORRA I	428309,81	4620263,22	30	41° 40'0,43'' N	3° 51'43,32''W	831 m
LA HORRA II	427764,95	4623195,94	30	41° 45'23,66''N	3° 52' 7,93''W	844 m
GUMIEL DE MERCADO I	430051,33	4619805,29	30	41° 43'34,27''N	3° 50'27,5''W	826 m
GUMIEL DE MERCADO II	434229,2	4617401,82	30	41° 42'17,83''N	3° 47'25,74''W	808 m
ARANDA DE DUERO I	439411,2	4611352,91	30	41° 39'3,2''N	3° 43'39,33''W	869 m
ARANDA DE DUERO II	444335,54	4612245,16	30	41° 39'33,2''N	3° 40'6,76''W	828 m
QUINTANA DEL PIDIO	436522,36	4623465,62	30	41° 45'35,1''N	3° 45'48,85''W	800 m
FUENTELCESPED	446574,29	4605886,89	30	41° 36'7,85''N	3° 38'27,93''W	831 m
MILAGROS	442728,67	4602481,04	30	41° 34'16,43''N	3° 41'12,81''W	836 m
CASTILLEJO DE ROBLEDO	457004,53	4604201,38	30	41° 35'13,43''N	3° 30'56,94''W	892 m
SAN ESTEBA DE GORMAZ	483603,4	4603748,42	30	41° 35'4,3''N	3° 11'48,12''W	880 m

Tabla 1. Localización geográfica de los viñedos objeto de estudio. Coordenadas X e Y (m).

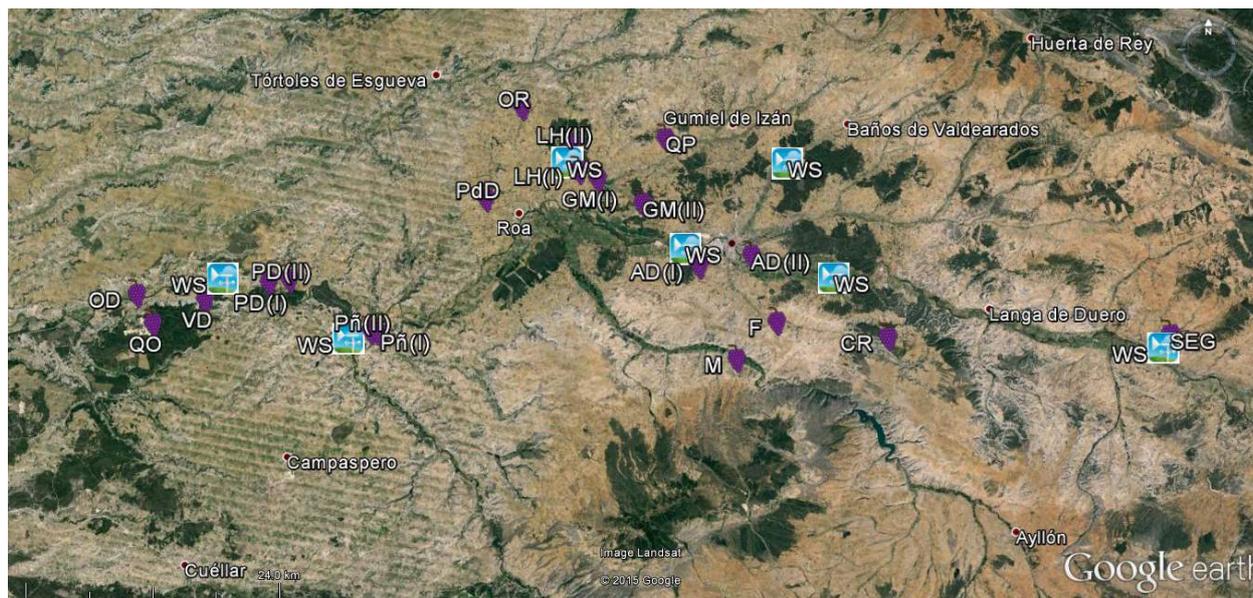


Figura 12. Distribución espacial en la D.O. tanto de los viñedos objeto de seguimiento, como de las estaciones climatológicas (weather stations (WS)) durante el período de investigación (Fuente: GOOGLE EARTH, 2015; Fecha de la imagen: 10/X/2013. Acceso: VI/2015)

El presente trabajo de investigación se ha llevado a cabo sobre el cultivar (cv.) *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo durante dos períodos diferentes: trece años (2002-2014) en seis viñedos, añadiendo once nuevos viñedos en el año 2006 (2006-2014) en el caso de muestreo de bayas y toma de datos climáticos (factores climáticos y enológicos en el terroir) y tres años (2000-2002) en el conjunto de los diecisiete viñedos para el caso del estudio de la interacción entre factores edáficos y enológicos en el terroir (muestreo de suelos y bayas). En total dieciséis viñedos localizados en varios términos municipales ((**QO**) Quintanilla de Onésimo, (**OD**) Olivares de Duero, (**PñII**) Peñafiel, (**PñII**) Pesquera de Duero, (**PdD**) Pedrosa de Duero, (**OR**) Olmedillo de Roa, (**LHI** y **II**) La Horra, (**GMII**) Gumiel de Mercado, (**ADI** y **II**) Aranda de Duero, (**QP**) Quintana del Pidio, (**F**) Fuentelcésped, (**M**) Milagros, (**CR**) Castillejo de Robledo y (**SEG**) San Esteban de Gormaz), han sido utilizados para obtener los datos empleados en el presente trabajo en el estudio conjunto de parámetros edáficos y enológicos, y cuatro más ((**VD**) Valbuena de Duero, (**PFI**) Peñafiel, (**PQI**) Pesquera de Duero y (**GMII**) Gumiel de Mercado) hasta conformar un total de veinte en el estudio conjunto de parámetros climáticos y enológicos (Figura 12). La selección de estos viñedos se ha basado en su representatividad de una gran parte de la extensión ocupada por la DO "Ribera del Duero". Los rangos de latitud y longitud geográfica en los citados viñedos se sitúan en los intervalos 41°34'N - 41°47'N y 4°21'W - 3°11'W respectivamente, mientras que el rango correspondiente a las altitudes ha sido de 880 - 725 m.

La edad de los viñedos se ha encontrado en el rango 20 - > 80 años.

Todos los viñedos han sido podados de forma manual con un sistema de conducción que ha variado desde un sistema tradicional de poda en vaso hasta un sistema de

doble cordón royat. La carga en los diversos viñedos presentaba un rango desde 1 kg por vid hasta > 2 kg por vid. Finalmente, tanto la distancia entre vides en la línea de plantación como la anchura de las calles y la orientación de las propias líneas de vides ha variado entre viñedos.

6.2 MUESTREO DE BAYAS (PARÁMETROS ENOLÓGICOS)

Una de las operaciones fundamentales a la hora de conseguir buenos resultados en los estudios realizados con bayas de vid, consiste en la metodología y sistemática seguida para la toma de muestras en viñedo. El objetivo final del muestreo radica en aseverar con fiabilidad que la muestra tomada se ajusta al estado medio del viñedo estudiado, teniendo en cuenta la variabilidad existente en la población de cepas que compone el viñedo la irregular maduración en el racimo y en la cepa debido a factores diversos como la insolación, altura del racimo con respecto al suelo de cultivo, portainjerto, etc. En base a lo anteriormente citado, se estableció como práctica de muestreo apropiada, la de tomar muestras al azar de 200-500 bayas obtenidas de todas las partes del racimo, así como de racimos procedentes de todas las partes de las cepas.

De esta forma, en el presente trabajo, el muestreo se realizó seleccionando 30 cepas de cada parcela. Se utilizaron bolsas de plástico alimentario, recogiendo en cada muestreo de campo de 150 a 200 bayas. Todos los muestreos se realizaron sobre las mismas cepas seleccionadas, cogiendo cada vez dos bayas por racimo en dos racimos por cepa, variando en cada cepa la posición del racimo del que se tomaba la muestra, y la posición de la baya de cada racimo, sin mirar los racimos de uva mientras se muestreaba, para evitar coger involuntariamente las bayas más grandes, sanas o de mejor aspecto. La finalidad era coger bayas de uva de todas las posiciones dentro del racimo (zona central, hombros, ápice terminal, etc.), así como seleccionar bayas de racimos colocados en todas las orientaciones geográficas (insolación) y en diferentes alturas de la vid (racimos rastreros, más o menos ocultos por el follaje, etc.). Se intentó ser muy cuidadoso muestreando las bayas del racimo, intentando no destruir la baya muestreada, ni dañar el resto del racimo. Las muestras de bayas así tomadas, fueron llevadas en condiciones de refrigeración al laboratorio, siendo analizadas en el mismo día de muestreo y siguiendo dos manejos diferentes en función de las determinaciones a realizar sobre ellas, de tal forma que después de realizar la determinación del peso de 100 bayas (P_{100}), se estableció un manejo concreto para los análisis de los antocianos (*Tratamiento I*) y otro para el resto (*Tratamiento II*). Los procedimientos efectuados, siguiendo los métodos oficiales establecidos en CEE Reglamento Nº 2676/90, se detallan a continuación:

6.2.1 Análisis del peso de 100 bayas (P100)

El peso de 100 bayas se realizó directamente, mediante pesada en balanza electrónica, de 100 bayas seleccionadas aleatoriamente de entre las obtenidas en viñedo. La expresión de resultados está expresada en gramos (g) por cada 100 bayas.

6.2.1.1 TRATAMIENTO I

Inicialmente se trituraron las uvas (en un número de 200, aproximadamente) con una picadora (Moulinex®), durante varios segundos. Posteriormente se escurrió, sin presionar, el resultado con un tamiz metálico de malla muy fina (< 0,2 mm), durante 10 minutos, reservando el líquido para el resto de los análisis. Se tomaron 45 g de dicha pasta, que ha sido llevada a un vaso de precipitado, operación que ha sido realizada por duplicado para cada una de las muestras. Con la muestra de la pasta escurrida, en uno de los vasos se ha procedido a añadir 45 ml de solución HCl 37 %/agua desmineralizada en relación 1/9 (v/v) con pH = 1,0, y en el otro vaso se ha seguido el mismo procedimiento pero con una solución de pH = 3,2 (ésta se realiza con 4 g/l de ácido tartárico en 1.000 ml de agua desmineralizada, y se corrige posteriormente el pH con NaOH hasta pH = 3,2). Ambos vasos se dejaron macerar durante 4 horas y finalmente se filtró su contenido por lana de vidrio (de forma alternativa se puede realizar una doble centrifugación a 5.000 rpm durante 5 minutos), quedando las muestras preparadas para su análisis.

6.2.1.2 TRATAMIENTO II

Para el resto de procedimientos analíticos en mostos diferentes de los antocianos, se utilizará el mosto proveniente de colar la pasta resultante de molturar la uva en la picadora.

6.2.2 Análisis del grado alcohólico probable

Una muestra procedente del tratamiento II, se sometió a análisis directo en refractómetro digital. La expresión de los resultados de este parámetro, que recibió la denominación de sólidos solubles totales (SST), se realizó en grados Baumè.

6.2.3 Análisis del pH

Una muestra procedente del tratamiento II, se sometió a la medida del pH (pH) con un pH-metro marca CRISON® modelo 2001, con corrector automático de temperatura.

6.2.4 Análisis de la acidez total

El valor de la acidez total (AT) en g/l, ha sido calculado mediante una valoración ácido-base del mosto centrifugado procedente del tratamiento II, empleando como valorador la sal NaOH 0,1 N. El viraje se observará mediante la medida del pH = 7,0 con un pH-metro marca CRISON® modelo 2001. La expresión de los resultados se detalla en gramos de ácido tartárico por litro de mosto.

6.2.5 Análisis del ácido málico

El análisis del ácido málico (AM), con mosto procedente del tratamiento II, bien previamente centrifugado por duplicado (a 5.000 rpm durante 5 minutos), o bien filtrado con lana de vidrio, se realizó mediante el empleo del kit enzimático apropiado para este análisis, midiendo la formación de nicotinamida adenina dinucleótido (NADH) a partir de la medida del aumento de la absorbancia a la longitud de onda de 340 nm, que es proporcional a la concentración de ácido málico presente. La expresión de los resultados se detalla en gramos de ácido málico por litro de mosto.

6.2.6 Análisis de la extractabilidad de los antocianos

La extractabilidad de los antocianos (EA) en mg/l, se realizó mediante el método propuesto por Glories y desarrollado posteriormente por SAINT-CRICQ DE GAULEJAC *ET AL.* (1998). La metodología ha sido explicada de forma previa en el apartado 3.2.1.1 Tratamiento I.

6.3 MUESTREO DE SUELOS (PARÁMETROS EDÁFICOS)

Con el objeto de determinar los vínculos existentes entre el factor edáfico y las características cualitativas de los mostos procedentes de los viñedos cultivados sobre los suelos objeto de estudio, durante el tiempo que corresponde al período de años 2000–02, se determinaron de forma adicional a los parámetros enológicos un conjunto de parámetros edáficos con la finalidad de definir la naturaleza de los citados suelos de viñedo desde un punto de vista de su fertilidad. El muestreo de los suelos se desarrolló durante el estado fenológico de floración (50% de las flores del racimo se encontraban abiertas), para cada uno de los años del período 2000-02.

Las muestras de suelo correspondientes obtenidas en los sucesivos muestreos de los viñedos, fueron acondicionadas antes de realizar los distintos análisis, de tal forma que dichas muestras procedieron a ubicarse en gavetas de plástico para su desecación al aire. Una vez secas, se han pasado por un tamiz de 2 mm de luz, de tal forma que las partículas del suelo conocidas como elementos gruesos no han podido pasar a través

del mismo, obteniendo la fracción de suelo que recibe la denominación de “tierra fina seca al aire”. Sobre esta fracción así obtenida después del tamizado, se realizaron diversas determinaciones analíticas, las cuales son detalladas a continuación:

6.3.1 Determinación de la clase textural

La textura de una muestra de suelo, expresa las proporciones de los tamaños de las partículas minerales que contiene. Se procedió a la separación de los agregados del suelo en partículas minerales individuales, para lo cual se efectuó una agitación de las muestras en una solución de hexametáfosfato sódico y carbonato sódico. Se determinaron los porcentajes de arena, limo y arcilla a través de la determinación por vía húmeda mediante el método del densímetro de Bouyoucos (basado en la ley de Stoke), y representación gráfica de acuerdo con el diagrama triangular USDA (United States Department of Agriculture).

6.3.2 pH en agua

La medida del pH en una suspensión suelo/agua (pH), se basa en la transformación de la señal eléctrica obtenida con un electrodo de vidrio (indicador) y uno de referencia. Dicha señal es proporcional a la actividad de los iones H_3O^+ , de acuerdo con la ley de Nernst. El pH se determinó potenciométricamente en una suspensión suelo/agua, de relación 1/2,5 (p/v) (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1993), con un pH-metro marca CRISON® modelo 2001, con corrector automático de temperatura.

6.3.3 Conductividad eléctrica

La conductividad es la capacidad de una disolución de conducir la corriente eléctrica, constituyendo así pues, una medida de la concentración iónica total que tiene una disolución. El conductímetro mide la conductividad eléctrica de los iones en una disolución. Para ello aplica un campo eléctrico entre dos electrodos y mide la resistencia eléctrica de la disolución. La conductividad eléctrica (CE) en decisiemen por metro⁻¹ ($ds\ m^{-1}$) se midió con un conductímetro marca CRISON, modelo 522, en una suspensión suelo/agua de relación 1/2,5 (p/v) (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1993).

6.3.4 Materia orgánica del suelo

Se determinó el carbono orgánico según el método de oxidación húmeda (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1993), mediante el método propuesto originalmente por WALKLEY y BLACK (1934), a excepción del indicador planteado en la técnica original (ortofenantrolina en lugar de difenilamina). En el citado método, se determina el

carbono orgánico del suelo que se oxida con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico. El exceso oxidante se valora con sulfato ferroso amónico (sal de Mohr) y la cantidad de carbono orgánico oxidado se calcula a partir de la cantidad de dicromato reducido. Para la estimación de la materia orgánica del suelo (MOS), se multiplicó el contenido de carbono orgánico por 1,724.

6.3.5 Bases de cambio (Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+2})

Los cationes intercambiables del suelo son extraídos mediante acetato amónico 1N a pH 7 (MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN, 1993), cuantificándose en dicho extracto su concentración. El calcio y el magnesio se determinaron por absorción atómica; en el caso del catión potasio, la determinación se llevó a cabo por emisión de llama. Las determinaciones se realizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica UNICAM SOLAAR Series 969, con lámparas de cátodo hueco a las longitudes de onda correspondientes para cada elemento. La concentración de las citadas bases de cambio, se expresan en cmol c(+) kg^{-1} .

6.3.6 Fósforo soluble en bicarbonato sódico (Método Olsen)

Su determinación supone la cuantificación del fósforo asimilable o fácilmente soluble en mg kg^{-1} ; se aplicó el método de Olsen (OLSEN *ET AL.*, 1954), efectuándose una extracción con bicarbonato sódico a pH 8,5; y posterior cuantificación del fósforo (P) mediante lectura en espectrofotometría visible a una longitud de onda de 882 nm, empleando un espectrofotómetro Spectronic 1201 Milton-Roy.

6.3.7 Micronutrientes (Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} y Zn^{2+})

Los microelementos objeto del estudio presente en los suelos de viñedo, han sido extraídos de acuerdo a lo descrito por LINDSAY Y NORWELL (1978), mediante la solución extractora conformada por ácido dietilen triamino pentaacético (DTPA) y cloruro cálcico, tamponada a pH 7,3 con trietanolamina. La determinación de estos elementos se efectuó mediante procedimientos de absorción atómica. Tales determinaciones se realizaron en un espectrofotómetro de absorción atómica UNICAM SOLAAR Series 969, con lámparas de cátodo hueco a las longitudes de onda correspondientes para cada elemento. Se expresan en mg kg^{-1} .

6.4 PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Teniendo en cuenta que la temperatura afecta de un modo intenso a un amplio conjunto de mecanismos involucrados en los procesos de maduración de las bayas de vid, se han evaluado los siguientes parámetros: la integral térmica desde el envero hasta la vendimia (ITEV) y la integral de los rangos térmicos diarios (IRTEV) desde envero hasta la vendimia, la integral térmica diaria desde floración a envero (ITFE) (todos ellos en °C) y el índice heliotérmico propuesto por Huglin (IH) (RIBÉREAU-GAYON *ET AL.*, 2006). El estado fenológico de envero ha sido establecido cuando en cada racimo de las plantas de vid se encontraban coloreadas aproximadamente el 50% de las bayas.

Las integrales térmicas (ITEV e ITFE) fueron calculadas mediante la suma de los valores térmicos para los períodos citados de la siguiente forma:

$$IT = \sum_{EFA}^{EFB} (T_i - T_b)$$

donde T_i es la temperatura media diaria en °C, para el período que transcurre desde el estado fenológico A (EFA) hasta el estado fenológico B (EFB), y $T_b = 10^\circ\text{C}$ es la temperatura base.

La integral de los rangos térmicos diarios (IRTEV) ha sido calculada mediante la suma de las amplitudes térmicas diarias para el período citado a través de la siguiente expresión:

$$IRTEV = \sum_E^V (T_{mx} - T_{mn})$$

donde T_{mx} y T_{mn} son la temperatura máxima y mínima diaria en °C, respectivamente para el período que discurre desde el estado fenológico de envero (E) hasta el momento correspondiente a la vendimia (V).

El Índice heliotérmico de Huglin (IH) tiene en cuenta la máxima temperatura diaria (T_{max}) a lo largo de un período de seis meses (desde el 1 de Abril hasta el 30 de Septiembre), mediante la siguiente expresión:

$$IH = K \times \sum_{Abr\ 1}^{Sept\ 30} \frac{(T_{media} - 10) + (T_{max} - 10)}{2}$$

donde T_{media} es la temperatura media diaria, T_{max} es la temperatura máxima diaria, y K es un coeficiente de longitud del día que es dependiente de la latitud geográfica (la latitud geográfica de los viñedos estudiados en este trabajo es 41° N). Este índice IH puede ser interpretado como un indicador de la idoneidad de las condiciones climáticas para la producción de vinos de calidad. En la D.O. Ribera del Duero, el índice IH muestra valores superiores a 1.400, el cual es el valor propuesto como mínimo para el cultivo adecuado de la vid (RIBÉREAU-GAYON *ET AL.*, 2006).

Viñedo	EM_VD	EM_Vdc	EM_SEG	EM_AD	EM_LH	EM_PF	EM_VG
QO (739 m)	6963	64205	95311	50450	41207	18833	61190
OD (725 m)	8276	65708	96868	51904	42440	20468	62536
VD (751 m)	2555	59259	90385	45512	36481	14066	56323
PFI (751 m)	15819	42997	73704	29834	23980	3035	41581
PFI (780 m)	14762	43886	74666	30628	24373	2212	42280
PQI (765m)	4322	53227	84498	39389	30300	9275	50112
PQII (771 m)	6256	51281	82580	37428	28396	7968	48155
PdD (855 m)	25932	33605	65338	19392	8356	18535	28559
OR (858 m)	32526	33518	64551	20433	6768	27323	25548
LHI (831 m)	35079	26066	57538	12494	1324	26904	19625
LHII (844 m)	35346	27704	58908	14604	1905	28037	20312
GMI (826 m)	36556	24142	55628	10626	3238	27913	17910
GMII (808 m)	40185	19351	50921	5948	8057	30512	14118
ADI (869 m)	44880	12730	44405	2022	15782	33715	12716
ADII (828 m)	49815	8076	39798	6211	19399	38720	9272
QP (800 m)	43756	20641	50910	10651	9537	35344	11721
F (831 m)	52309	6776	36512	10978	24788	40319	14965
M (836 m)	48972	11900	40203	11414	24443	36569	19035
CR (892 m)	62859	7527	25981	20770	34381	50754	18907
SEG (880 m)	89379	32137	1384	46360	59075	77356	39531

Tabla 2. Distancias euclídeas entre viñedos y estaciones meteorológicas EM (m).

De igual modo que en el caso del factor temperatura, el suministro de agua a la vid en forma de precipitación puede afectar de forma sobresaliente a la calidad de la uva (esto es especialmente cierto en aquellos casos en los que el viñedo no presenta, o no se le permite, un apoyo en forma de sistema de irrigación). En base a lo anterior se ha evaluado la precipitación media diaria para tres períodos de tiempo diferentes: desde

el estado fenológico de floración hasta el estado fenológico de envero (PFE), desde el estado fenológico de envero hasta el momento de vendimia (PEV) y de vendimia en vendimia (PVV) (período anual) (todos ellos en mm). Tanto los datos térmicos como los correspondientes a la precipitación se han obtenido de siete estaciones climatológicas localizadas a lo largo y ancho de la Denominación de Origen objeto de estudio (Figura 12). Estación meteorológica de Valbuena de Duero (**EM_VD**), estación meteorológica de Vadocondes (**EM_Vdc**), estación meteorológica de San Esteban de Gormaz (**EM_SEG**), estación meteorológica de Aranda de Duero (**EM_AD**), estación meteorológica de La Horra (**EM_LH**), estación meteorológica de Peñafiel (**EM_PF**) y estación meteorológica de Villanueva de Gumiel (**EM_VG**).

Allí donde los viñedos no coinciden en la dimensión espacial con las estaciones meteorológicas los datos han sido interpolados desde aquellas estaciones meteorológicas más cercanas (la cercanía ha sido determinada por la distancia Euclídea) (Tabla 2).

6.5 EL PROCEDIMIENTO DE LA REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

El análisis de regresión lineal es una técnica estadística utilizada para estudiar la relación entre variables y se utiliza para predecir el comportamiento de una determinada variable –variable dependiente o criterio- en función de otras variables – independientes o explicativas (también regresores o predictores).

Sean x_1, x_2, \dots, x_k k variables de predicción, las cuales pueden presentar alguna influencia sobre una variable y , supóngase que el modelo tiene la forma donde y_i es la i -ésima observación de la respuesta para un conjunto de valores fijos $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}$ de las variables de predicción, ϵ_i es el error aleatorio no observable asociado con y_i , y $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ son $m = k + 1$ parámetros lineales desconocidos. La ecuación

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_k x_{ik} + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n$$

recibe el nombre de modelo lineal general y da origen a la técnica denominada como regresión lineal múltiple (CANAVOS, 1988). La esencia del análisis de regresión lineal, es la de adecuar un modelo a nuestros datos y emplear el mismo con el objeto de predecir valores de la variable independiente a partir de una o más variables independientes. El análisis de regresión lineal es pues una vía de predicción para una variable a partir de una variable predictiva (regresión lineal simple) o varias variables predictivas (regresión lineal múltiple).

En la regresión lineal, el modelo que buscamos como más adecuado para nuestros datos es lineal; lo anterior, simplemente significa, que abstraemos nuestro conjunto de datos a una línea recta. A través de esta técnica de regresión, deseamos establecer el

mejor modelo para nuestros datos, empleando para ello una técnica matemática denominada “método de los mínimos cuadrados”, por medio de la cual establecemos la línea recta que con mayor precisión define el conjunto de datos reunidos a través de nuestro período de prospección de los mismos.

Toda línea recta puede ser definida por medio de dos parámetros: (1) la pendiente (o gradiente) de la línea (usualmente b_1) y (2) el punto en el cual la línea cruza el eje vertical del gráfico (conocido como punto de intercepción, b_0). De hecho, nuestro modelo general se erige en una ecuación en la cual y_i se constituye como la variable que deseamos predecir, x_i como la variable predictiva i -ésima, b_1 es la pendiente de la línea recta (la cual nos informa de la naturaleza de la relación que describimos a través del modelo) y b_0 como el punto de intercepción de esta línea con el eje vertical (los parámetros b_1 y b_0 reciben la denominación de coeficientes de regresión, apareciendo en muchas ocasiones referidos como b_i o simplemente b). En el modelo general existe también un término residual que se denota por ε_i , que representa la diferencia existente entre el valor predicho por la línea para el caso i y el valor real que el caso i presenta. Así pues, el modelo general presenta la siguiente forma:

$$y_i = (b_0 + b_1x_i) + \varepsilon_i$$

La regresión lineal múltiple es, en cierta forma, una extensión de la regresión lineal simple:

$$y = \beta_0 + \beta_1 + \varepsilon$$

de tal forma que nos permite emplear más de una variable independiente con el objeto de poder predecir el comportamiento de la variable respuesta:

$$y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_mx_m + \varepsilon$$

No obstante, la interpretación de los resultados obtenidos en el procedimiento de regresión lineal múltiple puede resultar más dificultosa que en el caso de la regresión simple, de forma principal, a causa la posible relación existente entre las variables independientes.

- y , es la variable dependiente
- x_j , $j = 1, 2, \dots, m$ representa m diferentes variables independientes
- β_0 es el valor de y cuando todas las variables independientes tienen por valor cero
- β_j , $j = 1, 2, \dots, m$ representa los m coeficientes de regresión correspondientes

- ε , es el error del modelo, habitualmente asumido normalmente distribuido, con media cero y varianza σ^2

Aunque la formulación del modelo aparenta ser una simple generalización del modelo de una única variable independiente, la inclusión de varias variables independientes crea un nuevo concepto en la interpretación de los coeficientes de regresión. Así pues, en la regresión múltiple, los coeficientes ligados a cada una de las variables independientes deben medir el cambio medio en la variable dependiente asociados con los cambios en esa variable independiente, mientras el resto de las variables independientes permanecen fijas. Esta es pues, la interpretación estándar para los coeficientes de regresión en un modelo de regresión múltiple (PEÑA, 1987).

6.6 EL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

Las técnicas de análisis exploratorio factorial (de las cuales forma parte la técnica de Análisis de Componentes Principales, ACP), se constituye como una técnica de identificación de grupos de variables con tres usos principales: (i) como vía de comprensión de la estructura de un conjunto de variables; (ii) para la identificación y valoración de variables subyacentes y, (iii) para reducir un conjunto de datos a un tamaño más manejable mientras se retiene la mayor cantidad posible de información (OLEGO, 2012).

En la medición de un grupo de variables, las correlaciones entre cada pareja de las mismas pueden ser dispuestas en lo que se conoce como matriz-R. En el análisis factorial el esfuerzo se traduce en la reducción de la matriz-R a dimensiones subyacentes (factores o componentes), mediante la observación de aquellas variables que den la apariencia de agruparse de forma significativa. Esta reducción de datos es alcanzada a través de la observación de aquellas variables que correlacionan de forma elevada en un grupo de variables, pero a su vez de forma muy débil con las variables que no forman parte de ese grupo. Los factores (o componentes), son pues entidades estadísticas que pueden ser visualizadas como ejes de clasificación a lo largo de los cuales se valoran variables que pueden ser representadas gráficamente. En un lenguaje sencillo, la anterior aseveración significa que se pueden imaginar los factores (o componentes), como ejes de un gráfico, de tal modo que podemos representar las variables de interés a lo largo de esos ejes. Las coordenadas de las variables a lo largo de cada eje, representan la intensidad de la relación entre las variables y cada factor (o componente). La coordenada de cada variable de estudio a lo largo de un eje de clasificación, recibe la denominación de “puntuación en la componente”. La puntuación en la componente puede ser conceptualizado como el coeficiente de correlación de Pearson entre la componente y la variable. Los componentes, pueden a su vez ser descritos en función de las variables de estudio y de la relativa importancia de cada una de ellas para cada componente (OLEGO, 2012), de tal forma que el

conjunto original de variables se transforma en un conjunto de componentes incorreladas mediante combinación lineal de las anteriores con el objeto de explicar la mayor variabilidad posible.

$$y_i = b_1x_{1i} + b_2x_{2i} + \dots + b_nx_{ni} + \varepsilon_i$$

$$\text{Componente}_i = b_1\text{Variable}_{1i} + b_2\text{Variable}_{2i} + \dots + b_n\text{Variable}_{ni} + \varepsilon_i$$

Finalmente, ante la existencia de una estructura de componentes, es de vital importancia definir las variables que configuran esos mismos componentes. Con este fin, las puntuaciones de las variables en los componentes se constituyen como un indicador de la importancia sustancial de una variable dada en un componente cualquiera (OLEGO, 2012). Así pues, resulta un hecho lógico emplear estas puntuaciones con el fin de ubicar las variables en uno u otro componente. STEVENS (2002), recomienda intentar interpretar únicamente aquellas puntuaciones de los componentes con un valor absoluto mayor de 0,4.

6.7 EL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE CORRELACIÓN CANÓNICA

El análisis de correlación canónica (ACC) es un tipo de análisis estadístico lineal de múltiples variables, descrito inicialmente por Hotelling, cuya naturaleza es descriptiva, no explicativa (CATENA ET AL., 2003). El ACC es uno de los métodos más empleados del conjunto de técnicas estadísticas multivariantes, constituyendo una generalización del procedimiento de regresión múltiple que tiene por objeto encontrar la máxima correlación entre las combinaciones lineales (variables canónicas) de dos grupos de parámetros descriptores (LEGENDRE Y LEGENDRE, 1979). De igual forma que en el método de regresión, el objetivo de la correlación canónica es cuantificar la validez de la relación, en este caso entre dos conjuntos de variables (dependiente e independiente), identificando la estructura óptima o la dimensionalidad de cada conjunto de variables, que maximiza la relación entre ambos conjuntos de variables dependientes e independientes. De esta forma, en el ACC se computan coeficientes con los que se pretende evaluar el grado de relación lineal entre dos conjuntos de variables.

Cada grupo de variables se encuentra representado por su variado canónico (suma ponderada de variables), de tal forma que la correlación canónica constituirá la correlación lineal entre dos variados canónicos. Habitualmente un conjunto de variables se considera predictor y el otro se considera predicho o criterio. Lo anterior determina que el ACC puede asimilarse a un análisis de regresión múltiple multivariante (CATENA ET AL., 2003).

En el presente trabajo, se ha empleado el ACC con el objeto de determinar si existe una relación significativa entre las propiedades edáficas de los viñedos objeto de seguimiento y las características enológicas de los mostos obtenidos en los mismos.

Tanto el ACC como cada una de las técnicas estadísticas referidas de forma anterior a esta, se ha desarrollado a través del software R 3.2.2 (2015).

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO

RESULTADOS



7 RESULTADOS

7.1 ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS Y RELACIONES BIVARIADAS

Este apartado de la sección de resultados, cumplimentará a su vez tanto el primero como el segundo de los objetivos planteados: (i) **describir mediante parámetros edáficos, climatológicos y enológicos representativos los diferentes viñedos seleccionados en el presente estudio de investigación** y (ii) **evaluar la relación existente entre los parámetros climatológicos y enológicos que puedan caracterizar un terroir.**

Con esa finalidad, las medias y desviaciones estándar en cada una de los parámetros edáficos, enológicos y climáticos estudiados son mostradas en las Tablas 3, 4, 5, 6 y 7.

Viñedo	Período de estudio	Coordenadas geográficas	Arena	Limo	Arcilla	Clase Textural (USDA)
QO (739 m)	00-02	41°37'N / 4°21'W	50	18	32	Franco arcillo arenosa
OD (725 m)	00-02	41°35'N / 4°5'W	34	20	46	Arcillosa
PFII (780 m)	00-02	41°38'N / 4°11'W	66	12	22	Franco arcillo arenosa
PQII (771 m)	00-02	41°37'N / 4°17'W	54	22	24	Franco arcillo arenosa
PdD (855 m)	00-02	41°39'N / 3°43'W	46	24	30	Franco arcillo arenosa
OR (858 m)	00-02	41°39'N / 3°40'W	64	18	18	Franco arenosa
LHI (831 m)	00-02	41°36'N / 3°38'W	42	32	26	Franca
LHII (844 m)	00-02	41°43'N / 3°50'W	74	16	10	Franco arenosa
GMI (826 m)	00-02	41°42'N / 3°47'W	60	26	14	Franco arcillo arenosa
ADI (869 m)	00-02	41°45'N / 3°52'W	68	24	8	Franco arenosa
ADII (828 m)	00-02	41°34'N / 3°41'W	48	30	22	Franca
QP (800 m)	00-02	41°47'N / 3°55'W	70	16	14	Franco arenosa
F (831 m)	00-02	41°42'N / 3°58'W	60	20	20	Franco arenosa
M (836 m)	00-02	41°45'N / 3°45'W	42	36	22	Franca
CR (892 m)	00-02	41°35'N / 3°30'W	58	20	22	Franco arenosa
SEG (880 m)	00-02	41°35'N / 3°11'W	60	20	20	Franco arenosa

Tabla 3. Parámetros de fertilidad en los viñedos objeto de estudio. Contenidos de arena, limos y arcilla (%), periodo de estudio (años).

Desde un punto de vista edáfico, los viñedos con unas fracciones texturales más extremas resultaron ser los correspondientes a LH(II) con un 74% en la fracción arena, M con un 36% en la fracción limo y OD con un 46% en la fracción arcilla. Desde un punto de vista de la reacción del suelo (pH) los casos más extremos se presentaron en SEG con una media de pH de 8,22 y en AD(I) con una media de 7,07, de tal forma que

en todos los viñedos objeto de estudio el pH del suelo ha mostrado una naturaleza básica.

Viñedo	pH	CE	MOS	P	Ca	Mg
QO (739 m)	7,64±0,45	0,25±0,21	1,18±0,01	24,3±1,70	20,7±4,71	2,47±0,57
OD (725 m)	7,80±0,15	0,35±0,04	2,16±0,08	23,8±0,85	20,7±11,1	2,41±0,69
PFII (780 m)	8,16±0,14	0,14±0,06	0,67±0,03	20,7±7,40	16,9±8,53	0,99±0,27
PQII (771 m)	7,78±0,08	0,46±0,13	0,97±0,16	12,7±5,80	14,6±2,04	0,97±0,31
PdD (855 m)	7,99±0,24	0,15±0,04	0,59±0,07	5,53±1,36	13,9±12,5	0,84±0,37
OR (858 m)	7,96±0,43	0,09±0,04	0,68±0,21	30,9±35,6	4,93±3,85	0,72±0,15
LHI (831 m)	8,06±0,11	0,20±0,04	0,85±0,07	9,63±11,0	19,6±11,1	1,36±0,44
LHII (844 m)	7,84±0,06	0,11±0,04	0,64±0,30	21,4±0,62	6,16±0,62	0,69±0,15
GMI (826 m)	8,21±0,25	0,12±0,04	0,61±0,06	7,73±1,25	16,3±8,77	0,72±0,46
ADI (869 m)	7,07±0,38	0,18±0,06	0,69±0,28	39,6±10,1	2,86±0,91	0,27±0,04
ADII (828 m)	8,15±0,06	0,16±0,08	0,73±0,05	24,5±9,75	18,6±10,1	0,56±0,23
QP (800 m)	7,97±0,27	0,18±0,10	0,77±0,20	17,0±11,1	18,4±7,53	1,08±0,47
F (831 m)	7,58±0,16	0,37±0,18	0,83±0,09	33,4±19,9	19,4±10,4	0,91±0,27
M (836 m)	7,90±0,07	0,17±0,04	1,37±0,33	31,5±4,53	15,1±1,48	0,96±0,25
CR (892 m)	8,00±0,21	0,21±0,08	0,81±0,09	8,60±2,51	18,7±9,75	0,49±0,22
SEG (880 m)	8,22±0,16	0,13±0,02	0,70±0,11	7,83±2,42	17,3±9,36	0,31±0,09

Tabla 4. Parámetros de fertilidad en los viñedos objeto de estudio: CE (ds m^{-1}), MOS (%), P (mg kg^{-1}), Ca y Mg (cmol c kg^{-1}).

Los valores de conductividad eléctrica (CE) obtenidos en todos los viñedos han sido muy poco reseñables desde un punto de vista agronómico, pudiendo considerarse como bajos. A nivel de materia orgánica del suelo (MOS), la gran mayoría de los viñedos han mostrado valores por debajo del 1%, siendo las excepciones reseñables OD (2,16%), M (1,37%) y QO (1,18%). Desde un punto de vista de concentraciones en los nutrientes en el medio edáfico, se han observado viñedos con niveles deficientes (nutricionalmente hablando) en P (PdD, LH(I), GM(I), CR y SEG), Mg (AD(I y II), CR y SEG) y K (AD(II) y SEG) en término de macronutrientes. Por otra parte, desde un punto de vista de los micronutrientes, la práctica totalidad de los viñedos presentaron niveles deficientes en uno o varios de los micronutrientes objeto de estudio (Fe, Mn, Cu y Zn); desde este punto de vista, lo más reseñable es indicar los viñedos en los cuales los niveles de algunos de los micronutrientes resultaron ser muy adecuados, de acuerdo a la naturaleza de los suelos objeto de estudio: Fe (LH(II)), Mn (QO, OD, LH(II), AD(I) y M), Cu (QO, OR, QP y M) y Zn (AD(I), QP y M).

Viñedo	K	Fe	Mn	Cu	Zn
QO (739 m)	1,31±0,04	5,09±1,05	8,17±2,35	1,41±0,33	0,66±0,01
OD (725 m)	1,33±0,09	3,50±1,73	7,81±7,55	0,43±0,01	0,42±0,16
PFII (780 m)	0,45±0,06	2,43±1,01	3,14±2,39	0,76±0,92	0,59±0,28
PQII (771 m)	0,70±0,08	5,77±4,13	6,20±4,04	0,71±0,63	0,11±0,11
PdD (855 m)	0,32±0,16	4,17±3,10	3,81±2,96	0,36±0,18	0,12±0,13
OR (858 m)	0,32±0,01	7,14±0,78	5,12±1,60	1,46±0,38	0,45±0,05
LHI (831 m)	0,56±0,23	4,41±2,31	5,34±3,88	0,91±0,54	0,46±0,23
LHII (844 m)	0,33±0,21	22,91±7,73	7,14±3,80	0,31±0,18	0,58±0,65
GMI (826 m)	0,35±0,09	4,86±2,77	4,81±2,99	0,35±0,22	0,15±0,12
ADI (869 m)	0,50±0,08	19,80±18,0	7,90±0,04	0,24±0,01	0,89±0,68
ADII (828 m)	0,22±0,01	3,21±1,18	5,09±2,04	0,97±0,26	0,61±0,16
QP (800 m)	0,54±0,43	4,25±2,88	6,11±5,68	2,02±0,72	0,81±0,74
F (831 m)	0,81±0,28	6,51±3,80	6,95±3,27	0,76±0,23	0,39±0,27
M (836 m)	1,18±0,13	6,56±0,49	8,31±0,25	2,79±0,45	0,81±0,32
CR (892 m)	0,58±0,30	6,51±2,72	6,95±4,04	0,54±0,16	0,24±0,06
SEG (880 m)	0,29±0,09	5,44±2,87	4,00±2,70	0,99±0,50	0,30±0,06

Tabla 5. Parámetros de fertilidad en los viñedos objeto de estudio. K (en cmol c kg-1), Fe, Mn, Cu y Zn (mg kg-1).

Desde un punto de vista de los parámetros enológicos, la gran mayoría de los viñedos objeto de estudio mostraron valores de acidez real (pH) en sus mostos por encima de 3,50, de tal forma que destacan los promedios de pH en mosto obtenidos en PF(I) (3,76) y PF(II) (3,80). Como cabría esperar, es en los anteriores viñedos donde se obtuvieron los menores promedios de AT (4,37 y 4,45 g ácido tartárico/l respectivamente), hallándose valores de AT > 6 en OR, LH(II), OD, CR y GM(I) (6,65, 6,24, 6,18, 6,11 y 6,03 g ácido tartárico/l respectivamente). En cuanto a los valores de azúcares fermentescibles (SST) hallados en el presente estudio de investigación, los promedios fluctuaron en el intervalo 12,1 – 14,2 °Baumé, mientras que para el caso del AM y PB los respectivos intervalos promedio fueron 2,61 – 3,93 g/l y 1,59 – 2,09 g respectivamente.

Finalmente, en cuanto a los parámetros climáticos, se ha observado que los mayores promedios de precipitaciones han correspondido a: SEG para el período floración – envero (PFE = 41,6 mm), PD(II) para el período envero – vendimia (PEV = 48,3 mm) y F y M para el período entre añadas (PVV = 435 mm). Por otra parte, desde el aspecto de los valores térmicos, los mayores valores de las integrales térmicas han correspondido a: AD(II) en el caso de la integral para el período envero – vendimia (ITEV = 437 °C), PF(I y II) para la integral térmica de los rangos diarios durante el período envero – vendimia (IRTEV = 856 °C), AD(I y II) para la integral térmica durante el período floración – envero (ITFE = 694 °C) y PF(I y II) en el caso de los parámetros IH (2160).

Viñedo	Período de estudio	pH	AT	SST	AM	PB	ITEV
QO (739 m)	02-14	3.66±0.04	5.47±0.27	13.4±0.22	3.52±0.23	1.67±0.05	367±15.8
OD (725 m)	06-14	3.68±0.04	6.18±0.34	13.5±0.21	3.93±0.31	1.71±0.07	360±15.4
VD (751 m)	06-14	3.67±0.04	5.94±0.39	12.8±0.18	3.93±0.27	1.77±0.06	360±14.8
PFI (779 m)	06-14	3.76±0.03	4.37±0.14	13.4±0.24	2.61±0.22	1.59±0.06	431±13.1
PFI (780 m)	06-14	3.80±0.03	4.45±0.21	13.4±0.26	3.00±0.26	1.66±0.07	423±14.1
PQI (765 m)	02-14	3.65±0.03	5.21±0.23	14.2±0.25	2.95±0.26	1.74±0.06	389±16.3
PQII (771 m)	02-14	3.69±0.03	5.03±0.22	13.7±0.25	2.86±0.24	1.88±0.08	389±16.4
PdD (855 m)	06-14	3.63±0.03	5.64±0.28	13.0±0.32	3.31±0.32	1.63±0.05	396±14.5
OR (858 m)	06-14	3.38±0.05	6.65±0.52	12.1±0.30	3.48±0.36	1.93±0.05	396±14.5
LHI (831 m)	06-14	3.64±0.04	4.96±0.33	13.7±0.22	3.24±0.30	1.74±0.07	383±14.1
LHII (844 m)	06-14	3.57±0.05	6.24±0.43	12.9±0.32	3.54±0.38	1.76±0.09	396±14.5
GMI (826 m)	06-14	3.60±0.04	6.03±0.47	13.2±0.27	3.63±0.46	1.97±0.07	396±14.5
GMII (808 m)	06-14	3.63±0.06	5.61±0.39	13.1±0.43	3.16±0.38	1.75±0.06	425±13.9
ADI (869 m)	06-14	3.71±0.03	4.57±0.20	13.1±0.18	2.89±0.26	2.09±0.07	412±14.8
ADII (828 m)	06-14	3.63±0.04	5.38±0.29	13.1±0.32	3.06±0.35	1.83±0.07	437±10.5
QP (800 m)	06-14	3.40±0.04	5.57±0.32	12.6±0.25	2.72±0.31	1.88±0.05	396±14.5
F (831 m)	06-14	3.51±0.04	5.65±0.26	12.7±0.27	3.09±0.22	1.83±0.04	339±13.8
M (836 m)	02-14	3.51±0.03	5.90±0.27	12.5±0.27	3.55±0.28	1.85±0.05	372±21.1
CR (892 m)	02-14	3.51±0.04	6.11±0.31	13.0±0.28	3.51±0.28	1.91±0.05	339±13.8
SEG (880 m)	02-14	3.48±0.04	5.52±0.27	12.6±0.22	3.27±0.31	1.80±0.06	316±14.0

Tabla 6. Parámetros enológicos y climáticos en los viñedos objeto de estudio. SST (Baumè) AT, AM (g/l), PB (g) y ITEV (°C).

El concepto de relación se refiere al grado de variación conjunta existente entre dos o más parámetros. En esta ocasión nos centraremos en el estudio de un tipo particular de relación denominada lineal, limitándonos a considerar únicamente dos parámetros (relación lineal simple). De esta forma, una relación lineal positiva entre dos parámetros X e Y indica que los valores de ambos parámetros varían en la misma dirección, mientras que una relación lineal negativa significa que los valores de ambos parámetros varían en la dirección opuesta. En la Figura 13, se puede observar la naturaleza y el valor, cuantificado a través del coeficiente de correlación lineal de Pearson, de las relaciones bivariadas existentes entre los parámetros climatológicos y enológicos estudiados con el objeto de modelizar tanto el AM, como la EA.

Los mayores valores en los coeficientes de correlación mostrados en la matriz de correlaciones (Figura 13), sugieren correlaciones fuertes entre los parámetros pH y AT

($R = -0,72$), AT y AM ($R = 0,74$) y pH y SST ($R = 0,69$). De igual modo, resulta reseñable destacar la existencia de correlaciones moderadas entre los parámetros IH y AT ($R = -0,64$), IH e ITFE ($R = 0,62$), AT y SST ($R = -0,60$), PVV y PEV ($R = 0,60$), IH y SST ($R = 0,58$), IH e IRTEV ($R = -0,58$), pH e ITEV ($R = 0,53$), AM e ITEV ($R = -0,51$), AT e ITEV ($R = -0,47$), AT y PVV ($R = 0,48$), AM y PVV ($R = 0,47$), pH e IH ($R = 0,47$), AT e ITFE ($R = -0,44$) y AT e IH ($R = -0,39$). En base a los valores mostrados por los coeficientes de correlación lineal hallados en las relaciones bivariadas entre parámetros enológicos y climáticos, se ha representado de forma gráfica en un Anexo aquellas evoluciones temporales a lo largo del período de estudio de los pares de parámetros cuyo coeficiente de correlación ha sido $\geq 0,4$: IH-SST, pH-ITEV, AM-ITEV, AT-ITEV, AT-PVV, AM-PVV, pH-IH, AT-ITFE y AT-IH.

Viñedo	IRTEV	ITFE	PFE	PEV	PVV	IH	EA
QO (739 m)	743±39.8	676±16.2	34.7±4.60	41.2±6.63	409±28.4	2090±41.5	55.1±2.10
OD (725 m)	731±40.0	676±16.2	34.7±4.60	40.8±6.68	409±28.3	2090±41.5	57.9±1.71
VD (751 m)	724±40.0	676±16.2	34.7±4.60	41.2±6.63	409±28.3	2090±41.5	58.9±1.65
PFI (779 m)	856±29.7	689±14.8	26.9±6.14	23.2±6.59	328±27.5	2160±56.4	55.1±1.29
PFII (780 m)	856±29.7	689±14.8	26.9±6.14	23.2±6.59	328±27.5	2160±56.4	55.2±2.60
PQI (765 m)	794±41.8	659±16.4	36.6±6.38	46.3±9.10	425±29.9	2070±51.4	55.2±2.23
PQII (771 m)	796±42.2	659±16.4	36.6±6.38	48.3±8.04	425±27.2	2070±51.4	56.2±2.26
PdD (855 m)	836±26.8	644±17.1	33.0±4.29	32.7±7.46	385±34.7	2010±60.2	57.7±2.33
OR (858 m)	836±26.8	644±17.1	33.0±4.29	32.7±7.46	385±34.7	2010±60.2	57.4±1.89
LHI (831 m)	836±26.8	644±17.1	33.0±4.29	32.7±7.47	385±34.7	2010±60.2	57.0±1.64
LHII (844 m)	812±36.9	644±17.1	33.0±4.29	32.7±7.46	385±34.7	2010±60.2	59.5±2.25
GMI (826 m)	836±26.8	644±17.1	33.0±4.29	32.7±7.46	385±34.7	2010±60.2	57.1±1.87
GMII (808 m)	799±31.4	683±19.0	26.1±6.17	34.1±7.03	339±43.4	2080±54.7	55.7±2.26
ADI (869 m)	775±37.8	694±16.0	26.6±6.08	23.9±7.58	315±32.5	2120±51.0	53.5±2.32
ADII (828 m)	785±29.1	694±16.0	26.6±6.08	30.6±6.57	322±30.7	2120±51.0	55.4±2.28
QP (800 m)	836±26.8	644±17.1	33.0±4.29	32.7±7.46	385±34.7	2010±60.2	58.8±2.04
F (831 m)	777±49.1	635±15.9	39.6±7.44	40.8±6.58	435±32.5	2020±42.8	59.2±1.47
M (836 m)	723±37.1	676±15.3	28.7±5.08	32.5±5.90	367±34.8	2080±40.6	57.9±1.73
CR (892 m)	777±49.1	635±15.9	39.6±7.44	40.8±6.58	435±32.5	2020±42.8	58.4±1.72
SEG (880 m)	791±56.4	623±15.7	41.6±8.93	40.8±7.91	420±38.0	1970±44.1	55.1±1.74

Tabla 7. Parámetros climáticos en los viñedos objeto de estudio. Unidades IRTEV ITFE (°C), PFE PEV PVV (mm) y EA (mg/l)

En ambos parámetros enológicos a modelizar (AM y EA), las correlaciones se han mostrado significativas al nivel de probabilidad $p = 0,05$ con todos sus potenciales predictores excepto para aquellas relaciones bivariadas con PB, IRTEV, ITFE, PFE y PEV.

De igual modo, en la Figura 14 se puede observar, de un modo gráfico, la evolución de los valores medios, en el momento de vendimia, de los parámetros enológicos monitoreados durante el período de estudio para el total de viñedos estudiados en el presente trabajo.

Finalmente, en las Figuras 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 se puede igualmente observar, de un modo gráfico, la comparativa entre viñedos en los valores medios de cada uno de los parámetros climáticos y enológicos estudiados en los procesos de modelización llevados a cabo en el presente estudio.

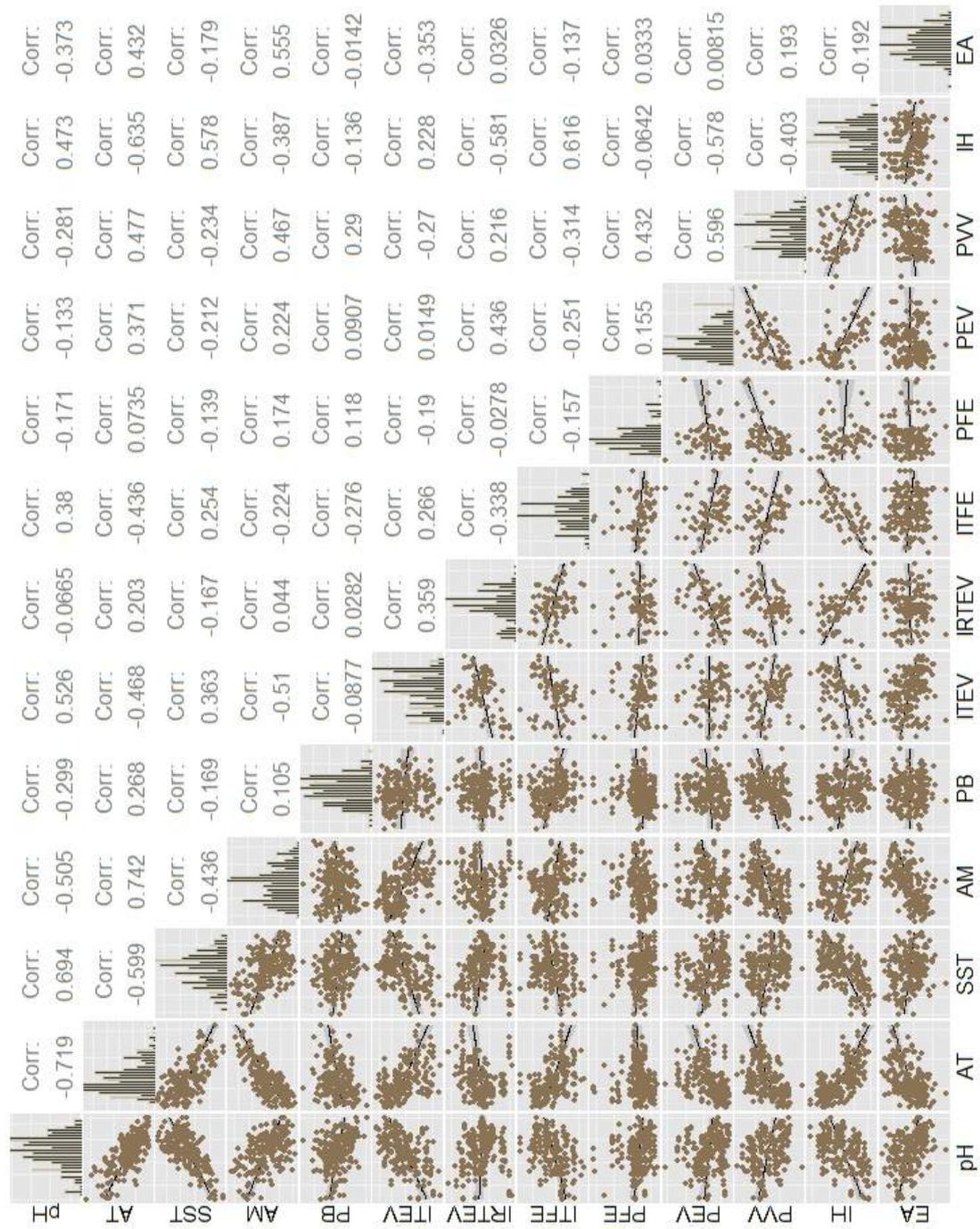


Figura 13. Histogramas de distribución y correlaciones bivariadas existentes entre los parámetros enológicos y climáticos.

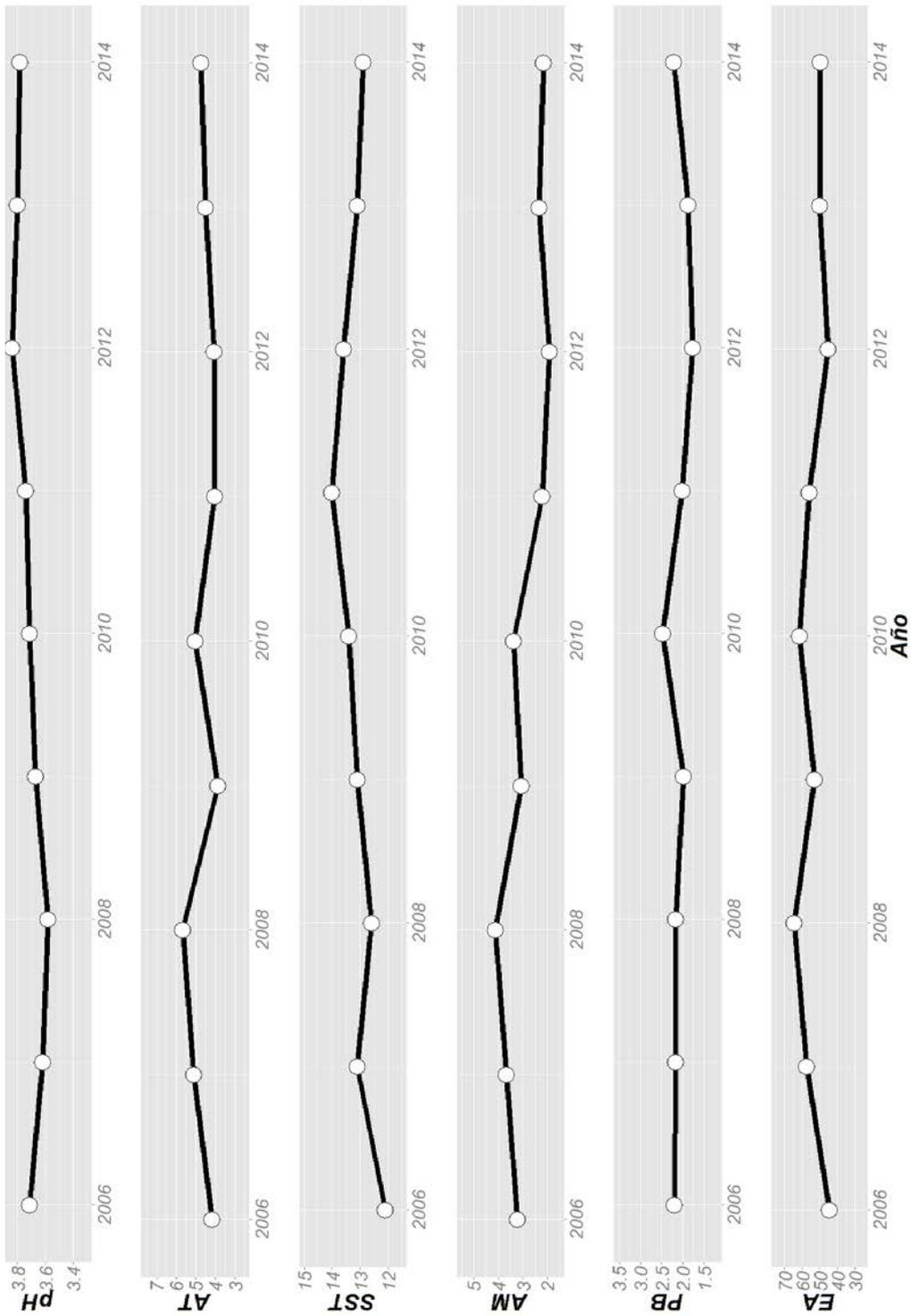


Figura 14. Evolución del promedio global de los parámetros enológicos en el conjunto de viñedos objeto de estudio. EA (mg/l), PB (g), AM y AT (g/l) y SST (Baumé).

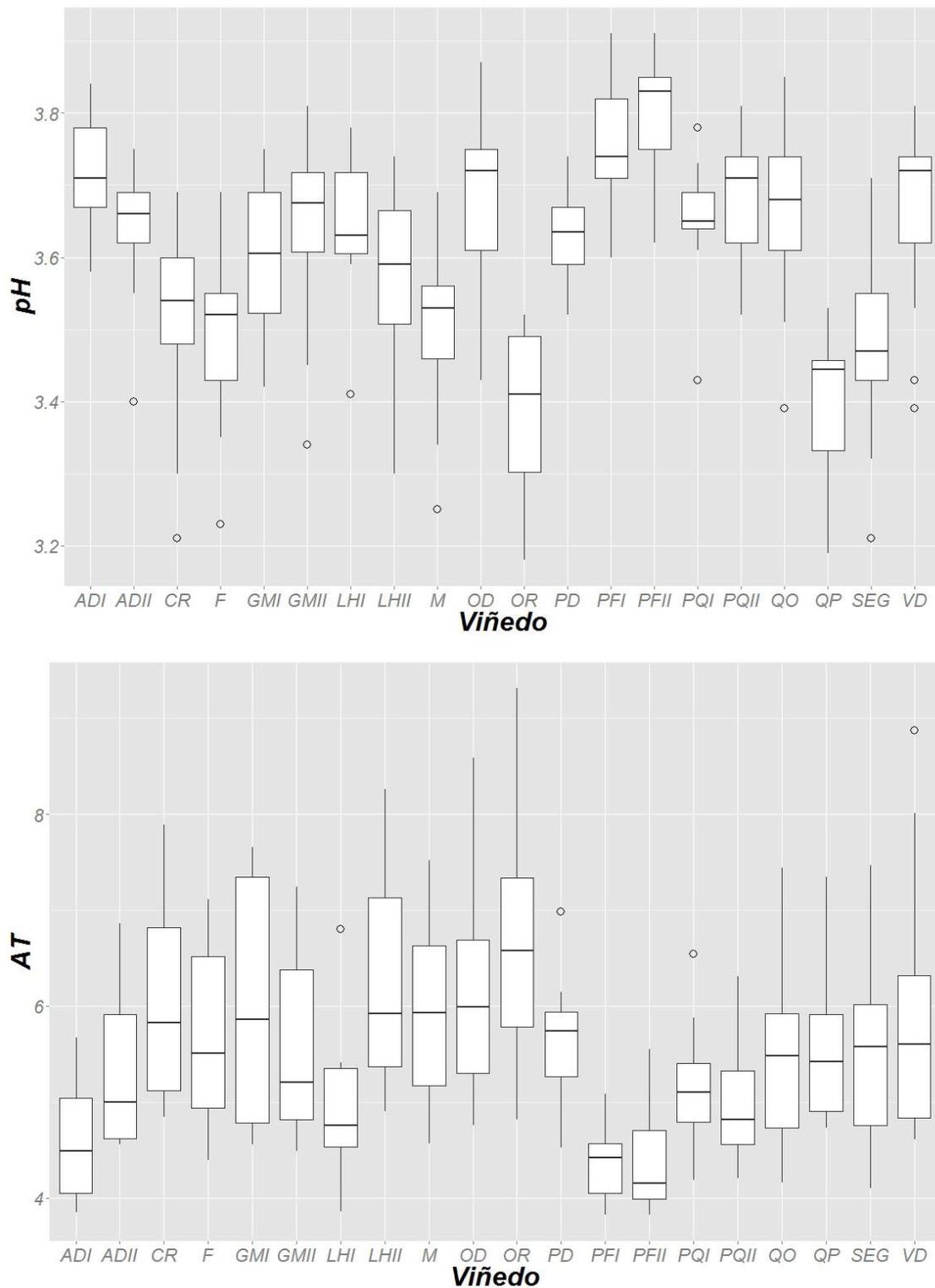


Figura 15. Variación en los niveles de los parámetros enológicos pH y AT en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. AT (g/l).

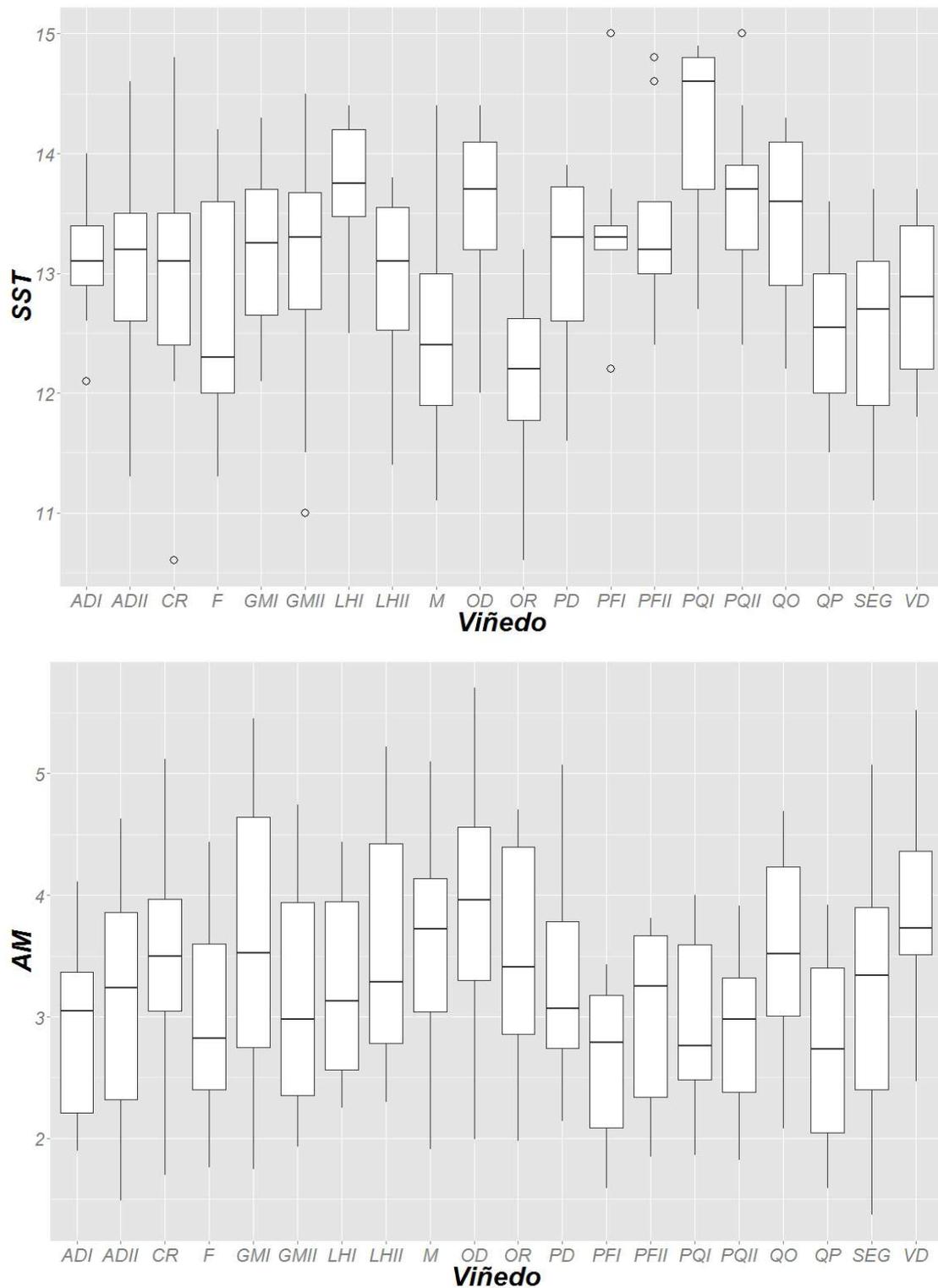


Figura 16. Variación en los niveles de los parámetros enológicos SST y AM en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. SST (Baumè) y AM (g/l).

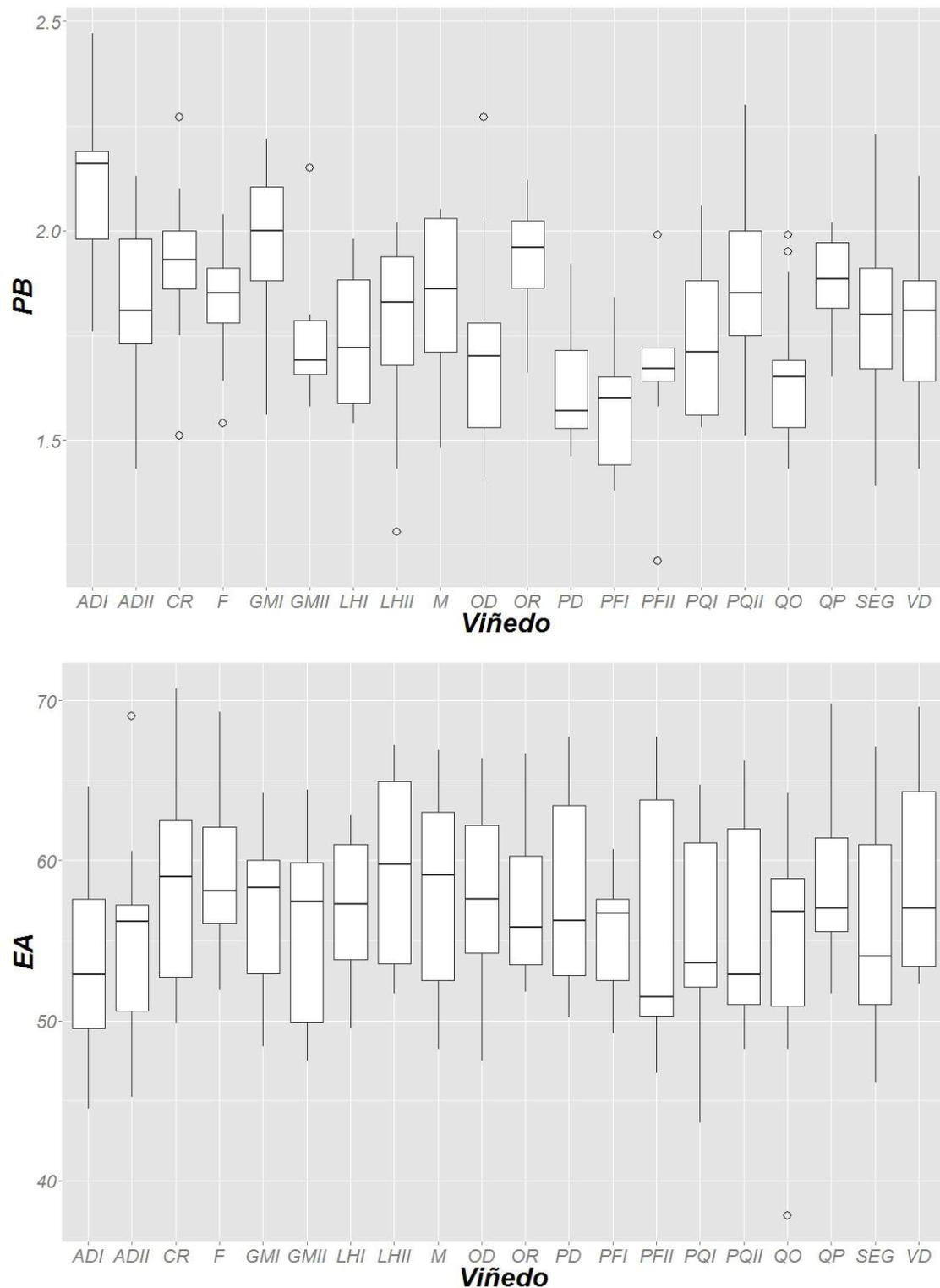


Figura 17. Variación en los niveles de los parámetros enológicos PB y EA en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. PB (g) y EA (mg/l).

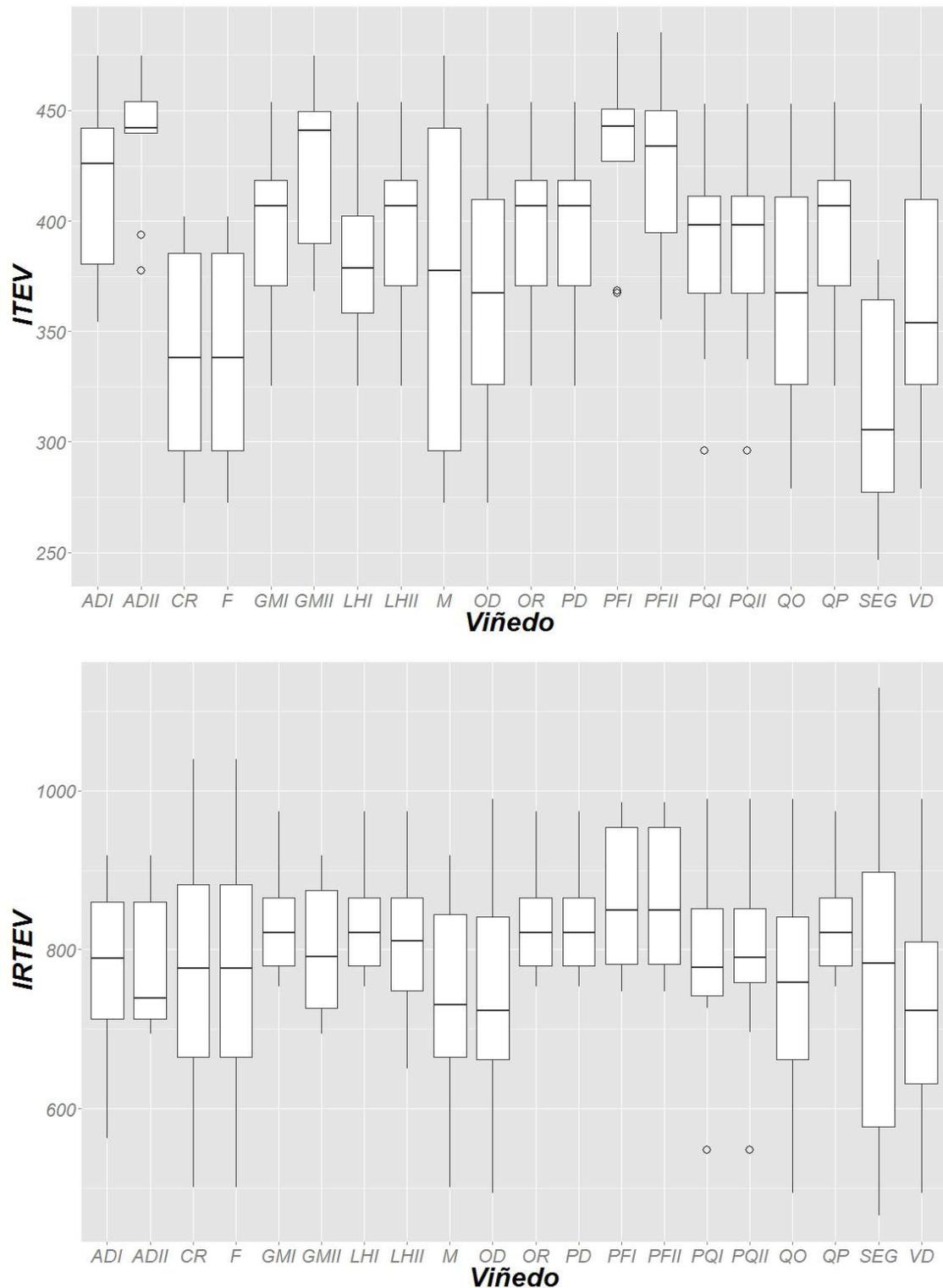


Figura 18. Variación en los niveles de los parámetros climáticos ITEV y IRTEV en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. ITEV y IRTEV (°C).

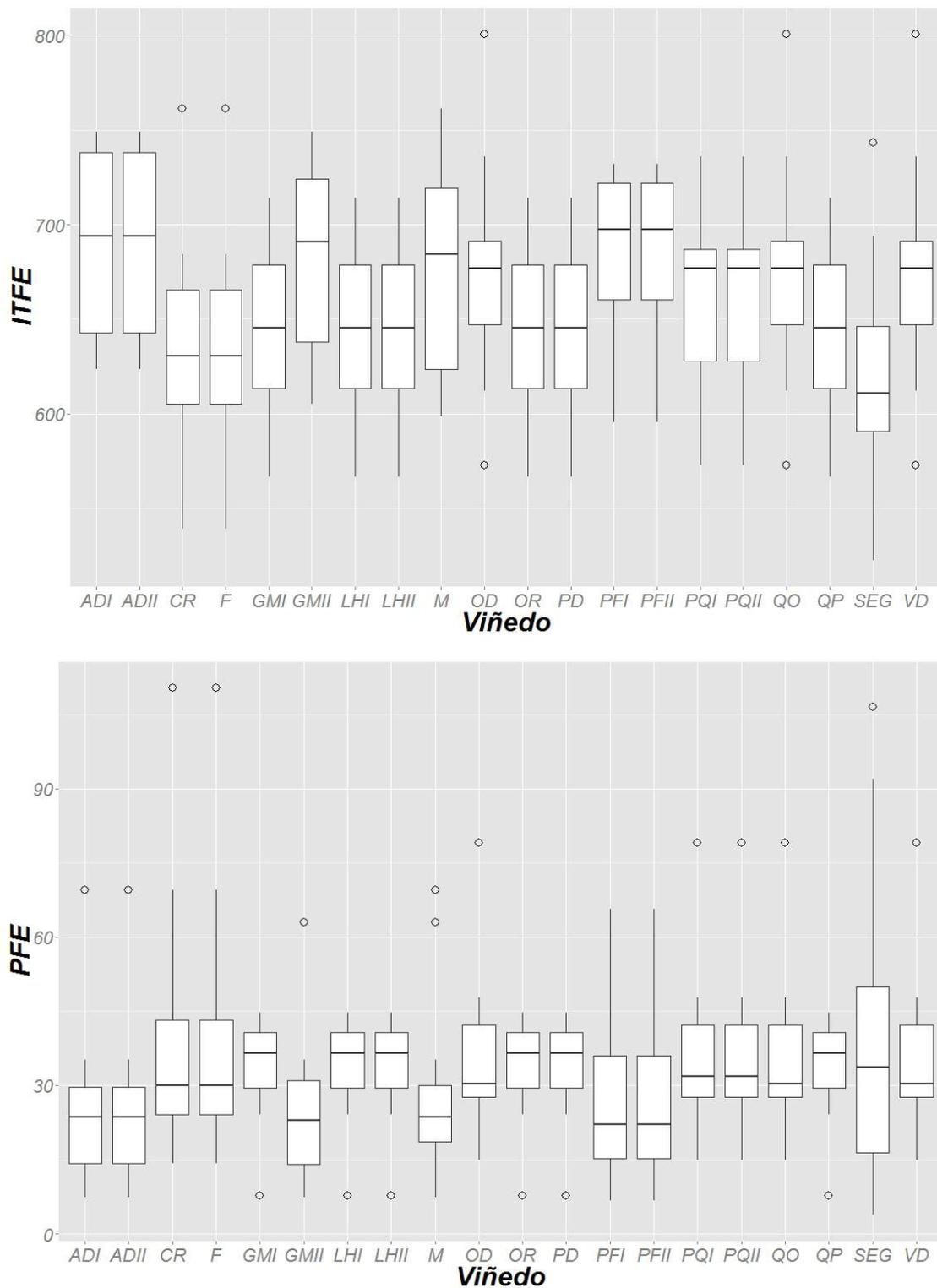


Figura 19. Variación en los niveles de los parámetros climáticos ITFE y PFE en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. ITFE (°C) y PFE (mm).

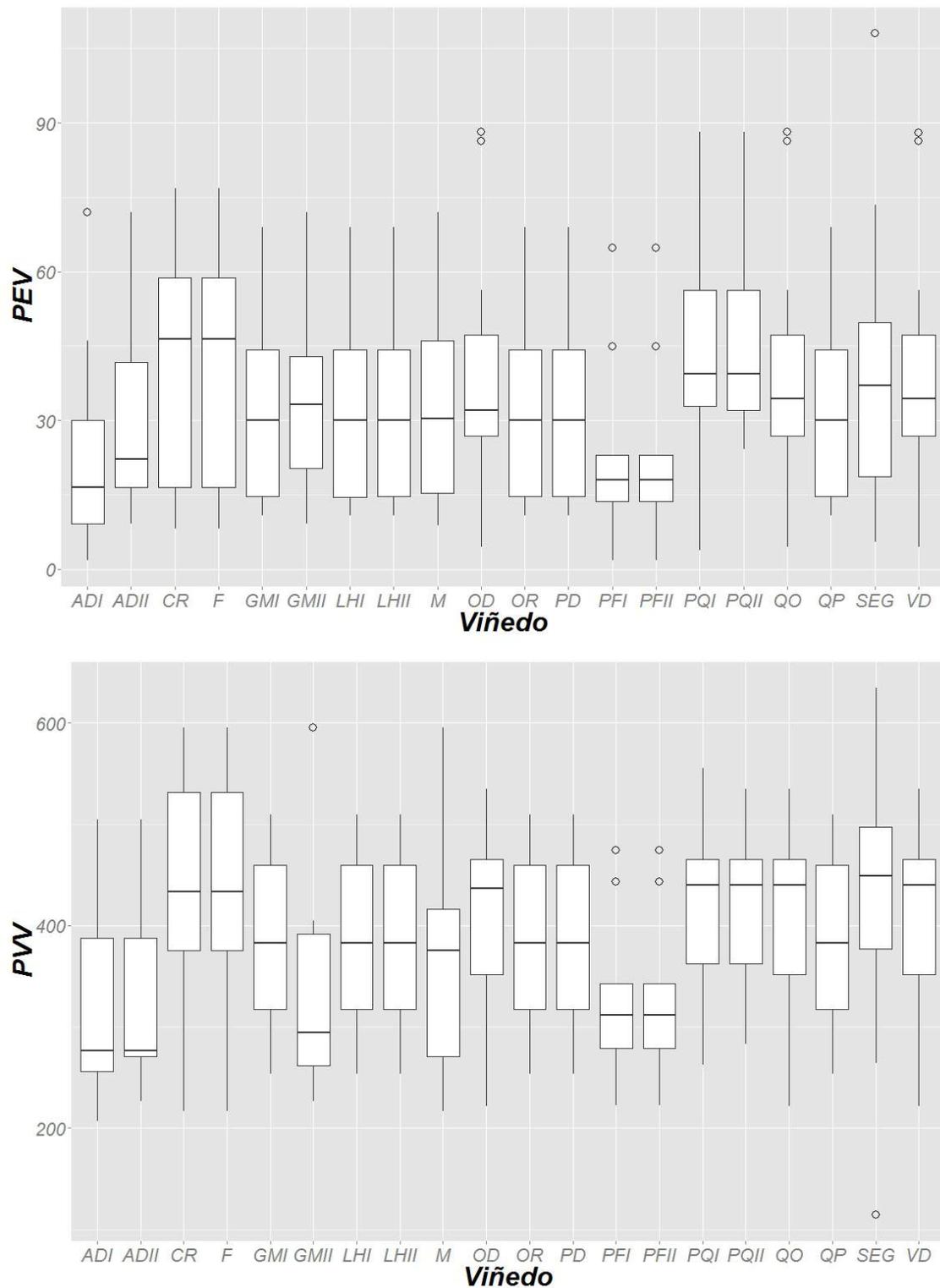


Figura 20. Variación en los niveles de los parámetros climáticos PEV y PVV en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento. PEV y PVV (mm).

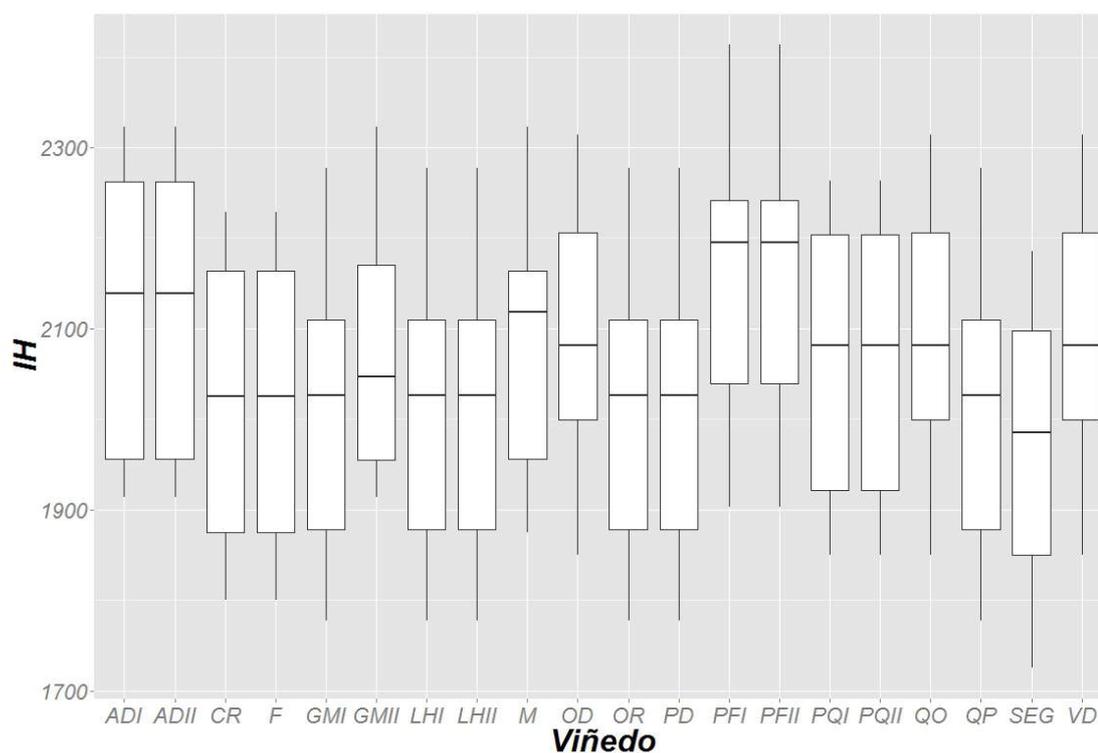


Figura 21. Variación en los niveles del parámetro climático IH en el período de estudio para cada uno de los viñedos objeto de seguimiento.

7.2 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

7.2.1 Parámetros edáficos

Cuando los parámetros evaluados presentan distintas unidades de medida, como es nuestro caso, conviene aplicar el análisis de la matriz de correlaciones o análisis normado, de tal forma que a partir de la matriz de correlaciones entre tales parámetros, obtendremos los componentes principales.

Se ha optado por establecer el criterio de KAISER (1960), el cual recomienda retener todos aquellos componentes cuyos auto-valores sean superiores a 1 (un auto-valor igual a la unidad para un componente, es indicativo de que este componente solo puede explicar la misma varianza que una variable de forma individual (HINTON, 2004)).

Una vez que los componentes han sido extraídos, es posible calcular que grado de carga (puntuaciones) presentan las variables en dichos componentes, es decir, se realiza un cálculo de los coeficientes de correlación entre las variables y el componente al cual se encuentran asociadas. A estas correlaciones, se las denomina puntuaciones de las variables en los componentes. Estas puntuaciones de las variables, de forma

previa a la rotación de los ejes de los componentes, nos ofrecen una idea acerca de la relación existente entre las variables y los componentes, la cual se puede clarificar a través del proceso de rotación de los componentes (no se modifican las relaciones, sino que simplemente se ofrece un poco más de luz a las mismas). No obstante, con el objeto de ayudar a la interpretación de la relación existente entre las variables y los componentes, los ejes de los componentes han sido rotados de forma ortogonal a través del procedimiento "Varimax", el cual nos asegura el hecho de mantener la independencia entre los componentes (es decir, que se encuentren incorrelados).

En el desarrollo del ACP (y de igual forma en el caso del análisis de correlación canónica), se seleccionó un conjunto de parámetros edáficos y enológicos del total de todos los analizados, que a su vez se mostraran representativos de las condiciones de fertilidad y de madurez de los viñedos objeto de estudio para el período anual 200-02. De esta forma, en el caso de los parámetros edáficos se seleccionaron como parámetros representativos de las condiciones de fertilidad en los suelos de viñedo de la D.O. Ribera del Duero los siguientes: reacción del suelo (pH), materia orgánica del suelo (MOS), nutriente potasio (K) y nutriente hierro (Fe); en el caso de los parámetros enológicos se seleccionaron como parámetros representativos de las condiciones de madurez los siguientes: pH del mosto (pH), acidez total (AT) y sólidos solubles totales (SST).

De forma previa a la realización de los ACP, se procedió a realizar contrastes de normalidad para el conjunto de parámetros edáficos y enológicos implicados en tales análisis multivariantes (y en el posterior ACC). El contraste de normalidad de los citados parámetros, se desarrolló a través del test de normalidad Anderson-Darling. Para aquellos parámetros en los que se obtuvo un contraste significativo ($p < 0,05$) en la realización del citado test, se procedió a realizar las transformaciones matemáticas necesarias para lograr un nivel de significación en el contraste que sugiriese la distribución normal de los valores en el parámetro transformado. En base a lo anterior, únicamente se requirieron transformaciones en los parámetros edáficos MOS, K y Fe, siendo las que a continuación se citan: (i) $1/x$ en el caso de la MOS y (ii) $\ln(x)$ en el caso de los nutrientes Fe y K.

Para el caso de los parámetros edáficos, y con los criterios de trabajo planteados de forma previa para el ACP, se han extraído dos componentes (Tabla 8).

Puesto que la rotación es de naturaleza ortogonal, los componentes se encuentran incorrelados, cumpliéndose la restricción de ortogonalidad entre los mismos, de tal forma que se puede obtener una varianza explicada total a partir de las sumas de las varianzas de los componentes. De esta forma, a partir de la extracción de los dos componentes, el porcentaje de varianza explicado por los mismos, una vez rotados, es

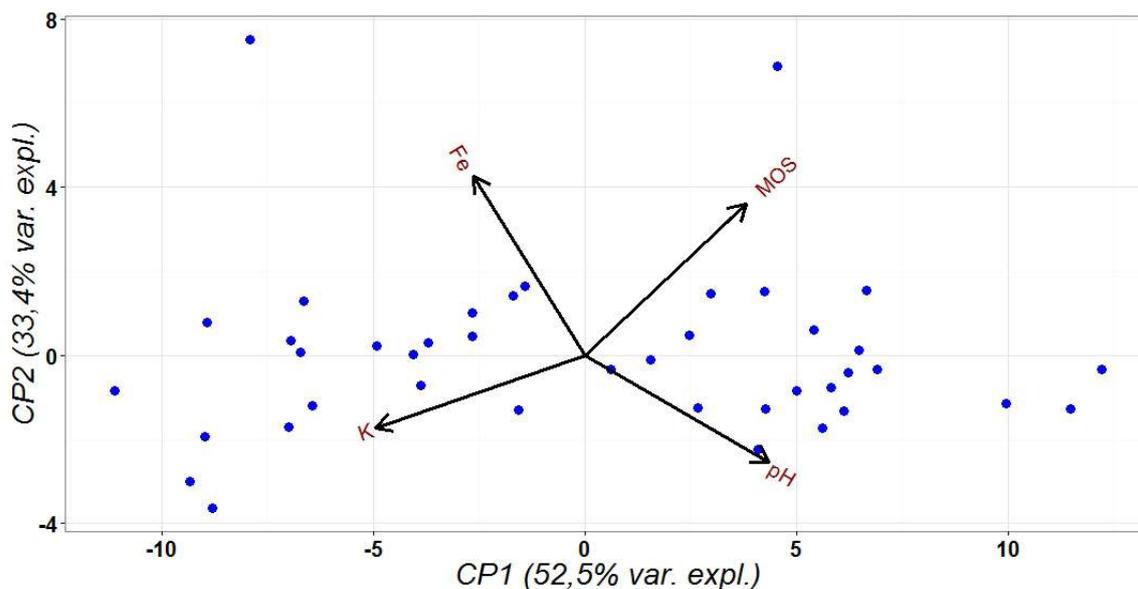


Figura 22. Diagrama de dispersión biespacial para los dos primeros componentes extraídos a partir del ACP realizado para los parámetros edáficos.

del 85,9% (el componente número 1 (CP1) ofrece el mayor porcentaje de varianza explicado, siendo del 52,5%).

Parámetro	CP1	CP2
pH	0,53	-0,39
MOS	0,47	0,57
K	-0,62	-0,27
Fe	-0,33	0,67
Varianza explicada	52,5%	33,4%
Varianza acumulada	52,5%	85,9%

Tabla 8. Puntuaciones de los parámetros edáficos pH, MOS, K y Fe en los dos componentes extraídos en el ACP y varianzas explicada y acumulada por ambos componentes.

A partir del diagrama de dispersión biespacial para los dos primeros componentes extraídos (Figura 22), se puede observar la distribución de los suelos de viñedo estudiados (representados por puntos azules) y de los parámetros edáficos de estudio (representados por flechas negras). Lo más relevante que puede ser observado a partir de la observación de esta figura, es la existencia de dos grupos de suelos de viñedo contrapuestos en cuanto a la fuente de su variabilidad, de tal forma que en un conjunto de los mismos tal variabilidad parece encontrarse condicionada por los

parámetros MOS y pH, mientras que el otro grupo parece encontrar condicionada su fuente de variabilidad por los parámetros Fe y K.

7.2.2 Parámetros enológicos

En la Tabla 8 pueden observarse las puntuaciones de los parámetros enológicos en los dos componentes extraídos en el ACP correspondiente.

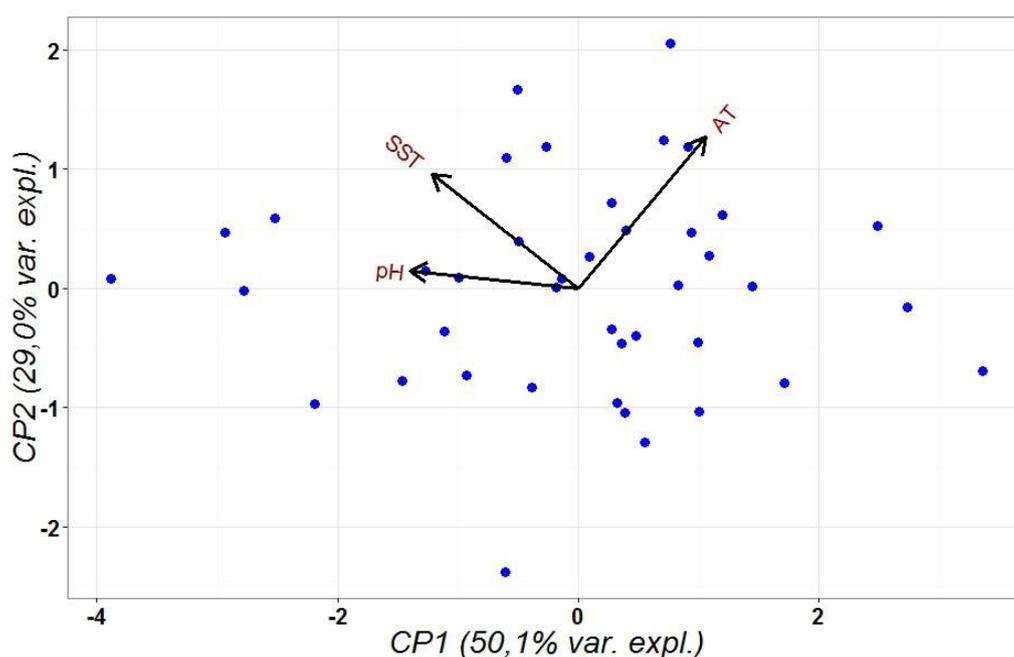


Figura 23. Diagrama de dispersión biespacial para los dos primeros componentes extraídos a partir del ACP realizado para los parámetros enológicos.

A partir de la extracción de los dos componentes, el porcentaje de varianza explicado por los mismos, una vez rotados, es del 79,1% (el componente número 1 (CP1) ofrece el mayor porcentaje de varianza explicado, siendo en este caso del 50,1%).

A partir del diagrama de dispersión biespacial para los dos primeros componentes extraídos (Figura 23), se puede observar la distribución de los viñedos estudiados (representados por puntos azules) y de los parámetros enológicos de estudio (representados por flechas negras).

Aunque de forma posterior se hará uso del ACC con el objeto de determinar la existencia de una relación significativa entre las propiedades edáficas de los viñedos y las características enológicas de los mostos obtenidos en los mismos, se ha realizado una primera aproximación a este objetivo con el estudio de las correlaciones existentes entre los componentes extraídos en los ACP efectuados tanto en los

parámetros edáficos, como en los parámetros enológicos. Los resultados de este análisis de correlación entre componentes pueden observarse en la Figura 24.

En la figura previamente reseñada puede observarse con claridad la ortogonalidad de los componentes extraídos en cada uno de los ACP. Por otra parte, la única correlación digna de ser mencionada, es la que se ha hallado entre el componente relativo a la “reacción del medio edáfico” y el componente relativo a la “acidez del mosto” ($R = -0,41$; $p < 0,05$). El hecho de que tal correlación se haya mostrado significativa a un nivel de probabilidad del 95%, aporta indicios de la relevancia que puede mostrar la realización de un ACC para el conjunto de parámetros edáficos y enológicos evaluados en los ACP.

Parámetro	CP1	CP2
pH	-0,65	0,09
AT	0,50	0,80
SST	-0,57	0,60
Varianza explicada	50,1%	29,0%
Varianza acumulada	50,1%	79,1%

Tabla 9. Puntuaciones de los parámetros enológicos pH, AT y SST en los dos componentes extraídos en el ACP y varianzas explicada y acumulada por ambos componentes.

7.3 ANÁLISIS DE CORRESPONDENCIAS CANÓNICAS

Puesto que el propósito de un ACC es la cuantificación de la relación existente entre dos grupos de variables, la interpretación de los resultados obtenidos en el mismo conlleva una discusión de la dimensionalidad de los propios resultados obtenidos. Estos objetivos globales pueden ser llevados a cabo a través de la información proporcionada por el número de variados canónicos significativos, la significatividad estadística y el tamaño del efecto.

Variado canónico	Correlación	F (gdl ₁ , gdl ₂)	p
1	0,59	2,30 (12, 90)	*
2	0,46	1,77 (6, 70)	0,12

Tabla 10. Naturaleza de los variados canónicos extraídos en el ACC.

Los resultados en la Tabla 9, indican un único variado canónico significativo ($p < 0,05$), reflejándose en la Tabla 10 los coeficientes estandarizados para los dos variados canónicos extraídos en el ACC. En la dimensión mostrada como estadísticamente significativa, para el factor edáfico los parámetros pH, K y Fe han sido los más influenciados. Por su parte, y para esta misma dimensión mostrada como

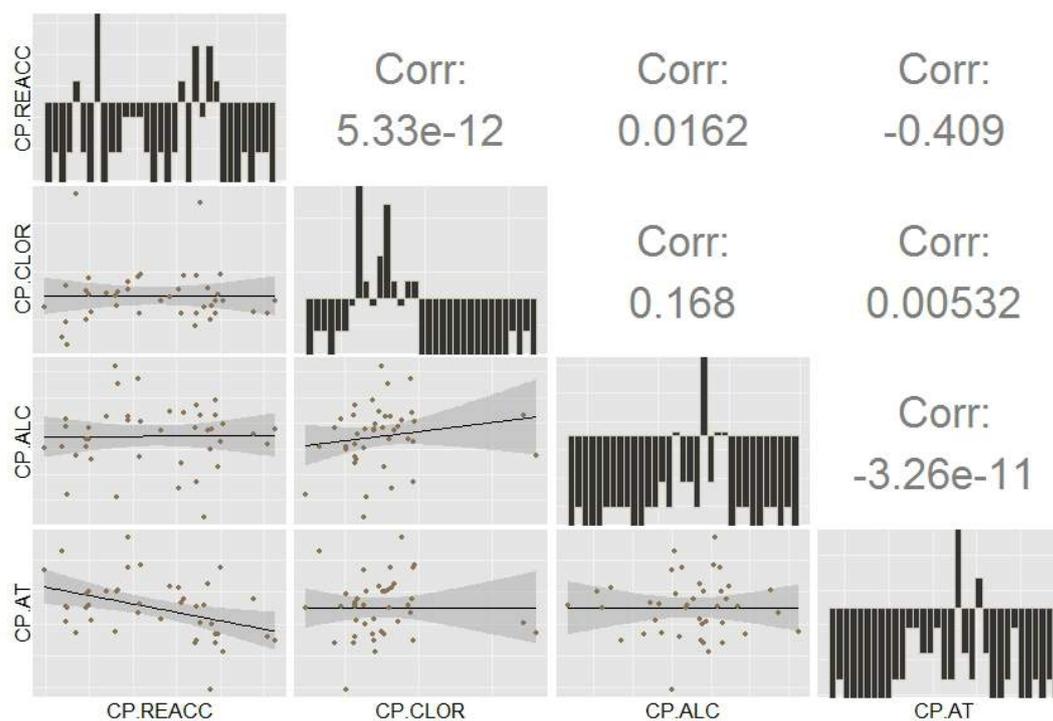


Figura 24. Correlaciones bivariadas entre los componentes extraídos en los ACPs.

estadísticamente significativa, para el factor enológico el parámetro SST es el que se ha mostrado, con diferencia sobre el resto, como el más influyente.

Dimensión	Coeficientes estandarizados	
	VC1	VC2
Edáfica		
pH	0,81	-0,85
MOS	-0,16	-1,34
K	0,82	-,128
Fe	0,83	0,17
Enológica		
pH	0,20	0,34
SST	0,85	-0,54
AT	0,56	0,86

Tabla 11. Coeficientes estandarizados de los variados canónicos extraídos en el ACC.

7.4 MODELIZACIÓN DEL ÁCIDO L-MÁLICO

7.4.1 Diagnóstico de la multicolinealidad

Puesto que los efectos de la multicolinealidad presentan efectos perjudiciales en el proceso de ajuste de modelos, esta propiedad ha sido cuantificada a través del factor de inflación de la varianza (FIV). A modo de regla genérica, todos aquellos valores de FIV en los parámetros predictivos superiores a 5, han sido considerados en el presente trabajo como un potencial problema. En base a lo anterior, únicamente el valor del parámetro IH mostró valores superiores a 5 ($FIV(IH) = 5.09$). De esta forma, el parámetro IH ha sido eliminado del proceso de modelización del AM, siendo de nuevo cuantificados los valores de FIV para cada uno de los parámetros predictores que permanecen en el proceso de modelización. Puesto que todos los valores de FIV fueron ya menores de 5, sugiriendo que no existen potenciales problemas de multicolinealidad, se procedió a iniciar el proceso de modelización.

7.4.2 Selección del modelo de regresión óptimo

El procedimiento de selección final de un modelo de regresión constituye una mezcla equilibrada de ajuste adecuado de la predicción y parsimonia. En este sentido, con el objeto de lograr alcanzar un adecuado estado de equilibrio entre predicción y parsimonia, se evaluaron procedimientos de subconjuntos de regresión, regresión paso a paso hacia adelante y regresión paso a paso hacia atrás.

En los procedimientos de subconjuntos de regresión, todas las posibles combinaciones de modelos fueron inspeccionadas. Los criterios aplicados en el procedimiento de informar del mejor modelo posible son los siguientes: coeficiente de correlación lineal R-cuadrado múltiple, coeficiente de correlación lineal R-cuadrado múltiple ajustado (el cual tiene en cuenta el número de parámetros predictivos), el Criterio Informativo de Bayes (BIC) y el estadístico de Mallows "Cp" (un estimador de la discrepancia gaussiana global esperada). El resultado del procedimiento de los subconjuntos de regresión ha ofrecido como resultado el modelo que incluye los predictores AT, PB, ITEV, ITFE, PEV y PVV combina la mayor parsimonia con los mayores valores de R-cuadrado, R-cuadrado ajustada y el menor valor del estadístico Cp de Mallows, mientras que en el caso del criterio informativo de Bayes, el menor valor en este estadístico se alcanza con los parámetros predictivos AT, ITEV, ITFE y PVV. En la aplicación del procedimiento de regresión por pasos hacia adelante, se consiguió optimizar el modelo de predicción con los parámetros predictivos AT, ITEV, ITFE y PVV (Criterio Informativo Akaike (AIC) = 379). Los mismos parámetros predictivos han sido obtenidos como aquellos que provocan una optimización del modelo mediante el procedimiento de regresión paso a paso hacia atrás (de acuerdo al criterio informativo AIC). El criterio AIC ha sido

empleado con el objeto de ordenar los modelos predictivos en base a un criterio combinado de ajuste de la predicción y simplicidad. De acuerdo con CHATTERJEE Y HADI (2006), aquellos modelos que difieran en el criterio AIC con valor inferior a 2 han de ser tratados como igualmente adecuados. Con este compromiso de seleccionar una ecuación para el modelo de regresión optimizada en simpleza e interpretación, se han seleccionado finalmente como parámetros predictivos de los niveles de AM los citados a continuación: AT, ITEV, ITFE y PVV.

Se procedió a analizar la existencia de algún tipo de interacción, entre los parámetros predictivos seleccionados, que optimizará la variabilidad explicada por el modelo en el parámetro a modelizar (AM). De forma interesante, se halló que la interacción AT*ITFE se mostró significativa ($p < 0,05$) en la mejora del modelo predictivo cuando era incorporada como parámetro predictivo. Con el objeto de evaluar este hecho, se desarrollaron ANOVAs anidados entre modelos. De esta forma, el modelo "A" tenía como predictores los parámetros AT, ITEV, ITFE y PVV; cuando el impacto de la interacción AT*ITFE fue añadida al modelo predictivo de AM denominado como "A" (modelo "B"), el test F entre los modelos "A" y "B" ($F_{A,B}$) se mostró significativo ($F_{A,B}=7,33$, $p < 0,001$). En base a lo anterior, el modelo seleccionado como más apropiado en la modelización de AM ha sido aquel que incluye como parámetros predictivos a AT, ITEV, ITFE, PVV y AT*ITFE (AIC = 360):

$$AM(g/l) = -14,5 + 3,05AT - 3,85 \cdot 10^{-3}ITEV + 1,60 \cdot 10^{-3}PVV + 2,41 \cdot 10^{-2}ITFE - 3,88 \cdot 10^{-3}(AT*ITFE) \quad (1)$$

que tiene un coeficiente de correlación lineal múltiple R-cuadrado de 0,66. El estadístico F fue de 74,4 y significativo para un nivel de probabilidad $p < 0,001$.

Con el objeto de ilustrar como los valores atípicos pueden influenciar el ajuste del modelo, se calcularon las distancias de Cook (D). Estableciendo el criterio de tener en cuenta aquellos valores tales que $D > 4/(n-k-1)$ (donde n es el tamaño muestral y k es el número de parámetros predictivos), se identificaron una serie de casos como valores atípicos potencialmente influenciados en el ajuste del modelo.

Una vez eliminados aquellos casos con notable impacto en el modelo, se obtuvo un nuevo y definitivo modelo que tuvo un notable impacto en la varianza explicada por el modelo de regresión. El citado modelo se refleja a continuación (AIC = 279):

$$AM(g/l) = -18,2 + 3,57AT - 4,32 \cdot 10^{-3}ITEV + 2,24 \cdot 10^{-3}PVV + 2,95 \cdot 10^{-2}ITFE - 4,67 \cdot 10^{-3}(AT*ITFE) \quad (2)$$

El modelo definitivo incrementó el coeficiente de correlación lineal múltiple R-cuadrado a 0,74. El estadístico F fue de 105 y significativo para un nivel de probabilidad $p < 0,001$.

7.4.3 Importancia relativa de los parámetros predictivos

En este apartado se pretende informar de la contribución relativa que cada uno de los parámetros predictivos presenta en el coeficiente de correlación múltiple R-cuadrado. De esta forma, sobre el total de varianza explicada por el modelo (R-cuadrado = 0,74), la contribución de los parámetros predictivos ha sido la siguiente: AT ha tenido la mayor importancia relativa (57,6% del coeficiente R-cuadrado), seguido de ITEV (16,9%), PVV (14,7%), AT*ITFE (7,0%) e ITFE (3,8%) (Figura 25).

7.4.4 Validación del modelo

Con el objeto de evaluar la fiabilidad de la modelización realizada, se utilizó un procedimiento de validación cruzada sobre k-grupos, el cual es de gran utilidad en la evaluación de la generalización de modelos de regresión. En esta ocasión se procedió a dividir el conjunto de datos empleados para el proceso de modelización en el comúnmente aceptado $k = 10$ grupos (HARRELL, 1998), de tal forma que cada uno de esos grupos se emplea como test de modelización mientras que los nueve restantes ($k - 1$) se utilizan como datos de entrenamiento. A partir de la suma residual de cuadrados se obtiene una media del error de predicción a través del cual se evalúa la calidad de la generalización del modelo. En el caso de los valores de AM predichos a partir del modelo lineal propuesto, el error promedio previsto ha sido de 0,26 g/l.

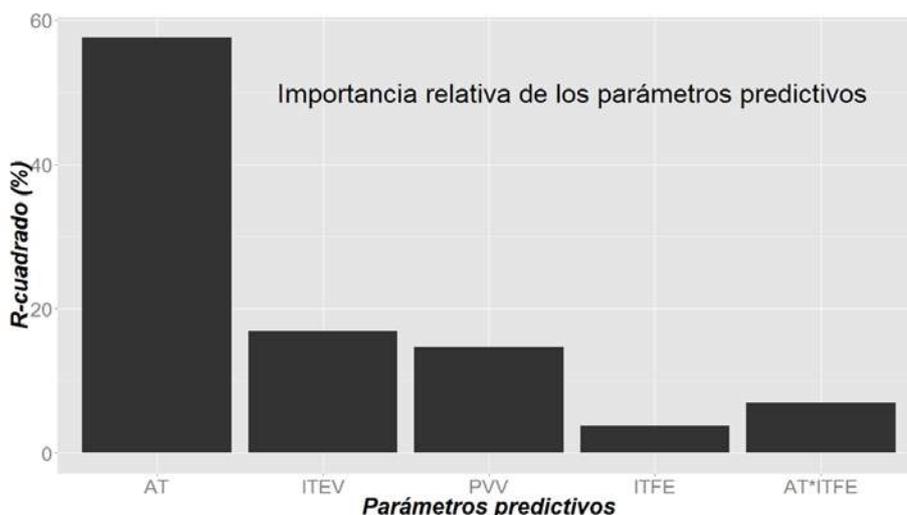


Figura 25. Importancia relativa de los parámetros predictivos en la modelización del AM.

7.5 MODELIZACIÓN DE LA EXTRACTABILIDAD DE LOS ANTOCIANOS

7.5.1 Diagnóstico de la multicolinealidad

De igual modo que en el caso de la modelización del AM, nuevamente todos aquellos valores de FIV en los parámetros predictivos superiores a 5, han sido considerados en el presente trabajo como un potencial problema. Cuando los valores de multicolinealidad han sido consultados, únicamente el valor del parámetro IH mostró valores superiores a 5 ($FIV(IH) = 5.09$). En base a lo anterior, el parámetro IH ha sido eliminado del proceso de modelización de EA, siendo de nuevo cuantificados los valores de FIV para cada uno de los parámetros predictores que permanecen en el proceso de modelización. Puesto que todos los valores de FIV fueron ya menores de 5, sugiriendo que no existen potenciales problemas de multicolinealidad, se procedió a iniciar el proceso de modelización.

7.5.2 Selección del modelo de regresión óptimo

El resultado del procedimiento de los subconjuntos de regresión ha dado como resultado el modelo que incluye los predictores pH, AT, SST, PB, ITEV y PEV combina la mayor parsimonia con los mayores valores de R-cuadrado, R-cuadrado ajustada y el menor valor del estadístico Cp de Mallows, mientras que en el caso del Criterio Informativo de Bayes, el menor valor en este estadístico se alcanza con los parámetros predictivos AT e ITEV. En la aplicación del procedimiento de regresión por pasos hacia adelante, se consiguió optimizar el modelo de predicción con los parámetros predictivos AT, PB, ITEV y PEV ($AIC = 1.256$). Los mismos parámetros predictivos han sido obtenidos como los que provocan una optimización del modelo mediante el procedimiento de regresión paso a paso hacia atrás (de acuerdo al criterio informativo AIC).

Con el compromiso de seleccionar una ecuación para el modelo de regresión optimizada en simpleza e interpretabilidad, se ha seleccionado finalmente como parámetros predictores de la extractabilidad de los antocianos los citados a continuación: AT, PB, ITEV y PEV.

Como ya se realizó de forma previa en la modelización del parámetro enológico AM, se indagó la existencia de algún tipo de interacción entre los parámetros predictores seleccionados, que optimizará la variabilidad explicada por el modelo en el parámetro a modelizar (EA en esta ocasión). De forma interesante, se halló que la interacción AT*ITEV se mostró significativa ($p < 0,05$) en la mejora del modelo predictivo cuando era incorporada como parámetro predictivo. Con el objeto de evaluar este hecho, se desarrollaron ANOVAs anidados entre modelos. De esta forma, el modelo "C" tenía como predictores los parámetros AT, PB, ITEV y PEV; cuando el impacto de la

interacción AT*ITEV fue añadida al modelo predictivo de EA denominado como “C” (modelo “D”), el test F entre los modelos “C” y “D” ($F_{C,D}$) se mostró significativo ($F_{C,D} = 6,55$, $p < 0,05$). En base a lo anterior, el modelo seleccionado como más apropiado en la modelización de EA ha sido aquel que incluye como parámetros predictivos a AT, PB, ITEV, PEV y AT*ITEV ($AIC = 1.251$):

$$EA(\%) = 90,9 - 3,58AT - 0,11ITEV + 0,02(AT*ITEV) - 0,05 PEV - 3,70PB \quad (3)$$

que tiene un coeficiente de correlación lineal múltiple R-cuadrado de 0,27. El estadístico F fue de 14,7 y significativo para un nivel de probabilidad $p < 0,001$.

Una vez calculadas las distancias de Cook (D) con el objeto de evaluar aquellos potenciales valores atípicos influenciados y eliminados aquellos casos con notable impacto en el modelo ($D > 4/(n-k-1)$), se obtuvo un nuevo y definitivo modelo, el cual es citado a continuación ($AIC = 1079$):

$$EA(\%) = 107,5 - 4,86AT - 0,14ITEV + 0,02(AT*ITEV) - 0,04 PEV - 5,05PB \quad (4)$$

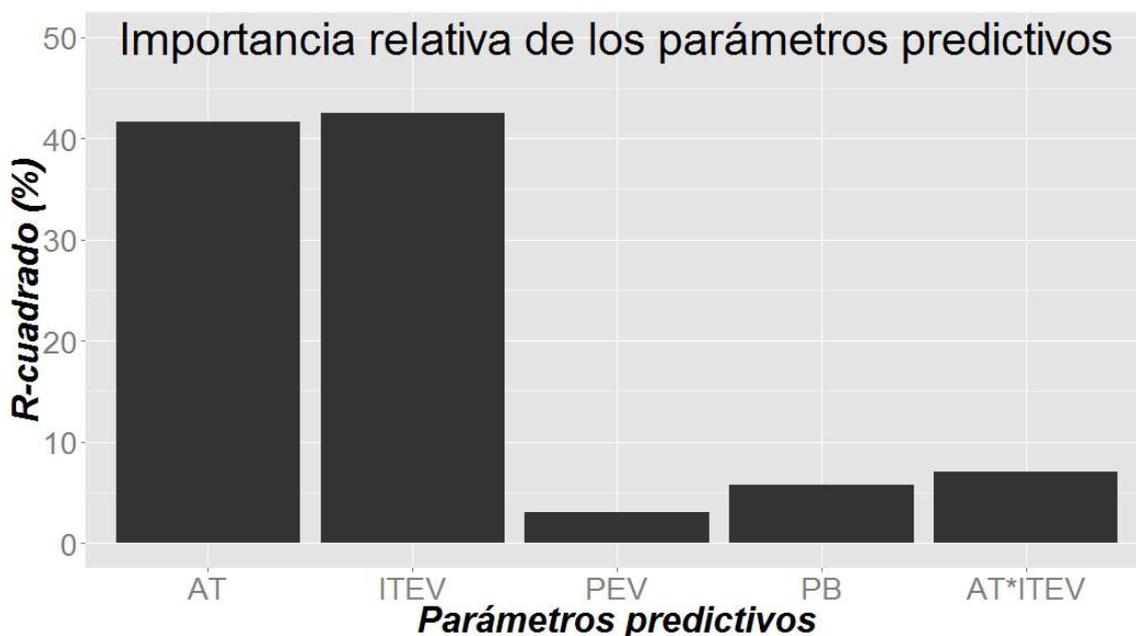


Figura 26. Importancia relativa de los parámetros predictivos en la modelización de la EA.

El modelo definitivo incrementó el coeficiente de correlación lineal múltiple R-cuadrado a 0,41. El estadístico F fue de 24,7 y significativo para un nivel de probabilidad $p < 0,001$.

7.5.3 Importancia relativa de los parámetros predictivos

De igual forma que en el caso de la modelización del parámetro enológico AM, se pretende informar en este apartado de la contribución relativa que cada uno de los parámetros predictivos presenta en el coeficiente de correlación múltiple R-cuadrado. De esta forma, sobre el total de varianza explicada por el modelo (R-cuadrado = 0,41), la contribución de los parámetros predictivos ha sido la siguiente: ITEV ha tenido la mayor importancia relativa (42,5% del coeficiente R-cuadrado), seguido de AT (41,7%), AT*ITEV (7,0%), PB (5,7 %) y PEV (3,0%) (Figura 26).

4.5.4 Validación del modelo

De igual modo que en la modelización de AM, se ha evaluado la fiabilidad de la modelización realizada mediante un procedimiento de validación cruzada sobre $k = 10$

Grupos. A partir de la suma residual de cuadrados, el error promedio previsto en la modelización del parámetro EA ha sido del 20,9%.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO

DISCUSIÓN



8 DISCUSIÓN

8.1 ESTUDIAR EL NIVEL DE SIGNIFICANCIA EN LA RELACIÓN ENTRE EL ESTADO DE FERTILIDAD DEL SUELO Y LAS CUALIDADES DEL MOSTO OBTENIDO DE LOS VIÑEDOS ASENTADOS SOBRE TALES SUELOS

Como ya ha sido citado de forma previa en el apartado correspondiente a la “Introducción”, el concepto de terroir vitícola pivota, de forma preferencial, sobre el tridente asociativo clima-suelo-planta, al cual se suman las intervenciones del hombre con el objeto de alcanzar vinos de calidad. En la comprensión de las relaciones suelo-planta son indispensables estudios geo-pedológicos que posibiliten la elaboración de cartas pedológicas, así como perfiles hídricos del suelo y del desarrollo radicular de las plantas de vid (TRAMBOUZE Y VOLTZ, 1996 Y HUNTER, 1998, CITADOS POR DELOIRE *ET AL.*, 2008). Sin embargo, estos estudios por solos, no permiten describir y comprender el funcionamiento de la planta y la evolución bioquímica de la baya, de la cual depende la calidad de la vendimia (DELOIRE *ET AL.*, 2008).

En el presente trabajo de investigación, se ha llevado a cabo un proceso de integración de la información aportada por el factor suelo y el factor planta (representado este último por sus parámetros enológicos en el momento de cosecha), a nivel de viñedo, con el objeto de demostrar la posible existencia de una correlación entre ambas fuentes de información. Este objetivo se llevó a cabo mediante el procedimiento de ACC, cuyo propósito es el de determinar si dos grupos de variables se encuentran relacionadas. En la realización del ACC se obtuvo una única dimensión estadísticamente significativa, en la que los parámetros edáficos pH, K e Fe se mostraron como los más influenciados, mientras que en el caso de los parámetros enológicos, los SST es el parámetro que se ha mostrado, con diferencia sobre el resto, como el más influenciable.

Sin duda alguna, de entre el conjunto de parámetros que conforman la relación significativa ($p < 0,05$) hallada entre grupos de variables edáficas y enológicas, es el potasio (K) el que ha dado lugar a una mayor producción científica en el ámbito de la “calidad” del vino. Es este catión el más abundante en mostos, de tal forma que un nivel elevado de este catión en mosto reduce los ácidos libres elevando su pH global. Esta elevación del pH en los mostos provoca a menudo inestabilidades, exponiéndolos más a daños oxidativos y biológicos (SOMERS, 1977), reduciendo igualmente la calidad cromática de los tintos. El incremento del conocimiento de las funciones del K en las bayas permitiría tener una mayor comprensión de las necesidades de K en la planta y cómo se podría evitar el exceso de este catión en bayas en el momento de cosecha. Ha sido sugerido por diversos autores que el K es fundamental en el desarrollo de las bayas; en base a lo anterior, y puesto que en la segunda fase de desarrollo rápido, la

cual está caracterizada por su expansión celular y por una rápida acumulación de azúcares (COOMBE, 1992). Los resultados mostrados en el ACC aseveran por lo tanto la aparición de los parámetros K en suelos y SST en mostos en la dimensión significativa del citado análisis.

Con respecto a que los niveles de disponibilidad del nutriente hierro (Fe) se haya mostrado como uno de los parámetros más influenciados en la dimensión significativa muestra una interpretación dificultosa. Las principales referencias científicas halladas con respecto a la influencia de este nutriente en el ámbito enológico inciden en la contribución del citado elemento (Fe) a proceso de enturbiamiento y efectos organolépticos en el ámbito del sabor (RIGANAKOS Y VELTSISTAS, 2003). No obstante, no se han hallado referencias en cuanto un efecto de este nutriente directamente sobre el parámetro SST. El hecho de que este nutriente haya mostrado influencia en la dimensión significativa ($p < 0,05$) del ACC, podría estar vinculado al fenómeno de la "clorosis férrica", tan habitual en los terroirs de la D.O. Ribera del Duero, y a su influencia en el ámbito de la calidad de los mostos obtenidos de tales terroirs. Este fenómeno de la clorosis férrica o deficiencia de Fe en las plantas de vid, caracterizada por un amarilleamiento intervenal de los limbos, provoca un desequilibrio nutricional por Fe en las hojas jóvenes que las reservas de las hojas adultas no pueden cubrir, ya que el Fe es un nutriente poco móvil, pudiendo generalizarse este problema a toda la planta (CHANEY, 1984). La vinculación de los resultados del ACC con la problemática fisiológica descrita, daría sentido también a que el parámetro que caracteriza de forma principal la reacción del suelo (pH) se haya mostrado también con una fuerte influencia en la dimensión significativa ($p < 0,05$) del ACC.

8.2 MODELIZACIÓN DE LOS NIVELES DE ÁCIDO L-MÁLICO EN EL MOMENTO DE COSECHA

Las correlaciones negativas halladas entre los parámetros enológicos AM y pH, así como entre AM y SST, coinciden con las investigaciones llevadas a cabo por VOLSCHENK *ET AL.* (2006), quienes sugieren que durante el desarrollo del estado fenológico de envero, la baya de vid se ve obligada a virar su metabolismo hacia la acumulación de azúcares fermentescibles y procesos de respiración del AM. De esta forma, con el comienzo del estado fenológico citado, los niveles de AM comienzan a disminuir de forma rápida, con un concomitante incremento del pH en el interior de las bayas, constituyendo uno de los principales motivos de la disminución de la acidez durante el proceso de maduración de las mismas.

Los cambios en los regímenes de temperatura ambiental pueden influenciar de forma eventual la composición de las bayas de vid, y por ende, de los mostos a emplear de forma posterior en los procesos de vinificación. En este sentido, los incrementos de temperatura conducen, de forma general, a un incremento de las concentraciones de

potasio en las bayas y a una disminución de sus niveles de AM, afectando de esta forma a los niveles de pH en las bayas y en los mostos (COOMBE, 1987). Los niveles de AM alcanzan un pico de concentración en el estado fenológico de envero, momento a partir del cual comienzan a disminuir a medida que evoluciona el proceso de maduración de las bayas. Esta disminución se encuentra intensamente influenciada por el régimen térmico, de tal forma que a medida que el incremento de las temperaturas se intensifica, las células de las bayas utilizan, de forma creciente, el AM acumulado para satisfacer los requerimientos energéticos demandados en su proceso de desarrollo (MORENO Y PEINADO, 2012). En este sentido, las correlaciones negativas halladas entre el parámetro enológico AM y los parámetros climáticos ITEV, ITFE e IH son coherentes con la influencia térmica descrita de forma previa. Lo anterior correlaciona adecuadamente con los hallazgos de CONDE *ET AL.* (2007), quienes han sugerido que esta correlación negativa entre el factor térmico y los niveles de AM en bayas es a consecuencia del efecto que la temperatura ejerce en el equilibrio entre la síntesis y el catabolismo del AM.

La fuerte influencia de la temperatura en los niveles de AM durante el proceso de maduración de las bayas, fue analizada por RIBÉREAU-GAYON *ET AL.* (2006), JACKSON (2008) y MORENO Y PEINADO (2012). Adicionalmente, CONDE *ET AL.* (2007), han sugerido que la actividad de las enzimas involucradas en la regulación de los niveles de AM en las bayas muestran diferentes respuestas en su comportamiento frente a variaciones en los regímenes térmicos. De esta forma, tanto los valores de los regímenes térmicos ITEV e ITFE, así como la interacción entre el parámetro enológico AT y el régimen térmico ITFE, han sido incluidos como predictores significativos en el proceso de modelización de los niveles de AM.

Las características cualitativas de las bayas de vid varían durante el período de maduración de acuerdo al rango de temperaturas diarias, ya que este factor térmico afecta a los niveles de azúcares fermentescibles y al composición antocianica, así como a la cualidad organoléptica del aroma (FALCAO *ET AL.*, 2010). En el presente trabajo de investigación, se ha hallado una débil correlación positiva (0,04) entre los niveles de AM y el parámetro climático IRTEV. De forma adicional, el parámetro climático anteriormente citado no ha sido seleccionado como predictor significativo en el procedimiento de modelización del AM. De esta forma, se puede sugerir que más allá de la influencia directa del factor térmico sobre los niveles de AM en las bayas durante el proceso de maduración (en los climas más cálidos aparecen niveles de AM menores), no se han hallado suficientes indicios que indiquen que la amplitud térmica diaria durante el proceso de madurez pueda ejercer una influencia significativa en los niveles de AM en cosecha.

Durante la segunda fase de desarrollo de la baya (fase de latencia), la baya acumula azúcares mientras la concentración de AM disminuye. El tamaño de la baya de vid en el

momento de su maduración depende ampliamente del número de células por baya, si bien esto solo es cierto durante el proceso de acumulación descrito (RIBÉREAU-GAYON *ET AL.*, 2006). En este sentido, el peso de la baya puede considerarse como un atributo cualitativo importante teniendo en cuenta su posible vínculo con los niveles de azúcares y de AM en las bayas (CARBONNEAU *ET AL.*, 2003). Además otros estudios previos han demostrado que algunos de los azúcares formados durante la fase de maduración proceden del AM acumulado (gluconeogénesis), aunque las concentraciones de azúcares que puedan derivar de este proceso se consideran muy leves (RUFFNER, 1982b). En este sentido, puesto que la acumulación de hexosas y la descomposición del AM se activan de forma simultánea en el estado fenológico de envero (KELLER, 2010), los cambios deseables, desde un punto de vista de los posteriores procesos de vinificación, que tienen lugar en los SST y en el AM sucede de una forma simultánea. No obstante, de forma contraria a lo que cabía poder esperar, en el presente trabajo de investigación no se han hallado evidencias significativas que indiquen que los SST ejerzan una influencia significativa en la predicción de los niveles de AM en cosecha. De esta forma, a pesar de la importancia que tanto los SST como el PB puedan presentar como criterios de calidad de las bayas de vid en el momento de cosecha, ninguno de estos parámetros enológicos se mostraron como predictores con la suficiente contribución significativa para justificar su presencia en el modelo de predicción desarrollado para el AM.

La composición específica de ácidos orgánicos presentes en el mosto afectará de forma indudable al valor del pH en el vino final, que a su vez influenciará de un modo indirecto a la percepción organoléptica del propio vino. Aunque tanto los ácidos orgánicos como el pH del mosto juegan un papel importante en el desarrollo de aromas específicos durante el proceso de vinificación (VOLSCHENK *ET AL.*, 2006), el principal rol de los ácidos orgánicos es su gran contribución a la acidez de los mostos. De esta forma, resulta lógico pensar que tanto la acidez titulable (AT) como el pH pudieran mostrar un efecto significativo como predictores de los niveles de AM en el momento de cosecha. Sin embargo, en el modelo propuesto en el presente trabajo de investigación, únicamente la AT se mostró como un predictor significativo. Aunque el pH se encuentra también influenciado por la concentración de iones inorgánicos, este hallazgo está ampliamente condicionado por la concentración de ácido tartárico (MORENO Y PEINADO, 2012), el cual es más intensamente ionizado que el AM.

La existencia de una relación significativa entre la precipitación acumulada entre dos vendimias (PVV) y los niveles de AM ($R = 0,47$, $p < 0,05$), así como la inclusión de la PVV como predictor significativo en el modelo propuesto en el presente trabajo de investigación, no ha sido ampliamente estudiada hasta la fecha. El signo positivo, tanto en la correlación como en el coeficiente asignado al parámetro PVV en el modelo propuesto, coincide con los hallazgos de LÓPEZ-TAMAMES *ET AL.*, (1996), quienes mostraron cómo una menor precipitación acumulada reducía el contenido de AM en

las bayas. Un incremento en el agua disponible del suelo en la profundidad de exploración del sistema radicular podría incrementar la absorción hídrica de la planta y, de forma consecuente, incrementar su absorción de nutrientes. Puesto que los niveles de AM libre en las bayas de vid disminuyen durante el período de maduración de las mismas a causa de la formación de sales como el potasio y otros nutrientes, un incremento en los niveles de absorción nutritiva mineral por la vid durante el período de desarrollo vegetativo podría desencadenar una mayor reducción en los niveles de AM en el momento de cosecha. De forma adicional, la PVV está directamente relacionada con las respuestas fisiológicas de la vid (COETZEE, 2013), de tal forma que podría intervenir, de forma indirecta, en un efecto de amortiguación sobre los niveles de AM en las bayas a través de los procesos de sombreadamiento (SMART, 1985, CITADO POR COETZEE, 2013) y del rendimiento productivo (TERRIER, SAUVAGE Y ROMIEU, 1995, CITADO POR COETZEE, 2013). No obstante, RIBÉREAU-GAYON *ET AL.*, (2006) mostraron que en climas templados como el de la presente área de estudio, efectos puntuales climáticos asociados a la precipitación y la temperatura ambiente pueden presentar una mayor influencia sobre los niveles de AM que los valores absolutos de estos propios parámetros climáticos a lo largo del ciclo vegetativo anual. De esta forma, aunque la aplicabilidad del modelo propuesto podría extenderse a otras regiones vitivinícolas, requiere una interpretación cuidadosa, requiriendo igualmente un mayor esfuerzo investigador para su consolidación. De igual modo, ya que se procedió a interpolar datos climatológicos ante la ausencia de estaciones climatológicas para cada uno de los viñedos objeto de estudio, es importante tener en cuenta el posible sesgo en las predicciones efectuadas por el propio modelo.

Aunque en el modelo lineal propuesto los parámetros predictivos han logrado explicar un 74% de la varianza mostrada por los valores del parámetro modelizado (AM), una modelización más precisa, en términos de varianza explicada, podría requerir la incorporación de nuevos parámetros climáticos. De esta forma, añadiendo nuevos parámetros vinculados a la radiación solar y a la humedad, los cuales varían ampliamente de añada a añada, bien directa o indirectamente a través del uso de índices ya propuestos para asesorar acerca de la precocidad en la fenología de la vid a escala mesoclimática, podría mejorar el ajuste del modelo propuesto. Por otra parte, el presente trabajo de investigación no ha sido diseñado de forma específica para evaluar el efecto de determinados factores culturales como el tipo de poda y/o sistema de conducción, o aspectos de naturaleza categórica como el vigor o la orientación de las líneas de plantación de las vides. Igualmente una mayor investigación en el sondeo de potenciales predictores significativos en parámetros edáficos, así como la influencia que puedan ejercer los patrones sobre los cuales el cv. Tempranillo es injertado, podría ser muy valorable. Quizás, teniendo en cuenta alguno de los aspectos expresado de forma previa podría igualmente mejorar de forma significativa el ajuste del modelo propuesto.

En futuras investigaciones, sería interesante igualmente evaluar de forma específica los niveles de ácido tartárico en las bayas con el objeto de evaluar su influencia sobre el modelo lineal propuesto (teniendo en cuenta la fuerte influencia que este compuesto ejerce sobre los valores mostrados por el parámetro AT). Desafortunadamente, en el presente trabajo de investigación no ha sido posible disponer de tales valores.

8.3 MODELIZACIÓN DE LOS NIVELES DE EXTRACTABILIDAD DE LOS ANTOCIANOS EN EL MOMENTO DE COSECHA

La influencia que ejerce la temperatura sobre la acumulación de antocianos en los hollejos de las bayas ya ha sido previamente estudiada por diversos investigadores (CASTELLARIN *ET AL.*, 2007b; SPAYD *ET AL.*, 2002), quienes han incidido en su influencia sobre el color en cultivares tintos (SHIRAIISHI Y WATANABE, 1988, CITADOS POR YAMANE *ET AL.*, 2006). De hecho, experimentos en los cuales se ejercía control sobre la variable térmica han demostrado como la exposición de la planta de vid (o de sus racimos de forma aislada), a elevadas temperaturas inhibían la acumulación de antocianos, pudiendo este proceso estar ligado a procesos de inhibición enzimática, degradación antociánica o a una pérdida de sustrato más que a un efecto transcripcional en si (YAMANE *ET AL.*, 2006), si bien determinados antocianos son más estables frente a las altas temperaturas que otros (GOTO-YAMAMOTO *ET AL.*, 2010). En este sentido HASELGROVE *ET AL.* (2000) y ORTEGA-REGULES *ET AL.* (2006a), sugieren que la degradación de los antocianos se muestra sensible al régimen térmico diario, siendo las temperaturas nocturnas menos influyentes en este sentido. Por otra parte, FALCAO *ET AL.* (2010) sugieren también que las características cualitativas de las bayas (entre ellas el color de las mismas), varían durante el período de maduración de acuerdo al rango térmico diario, puesto que este parámetro ejerce una influencia sobre los niveles de azúcares fermentescibles, sobre la composición antociánica y sobre el aroma. En el presente trabajo de investigación se ha mostrado una débil correlación ($R = 0,03$, $p > 0,05$) entre el parámetro a modelizar (EA) y el parámetro vinculado al rango térmico diario (IRTEV). Sin embargo, el parámetro vinculado a la integral térmica desde el estado fenológico de envero hasta cosecha (ITEV) ha demostrado una correlación moderada con EA ($R = -0,35$, $p < 0,05$) e igualmente se ha comportado como un predictor significativo en la modelización de EA.

Los valores moderados hallados en los coeficientes de correlación lineal entre EA y los parámetros pH ($R = -0,37$, $p < 0,05$) y AT ($R = 0,43$, $p < 0,05$), junto con el carácter positivo de la correlación EA-AT corrobora las ideas de KELLER (2010), quien sugiere que los antocianos, que se encuentran generalmente confinados a las vacuolas de la hipodermis exterior, se encuentran protegidos de los procesos de oxidación por el bajo pH en el interior de las vacuolas, asegurando de estas formas su función como

pigmentos colorantes. las correlaciones significativas entre EA con los parámetros pH y AT fueron desarrolladas por RÍO *ET AL.*, (2008) en los cv. Merenzao, Brancellao, Mouratón y Mencía. Estos autores determinaron que la mayor de las correlaciones tuvo lugar con el parámetro AT pero además consideraron que los parámetros pH y AT deberían de ser los más usados en las determinaciones bodegueras con el objeto de estimar, de forma aproximada, el grado de maduración fenólica en los cultivares tintos. Además los presentes hallazgos coinciden con los de CONSIDINE Y FRANKISH (2014), quienes concluyeron que la acidez de los mostos tiene un efecto importante en la intensidad del color. Estos autores señalaron que a medida que el pH de los mostos se incrementaba, la densidad del color decrecía, lo que también está en concordancia con lo sugerido por HE *ET AL.*, (2010), quienes demostraron que los antocianos de forma individual no muestran un comportamiento estable, siendo particularmente susceptibles a procesos de degradación, viéndose afectados por un amplio conjunto de factores, entre los cuales citan al pH de los mostos y al factor térmico. No obstante, en el desarrollo de la presente modelización del parámetro EA, únicamente la AT se ha manifestado como predictor significativo, pero no así el parámetro pH.

El hecho de que los SST no se hayan mostrado como un predictor significativo de los niveles de EA en el momento de cosecha, parece encontrarse en desacuerdo con los hallazgos de HERNÁNDEZ-HIERRO *ET AL.* (2012) en sus estudios llevados a cabo en el cv. Tempranillo. Estos autores revelaron la influencia del contenido de SST a lo largo de la fenología de la vid sobre los niveles de antocianos en los hollejos de las bayas. A este respecto, estos investigadores han sugerido que aunque las bayas alcancen la madurez tecnológica, estas pueden no encontrarse en el punto de máxima extracción posible de antocianos, pero que también en condiciones de sobre-maduración está prácticamente garantizado un bajo nivel de extracción de antocianos.

Una densa vegetación, que puede derivar de unas condiciones de vigor favorecidas por un abundante suministro hídrico, se encuentra asociada a una menor extracción de color, mientras que las condiciones de estrés hídrico dependiendo del alcance y duración se encuentran asociadas a una mayor o menor extracción de color dependiendo del alcance y duración de tales condiciones (KELLER, 2010). Con respecto a lo anterior, un decaimiento en el estatus hídrico en la planta de vid podría conducir a una reducción en el tamaño de la baya, con el resultante incremento de la concentración de antocianos sobre una base del peso de la fruta (BUCCHETTI *ET AL.*, 2011). No obstante, es evidente que unas condiciones de estrés hídrico excesivas podrían afectar de forma adversa la biosíntesis de antocianos en las bayas (KENNEDY, 2010). Aunque la disponibilidad del recurso hídrico para las vides ha sido desarrollado como uno de los principales factores que influyen el contenido de antocianos en las bayas de vid (CASTELLARIN *ET AL.*, 2007A; TARARA *ET AL.*, 2008; OJEDA *ET AL.*, 2002), la existencia de una relación significativa ($p < 0,05$), entre la precipitación durante el ciclo de tiempo que corresponde a dos vendimias consecutivas (PVV), no ha sido estudiado

hasta la fecha. No obstante, tanto la correlación anterior, como aquellas mostradas por EA con PFE y PEV han resultado ser muy débiles ($R = 0,19$, $R = 0,03$ y $R = 0,01$ respectivamente). Sin embargo, a pesar de la débil correlación mostrada, el parámetro climático PEV se ha mostrado como un predictor significativo en el proceso de modelización de los niveles de EA en el momento de cosecha.

En el presente trabajo de investigación el parámetro climático ITFE no se ha manifestado como predictor significativo en la modelización de EA (en contraposición a ITEV). Estos resultados corroboran lo sugerido por COOMBE Y MCCARTHY (2000), quienes indicaron que durante la fase de latencia en las bayas de vid (floración a envero) el volumen de las mismas se ve incrementado de forma sigmoïdal, siendo el malato el principal soluto que se acumula en las bayas, mientras que los antocianos se acumulan en los hollejos de las bayas de forma principal desde envero hasta que los SST alcanzan unos niveles aproximados de 18-20 °Brix.

En el modelo lineal propuesto, los parámetros predictivos han podido explicar un 41% de la varianza mostrada por los valores del parámetro modelizado (EA). Aunque la generalización es un paso adicional crítico en todo proceso de modelización, una optimización del presente modelo podría conllevar una ganancia de tiempo significativa para aquellas bodegas en las cuales la rutina de determinación de este parámetro por los procedimientos analíticos habituales conlleva un consumo de tiempo valioso. En este sentido, aunque el perfil genómico de cada cultivar de vid determina su típico perfil de pigmentación (ORTEGA-REGULES *ET AL.*, 2006a), otros factores, particularmente aquellos vinculados a la composición del suelo (YOKOTSUKA *ET AL.*, 1999) y a las prácticas culturales (JACKSON Y LOMBARD, 1993; KELLER *ET AL.*, 1999) podrían modificar los niveles de antocianos, y su extractabilidad, en los hollejos de las bayas en el momento de cosecha. De esta forma, un modelo con un mayor ajuste, en términos de varianza explicada, podría requerir la evaluación de parámetros edáficos o culturales. El impacto en la disminución de sesgo en el modelo podría ser especialmente relevante si la radiación solar fuese incluida como potencial predictor. Lo anterior podría estar justificado tomando como base el hecho de que una diferencia en las condiciones de exposición solar podría conllevar cambios en el microclima adyacente a los racimos en aspectos térmicos y de iluminación, lo que podría acarrear consecuencias en la acumulación de antocianos (BERGQVIST *ET AL.*, 2001; SPAYD *ET AL.*, 2002) y en su extractabilidad (RISTIC *ET AL.*, 2007). Finalmente, puesto que la difusión de compuestos desde los hollejos hacia el mosto es función, entre otros factores, del nivel de degradación de las células en los propios hollejos (MORENO Y PEINADO, 2012), la potencial adición de parámetros que caracterizaran la baya desde un punto de vista de su física estructural, podría aportar una mejora sustancial para las condiciones de ajuste del modelo.

8.4 EVALUAR LA IMPORTANCIA RELATIVA DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS PREDICTIVOS QUE COLABORAN DE FORMA SIGNIFICATIVA EN LA PREDICCIÓN DE CADA UNO DE LOS PARÁMETROS MODELIZADOS

La cuestión más reseñable que parece emanar de los predictores incluidos en los procedimientos de modelización en base a su relevancia estadística ($p < 0,05$), es el hecho de que en ambos modelos (AM y EA), el parámetro con un mayor peso en la explicación de la varianza acontecida ha sido la AT, mientras que el segundo parámetro con mayor relevancia en tales procesos de modelización ha sido el parámetro climático ITEV.

Se puede derivar de lo anterior, que tanto la degradación de los niveles de AM en las bayas durante el proceso de maduración, como el nivel de acumulación de los antocianos se muestran sensibles al régimen térmico diario en el período de tiempo que discurre desde enero hasta vendimia. Para el caso del AM, y puesto que también el parámetro climático ITFE se ha mostrado como predictor significativo ($p < 0,05$) en su modelización, cabría pues hipotetizar que la síntesis de AM en las bayas se muestra sensible al régimen térmico diario en el período de tiempo que discurre desde floración a enero.

8.5 EVALUAR EL GRADO DE ÉXITO EN LOS NIVELES DE PREDICCIÓN EN CADA UNO DE LOS MODELOS DESARROLLADOS

En el proceso de modelización mediante el procedimiento de regresión lineal en los valores de AM en el momento de cosecha, el error promedio previsto para este parámetro de madurez ha sido de 0,26 g/l. Mediante el mismo procedimiento de modelización descrito, pero para el caso del parámetro EA, el error promedio previsto en este caso ha sido del 20,9%.

No cabe duda de que el proceso de modelización en el cual cabe un menor sesgo en las predicciones es el que se ha desarrollado para el AM. Si bien un error de 0,26 g/l en el valor predicho frente al real puede considerarse como moderadamente aceptable, no puede ser definido con la misma naturaleza de aceptación el error cometido (20,9%) para el caso de las predicciones en el parámetro EA.

El incremento de la fiabilidad en ambos modelos de regresión podría verse potenciado a través de dos líneas de trabajo diferentes, pero complementarias en su finalidad: (i) inclusión de nuevos parámetros edáficos, enológicos, climáticos, culturales, ..., con el objeto de disminuir el sesgo y, (ii) abrir nuevas perspectivas de modelización mediante la inclusión de procedimientos no restringidos en cuanto al modelo general lineal, de tal forma que la pretensión de explicar una variable objetivo de interés a partir de un

conjunto de variables explicativas sea mantenido, pero sin perder de vista el concepto de “parsimonia”.

8.6 PERSPECTIVAS DE FUTURO

En un entorno vitivinícola globalizado, la conceptualización del término terroir permite identificar y mantener la gran diversidad presente en los ecosistemas agrarios dirigidos a la producción de vinos de calidad (elemento básico en el acervo cultural y en la económica del mundo). Puesto que el terroir vitivinícola es un concepto que se refiere a las características distintivas de los vinos producidos en entornos particularizados en los cuales se desarrollan un conjunto de interacciones entre los factores físicos y biológicos del medio, y las prácticas culturales vitivinícolas aplicadas, la profundización en el conocimiento de esas interacciones se antoja como un apartado clave en el desarrollo científico del concepto de terroir.

Es fundamental que en el entorno vitivinícola de la Península Ibérica se comiencen a elaborar vinos procedentes de parcelas singulares, y que esta elaboración se repita año tras año con el fin de poder definir el potencial edafo-climatico-varietal de cada región.

La modelización de las diferentes zonas vitícolas ayudará de manera positiva a la toma de decisiones previas a la plantación, tales como la elección del patrón y el cultivar, así como a predecir las características organolépticas del futuro vino.

CONCLUSIONES



9 CONCLUSIONES:

1. Los parámetros climatológicos y enológicos han mostrado vínculos de naturaleza significativa en la caracterización de los terroir.
2. Igualmente, se ha demostrado la existencia de una relación significativa entre las características que determinan la fertilidad edáfica de un terroir y las cualidades de los mostos obtenidos en él.
3. La modelización de los niveles en cosecha del ácido L-málico a partir de parámetros climáticos y enológicos, se ha comportado como un procedimiento con un elevado grado de confiabilidad.
4. De forma opuesta, la modelización de los niveles en cosecha de la extractabilidad de los antocianos a partir de parámetros climáticos y enológicos ha evidenciado una mayor incertidumbre.
5. La acidez total, se ha comportado como una variable predictora de extrema importancia en ambas modelizaciones.
6. El factor climático temperatura se ha mostrado, de un modo general, más influyente que aquellos otros factores vinculados con las precipitaciones, en las características enológicas de las añadas.
7. El factor térmico correspondiente a la integral que define la acumulación de horas de calor en el período de tiempo que discurre desde enero a cosecha, ha demostrado una mayor influencia en las características enológicas de los mostos que la integral térmica que define los rangos existentes entre las máximas y las mínimas correspondientes a ese mismo período.
8. Las precipitaciones en el período de tiempo que discurre desde enero a cosecha, han manifestado una mayor influencia en las características enológicas de los mostos que aquellas correspondientes al intervalo floración – enero.
9. Igualmente, las precipitaciones en el período de tiempo que discurre entre añadas, han evidenciado una mayor influencia en las características enológicas de los mostos que aquellas correspondientes al intervalo enero – cosecha.

10. Se requiere de un mayor esfuerzo en el estudio de los componentes del factor terroir con el objeto de poder llegar a elevados niveles de fiabilidad en los procesos de modelización de parámetros de interés en los mostos destinados a la producción de vinos de calidad.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO

BIBLIOGRAFÍA



10 BIBLIOGRAFÍA

A

ALLEN, L.H. (1971) Variations in carbon dioxide concentration over an agricultural field. *Agricultural Metereology* **8**, 5-24.

ALONSO, J. (1989) *Los climas españoles. Territorio y sociedad en España* (Taurus Alfaguara: Madrid, España).

ALONSO, P., DORRONSORO, C., GONZÁLEZ, M.I., GARCÍA, M.P., EGIDO, J.A. Y GARCÍA, J.M. (1991) Homogeneidad/heterogeneidad de los materiales fluviales de las terrazas del río Tormes. *Suelo y planta* **1**, 775-791.

APARICIO, J., SÁNCHEZ, J. L., ALONSO, J. L., Y RODERO, V. (2008) La Ribera del Duero, Geografía de un medio innovador en torno a la vitivinicultura. *Scripta Nova. Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales* **12**, 256-280.

B

BECKER, N.J. (1977) Influence des facteurs geographiques et topographiques sur la qualite de la vendange. *Symposium International sur la qualité du la vendange. Enological and Vitictural Research Institute: Stellenbosch, South Africa.*

BERGQVIST, J., DOKOOZLIAN, N. Y EBISUDA, N. (2001) Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture* **52**, 1-7.

BUCCHETTI, B., MATTHEWS, M.A. FALGINELLA, L., PETERLUNGER, E. Y CASTELLARIN, S.D. (2011) Effect of water deficit on Merlot grape tannins and anthocyanins across four seasons. *Scientia Horticulturae* **128**, 297-305.

C

CABANIS, J.C. (2003) Ácidos orgánicos, sustancias minerales, vitaminas y lípidos. En: FLANZY, C. (ed.) *Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos*. (A. Madrid - Mundi Prensa: Madrid, España).

CANAVOS, G. C. (1988) *Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos* (McGraw-Hill/Interamericana de México: Naucalpan de Juárez, México).

CARBONNEAU, A., CHAMPAGNOL, F., DELOIRE, A. Y SEVILA, F. (2003) Vendimia y calidad de la uva. En: FLANZY, C. (ed.) Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos. (A. Madrid - Mundi Prensa: Madrid, España).

CARBONNEAU, A., DELOIRE, A. Y JAILLARD, B. (2007) La Vigne: Physiologie, terroir, culture. (Dunod: Paris, Francia).

CASTELLARIN, S.D., MATTHEWS, M.A., DI GASPERO, G. Y GAMBETTA, G.A. (2007a) Water deficits accelerate ripening and induce changes in gene expression regulating flavonoid biosynthesis in grape berries. *Planta* **227**, 101–112.

CASTELLARIN, S.D., PFEIFFER, A., SIVILOTTI, P., DEGAN, M., PETERLUNGER, E. Y DI GASPERO, G. (2007b) Transcriptional regulation of anthocyanin biosynthesis in ripening fruits of grapevine under seasonal water deficit. *Plant Cell and Environment* **30**, 1381-1399.

CATENA, A., RAMOS, M.M. Y TRUJILLO, H. (2003) Análisis multivariado (Biblioteca Nueva: Madrid, España).

CHANEY, R.L. (1984) Diagnostic practices to identify iron deficiency in higher plants. *Journal of Plant Nutrition* **7**, 47-67.

CHATONNET, P. (2005) Origen, importancia y factores de variación de la acidez y del pH: visión general de la problemática de la disminución de acidez de los vinos. En: Fundación para la Cultura del Vino (ed.) Informe Técnico. Gestión de pH en el vino de calidad (Fundación para la Cultura del Vino: Madrid, España).

CHATTERJEE, S. AND HADI, A.S. (2006) Regression analysis by example, 4th ed (John Wiley and Sons: Hoboken, New Jersey, USA).

CHEYNIER, V., MOUTOUNET, M. Y SARNI-MANCHADO, P. (2003) Los compuestos fenólicos. En: FLANZY, C. (ed.) Enología: Fundamentos científicos y tecnológicos. (A. Madrid - Mundi Prensa: Madrid, España).

CHONÉ, X., C. VAN LEEUWEN, P. CHÉRY, Y P. RIBÉREAU-GAYON. (2001) Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*): Vegetative development, must and wine composition. *S. Af. J. Enol. Vitic.* **22(1)**, 8-15.

COETZEE, Z.A. (2013) Site and vintage response of malic and tartaric acid in *Vitis vinifera* L. cv's Cabernet Sauvignon and Sauvignon blanc. PhD thesis. Stellenbosch University, Stellenbosch, South Africa.

CONDE, C., SILVA, P., FONTES, N., DIAS, A.C.P., TAVARES, R.M., SOUSA, M.J., AGASSE, A., DELROT, S. Y GERÓS, H. (2007) Biochemical changes throughout grape berry development and fruit and wine quality. *Food* **1 (1)**, 1-22.

CONSIDINE, J.A. Y FRANKISH, E. (2014) A complete guide to quality in small-scale wine making (Academic Press: Oxford, UK).

COOMBE, B.G. (1987) Influence of temperature on composition and quality of grapes. *Acta Horticulturae* **206**, 23-35.

COOMBE B.G. (1992) Research on development and ripening of the grape berry. *American Journal of Enology and Viticulture*. **43**, 101-110.

COOMBE, B.G. Y MCCARTHY, M.G. (2000) Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **6**, 131-135.

CORRALES, L. (1979) El Mioceno al sur del río Duero, Primera Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero. Parte II. IGME: Salamanca, España.

CRDO RIBERA DEL DUERO (2015) URL: <http://www.riberadelduero.es> [Acceso: 31/05/2015].

D

DELOIRE, A., CARBONNEAU, A. Y FERRER, M. (2008) Respuestas de la viña al terrorir. Elementos para determinar un método de estudio. En: Fundación para la Cultura del Vino (ed.) Informe Técnico. Control del viñedo en los vinos de calidad (Fundación para la Cultura del Vino: Madrid, España).

DÍAZ-PLAZA MARTÍN-LORENTE, SALINAS, M.R., FERNÁNDEZ, REYERO J.R., PARDO, F. (2000) Aportación al estudio de la maduración de varias viníferas tintas cultivadas en la D.O. Jumilla. *Viticultura enología profesional* **68**, 37-44

DREIER, L.P., STOLL, G.S. Y RUFFNER, H.P. (2000) Berry ripening and evapotranspiration of *Vitis vinifera* L. *American Journal of Enology and Viticulture* **51**, 340-346.

DUKES B.C. Y BUTZKE C. (1998) Rapid determination of primary amino acids in grape juice using an o-phthaldialdehyde/N-acetyl-L-cysteine spectrophotometric assay. *American Journal of Enology and Viticulture* **49 (2)**, 125-134.

E

ELIAS, F. (1973) Clasificación agroclimática de España basada en la clasificación ecológica de Papadakis (Instituto Nacional de Meteorología, Servicio de Publicaciones: Madrid, España).

ELIAS, F. Y BELTRÁN, J.R. (1977) Agroclimatología de España (ICONA: Madrid, España).

F

FALCAO, L.D., BURIN, V.M., SIDINEI CHAVES, E., VIEIRA, H.J., BRIGHENTI, E., ROSIER, J.-P. Y BORDIGNON-LUIZ, M.T. (2010) Vineyard altitude and mesoclimate influences on the phenology and maturation of Cabernet-Sauvignon grapes from Santa Catarina state. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* **44 (3)**, 135-150.

FAO (1989) Mapa mundial de suelos(FAO: Roma, Italia).

FAO (2006) Guidelines for soil description. 4ª edición (FAO: Roma, Italia).

FLORES TÉLLEZ, J. (2004) Apuntes sensoriales de los tintos de la Ribera del Duero Revista del Consejo Regulador de la Denominación de Origen «Ribera del Duero» **1**, 21.

FULCRAND, H., BENABDELJALIL, C., RIGAUD, J., CHEYNIER, V. & MOUNTOUNET, M. (1998) A new class of wine pigments generated by reaction between pyruvic acid and grape anthocyanins. *Phytochemistry* **47**, 1401–1407

G

GARCÍA FERNÁNDEZ, J. (1986) El clima en Castilla y León (Ámbito Ediciones: Valladolid, España).

GONZÁLEZ SAN JOSÉ Y PÉREZ MAGARIÑO (2005) Importancia del momento de vendimia en la obtención de vinos de crianza: (II) repercusión sobre los compuestos fenólicos de bajo peso molecular. *Viticultura enología profesional* **99**, 29-35

GOOGLE EARTH (2015) URL: <http://www.google.com/earth/index.html> Fecha de la imagen: October 10, 2013. [Acceso: 06/2015].

GOTO-YAMAMOTO, N., MORI, K., NUMATA, M., KOYAMA, K. Y KITAYAMA, M. (2010) Effects of temperature on flavonoid contents and composition in the skin of red-wine grapes. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin* **43 (1)**, 75-80.

H

HARRELL, F. (1998) Comparisons of strategies for validating binary logistic regression models. Department of Biostatistics website (Vanderbilt University) URL: <http://biostat.mc.vanderbilt.edu/twiki/pub/Main/RmS/logistic.val.pdf> [Acceso 15/08/13].

HASEL GROVE, L., BOTTING, D., VAN HEESWIJCK, R., HØJ, P.B., DRY, P.R., FORD, C. Y LAND, P.G.I. (2000) Canopy microclimate and berry composition: the effect of bunch exposure on the phenolic composition of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz grape berries. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **6**, 141-149.

HE, F., MU, L., YAN, G.L., LIANG, N.N., PAN, Q.H., WANG, J., REEVES, M.J. Y DUAN, C.Q. (2010) Biosynthesis of anthocyanins and their regulation in colored grapes. *Molecules* **15**, 9057-9091.

HEDRICH R. Y MARTEN I. (1993) Malate-induced feedback regulation of plasma membrane anion channels could provide a CO₂ sensor to guard cells. *EMBO J* **12**, 897-901

HERNÁNDEZ-HIERRO, J.M., QUIJADA-MORÍN, N., RIVAS-GONZALO, J.C. Y ESCRIBANO-BAILÓN, M.T. (2012) Influence of the physiological stage and the content of soluble solids on the anthocyanin extractability of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo grapes. *Analytica Chimica Acta* **732**, 26-32.

HILBERT, G., SOYER, J.P., MOLOT, C., GIRAUDON, J., MILIN, S. Y GAUDILLÈRE, J.P. (2003) Effects of nitrogen supply on must quality and anthocyanin accumulation in berries of cv. Merlot. *Vitis* **42**, 69-76.

HINTON, P.R. (2004) *Statistics explained*. 2ª edición (Routledge: New York, USA).

HUETZ DE LEMPS, A. (2005) *Vinos y viñedos de Castilla y León*, 2ª ed (Junta de Castilla y León: Valladolid, España).

HUMORISTES ASSOCIÉS (1980) *Le vin* (Humoristes Associés. Impreso en España por Talleres Offset Nerecan, S.A.: San Sebastián, España).

HUNTER J.J. (1998) Plant spacing implications for grafted grapevine. II soil water, plant water relations, canopy physiology, vegetative and reproductive characteristics, grape composition, wine quality and labour requirements. *S Afri. Enol, Vitic.*, **19**, **2**, 35-51.

J

JACKSON, D.I. Y LOMBARD, P.B. (1993) Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality. A review. *American Journal of Enology and Viticulture* **44** (4), 409-430.

JACKSON, R.S. (2008) *Wine Science*, 3ª ed (Academic Press: Burlington, USA).

JACKSON, R.S. (2008) *Wine Science*, 4ª ed (Academic Press: Burlington, USA).

JOHNSON, H. (2005) *Historia del vino* (Blume: Barcelona, España).

JONES, G.V., REID, R. Y VILKS, A. (2012) Climate, grapes and wine: Structure and suitability in a variable and changing climate. En: DOUGHERTY, P.H. (ed.) The geography of wine regions, terroir and techniques (Springer: Amsterdam, Holanda).

K

KAISER, H.F. (1960) The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement* **20**, 141-150.

KELLER, M., POOL, R.M. Y HENICK-KLING, T. (1999) Excessive nitrogen supply and shoot trimming can impair colour development in Pinot Noir grapes and wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **5**, 45-55.

KELLER, M. (2010) *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology* (Academic Press: London, UK).

KENNEDY, J.A. (2010) Wine colour. En: REYNOLDS, A.G. (ed.) *Managing wine quality. Volume 1: Viticulture and wine quality* (CRC Press: Boca Raton, USA).

KERRIDGE, G. Y ANTCLIFF, A. (1999) *Wine grape varieties* (CSIRO: Collingwood, Australia).

KLADSTRUP, D. Y Kladstrup, P. (2006) *La guerra del vino. Los franceses, los nazis y el tesoro más grande de Francia* (Ediciones Obelisco: Barcelona, España).

KOTTEK, M., J. GRIESER, C. BECK, B. RUDOLF Y F. RUBEL (2006) World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* **15**, 259-263.

L

LÁZARO, F., ELIAS, F. Y NIEVES, M. (1978) *Regímenes de humedad en los suelos de la España peninsular* (INIA: Madrid, España).

LEGENDRE, L. Y LEGENDRE, P. (1979) *Ecologie numérique 2. La structure des données écologiques* (Éditions Masson: Paris, Francia).

LINDSAY, W.L. Y NORVELL, W.A. (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society American Journal* **42**, 421-428.

LÓPEZ-TAMAMES, E., PUIG-DEU, M.A., TEIXEIRA, E. Y BUXADERAS, S. (1996) Organic acids, sugars, and glycerol content in white winemaking products determined by HPLC: relationship to climate and varietal factors. *American Journal of Enology and Viticulture* **47** (2), 193-198.

LORENZO, L.F., GARCÍA, M.P., FORTEZA, J. Y CUADRADO, S. (1993) Análisis de los suelos de la Cuenca del Duero afectados por globalización. Actas del XII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Sociedad Española de la Ciencia del Suelo: Salamanca, España.

M

MAGRAMA (2015) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Observatorio de tecnologías probadas. Material vegetal. URL: <http://www.magrama.gob.es/app/MaterialVegetal/fichaMaterialVegetal.aspx?idFicha=543> [Acceso 10/03/15].

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (1993) Métodos oficiales de análisis. Tomo III (Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: Madrid, España).

MOLINERO HERNANDO, F. (1997) La Ribera del Duero. Transformaciones y dinamismo de una comarca vitícola. Medio Ambiente, **7**, 19-36.

MOLINERO Y CAYETANO CASCOS, F. (2011) Los paisajes vitivinícolas triunfantes de la Ribera del Duero. Territoires du vin. URL: <http://revuesshs.u-bourgogne.fr/territoiresduvin/document.php?id=974> [Acceso 28/10/15].

MORENO, J. Y PEINADO, R. (2012) Enological Chemistry (Academic Press: London, UK).

MORLAT, R. Y ASSELIN, C. (1993) Terroirs et qualité des vins. Purpan **166**, 46-55.

MOUTON, G.D. (2006) Terroir. The footprint of great wines. Tesis Doctoral. Cape Wine Academy. República de Sudáfrica.

N

NADAL, M. (2010) Phenolic maturity in red grapes. En: DELROT, S., MEDRANO, H., OR, E., BAVARESCO, L Y GRANDO, S. (eds.) Methodologies and results in grapevine research (Springer: Dordrecht, Holanda).

NUÑEZ, D. (2008) Los Grandes Vinos De Burdeos (Visión Libros: Madrid ,España).

O

OLEGO, M.A. (2012) Evolución de las relaciones nutricionales suelo-planta desarrolladas en suelos de la D.O. "Tierra de León" dedicados al cultivo de *Vitis vinifera* L. cv. Prieto Picudo. Tesis Doctoral. Universidad de León. España.

OLSEN, S.R. (1972) Micronutrients interactions. En: MORTVEDT, J. Y MADISON, J. (eds.) *Micronutrients in agriculture* (Soil Science Society of America: Wiscosin, USA).

OJEDA, H., ANDARY, C., KRAEVA, E., CARBONNEAU, A. Y DELOIRE, A. (2002) Influence of pre-and postveraison water deficit on synthesis and concentration of skin phenolic compounds during berry growth of *Vitis vinifera* cv. Shiraz. *American Journal of Enology and Viticulture* **53**, 261–267.

ORTEGA-REGULES, A., ROMERO-CASCALES, I., LÓPEZ-ROCA, J., ROS-GARCÍA, J. Y GÓMEZ-PLAZA, E. (2006a) Anthocyanin fingerprint of grapes: environmental and genetic variations. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86**, 1460–1467.

P

PEÑA, D. (1987). *Estadística. Modelos y Métodos. Volumen 2: Modelos lineales y series temporales.* (Alianza: Madrid, España).

PEÑÍN, J. (2002) *Vega Sicilia: Viaje al corazón de la leyenda* (Bodegas Vega Sicilia: Valladolid, España).

PÉREZ ANDRÉS, J. (2007) *Ribera del Duero: los últimos 25 años de la vida de un vino.* *ARGI* **1**, 12-16.

PORTERO GARCÍA, J.M., DEL OLMO ZAMORA, J.M.; RAMÍREZ DEL POZO, J. Y VARGAS ALONSO, I. (1982). *Síntesis del Terciario continental de la Cuenca del Duero, 1ª Reunión sobre la Geología de la Cuenca del Duero* (Salamanca, 1979). IGME: Madrid, España.

Q

QUIROGA (2014) *Efecto de la aplicación de materiales encalantes en el cultivo de la vid CV: Mencía en la D.O. Bierzo, Incidencia sobre la composición fenólica y evolución en la crianza del vino.* Tesis Doctoral, Universidad de León, España.

R

R CORE TEAM (2015) *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing. URL: <https://www.R-project.org/> [Acceso 15/05/15].

RIBÉREAU-GAYON, P., DUBOURDIEU, D., DONÈCHE, B. Y LONVAUD, A. (2006) *Handbook of enology. Volumen 1. The microbiology of wine and vinifications.* 2ª ed (John Wiley and Sons: Hoboken, New Jersey, USA).

RIGANAKOS, K.A. Y VELTSISTAS, P.G. (2003) Comparative spectrophotometric determination of the total iron content in various white and red Greek wines. *Food Chemistry* **82**, 637-643.

RÍO, S., SOTO, E. Y DÍAZ, E. (2008) Influence of ripeness grade on accumulation and extractability of grape skin anthocyanins in different cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**, 599-607.

RISTIC, R., DOWNEY, M.O., ILAND, P.G., BINDON, K., FRANCIS, I.L.; HERDERICH, M. Y ROBINSON, S. (2007) Exclusion of sunlight from Shiraz grapes alters wine colour, tannin and sensory properties. *Australian Journal of Grape and Wine Research* **13**, 53-65.

RODRÍGUEZ VEGA, I. (2014) Composición bioquímica de la variedad Mencía (*Vitis vinifera* L.) en la D.O. Ribeira Sacra: influencia del terroir y adaptación al cambio climático. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo. España.

ROSON, J. Y MOUTOUNET, M. (1992) Quantités d'anthocyanes et de tanins des raisins de quelques cépages du Sud-Ouest en 1988 et 1989. *R.F.O.E.* **135**, 17-27.

RUFFNER, H.P. (1982) Metabolism of tartaric and malic acids in *Vitis*: A review - Part B. *Vitis* **21**, 346-58.

RUFFNER, H.P. (1982) Metabolism of tartaric and malic acids in *Vitis*: A review - Part B. *Vitis* **21**, 346-58.

S

SAAYMAN, D. (1977) Effects du sol et du climat sur la qualité du vin. Symposium International sur la qualité du la vendange. Enological and Viticultural Research Institute: Stellenbosch, South Africa.

SAINT-CRIQ DE GAULEJAC, N., VIVAS, N. Y GLORIES, Y. (1998) Maturité phénolique: définition et contrôle. *Revue française d'oenologie* **173**, 22-25.

SHIRAIISHI S; WATANABE Y. (1988) Anthocyanin pigments in the blue-black tetraploid grape cultivars 'Black Olympia, Pione and Izunishiki, *Vitis vinifera* L. * *V. labrusca* L. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science.* **57 (1)**, 17-21

SMART, R.E. (1985) Principles of grapevine canopy microclimate manipulation with implications for yield and quality. A review. *American Journal of Enology and Viticulture* **36**, 230-239.

SOMERS, T. C. (1977) A connection between potassium levels in the harvest and relative quality in Australian red wines. *Aust. Wine Brew. Spirit Rev.* **96**, 32-34.

SPAYD, S.E., TARARA, J.M., MEE, D.L. Y FERGUSON, J.C. (2002) Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries. *American Journal of Enology and Viticulture* **53 (3)**, 171-182.

SOTÉS, V. (2008) El Terroir único. En: C.R.D.O. Ribera del Duero (eds.) *II Congreso Internacional Ribera del Duero, Roa de Duero, Burgos, España* (Consejo Regulador de la Denominación de Origen Ribera del Duero: Roa de Duero, Burgos, España).

SOTÉS, V. Y GÓMEZ-MIGUEL, V. (1992) *La Ribera del Duero sus viñas y sus vinos* (CRDO Ribera de Duero – Caja España: Valladolid, España).

SOYER, J.P. (2005) Fertilización potásica y acidez de los mostos y de los vinos. En: *Fundación para la Cultura del Vino* (ed.) *Informe Técnico. Gestión de pH en el vino de calidad* (Fundación para la Cultura del Vino: Madrid, España).

STEVENS, J.P. (2002) *Applied multivariate statistics for the social sciences*. 4ª edición (Lawrence Erlbaum: New Jersey, USA).

T

TARARA, J., JUNGIMIN, L., SPAYD, S. Y CAROLYN, F. (2008) Berry temperature and solar radiation alter acylation, proportion, and concentration of anthocyanin in Merlot grapes. *American Journal of Enology and Viticulture* **59 (3)**, 235–247.

TEJERO DE LA CUESTA, J.M. (1987) *Mapa de suelos de Castilla y León*. Escala 1:500.000. Junta de Castilla y León, Servicio de Ordenación del Territorio y Cartografía: Valladolid, España.

TERRIER, N., SAUVAGE, F.X., AND C. ROMIEU (1995) Absence de crise respiratoire, induction de l'activité alcool déshydrogénase et diminution de l'acidité vacuolaire lors de la maturation du raisin. In: (Enologie 95 5è11e Symposium International d'OEnologie, A. Lonvaud-Funel (Ed.). *Technique et Documentation Lavoisier*, Londres.

TOMASI, D., GAIOTTI, F. Y JONES, G.V. (2013) *The power of the terroir: the case study of Prosecco wine* (Springer Basel: Heidelberg, Alemania).

TRAMBOUZE W, VOLTZ, M. (1996) Caractérisation des relations hydriques sol/vigne dans un terroir languedocien. 1^o colloque internationale "Les terroirs viticoles; concept, produit, valorisation". Juillet, Angers, France **17 18**, 164-169

TURBOW S.B., WEHMEIER G.H. Y BLOCK D.E. (2002) Comparison of enzymatic and ISE methods for ammonia measurements in untreated red and wine juices and wines. *American Journal of Enology and Viticulture* **53 (2)**, 158-162.

U

UNESCO (2005) UNESCO Planète Terroirs International Meeting (Paris, Francia)

UNWIN, T. (2001) El vino y la viña. Geografía histórica de la viticultura y el comercio del vino (Tusquets Editores: Barcelona, España).

V

VAN LEEUWEN, C., Y G. SEGUIN. (2004). Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par l'état hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion, J. Int. Sci. Vigne Vin. **28(2)**, 81-110

VAN LEEUWEN, C. Y SEGUIN, G. (2006) The concept of Terroir in viticulture. Journal of Wine Research **17**, 1-10.

VAN LEEUWEN, C., TREGOAT, O., CHONÉ, X., BOIS, B., PERNET, D. Y GAUDILLÈRE, J.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. Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin **43 (3)**, 121-134.

VAN LEEUWEN, C. (2010) Terroir: the effect of the physical environment on vine growth, grape ripening and wine sensory attributes. En: REYNOLDS, A.G. (ed.) Managing wine quality. Volume 1: Viticulture and wine quality (CRC Press: Boca Raton, USA).

VAUDOUR, E. (2003) Les terroirs viticoles (Dunod: Paris, Francia).

VOLSCHENK, H., VAN VUUREN, H.J.J. Y VILJOEN-BLOOM, M. (2006) Malic acid in wine: origin, function and metabolism during vinification. South African Journal of Enology and Viticulture **27 (2)**, 123-136.

W

WHITE, R.E. (2015) Understanding vineyards soils, 2ª ed (Oxford University Press: Oxford, Reino Unido).

WILLIAMS, L.E., DOKOOZLIAN, N.K. Y WAMPLE, R.L. (1994) Grape. En: SCHAFFER, B., ANDERSEN, P.C. (eds.) Handbook of environmental physiology of fruit crops. Volumen 1. Temperate crops (CRC Press: Boca Raton, USA).

Y

YAMANE, T., JEONG, S.T., GOTO-YAMAMOTO, N., KOSHITA, Y. Y KOBAYASHI, S. (2006) Effects of temperature on anthocyanin biosynthesis in grape berry skins. *American Journal of Enology and Viticulture* **57 (1)**, 54-59.

YOKOTSUKA, K., NAGAO, A., NAKAZAWA, K. Y SATO, M. (1999) Changes in anthocyanins in berry skins of Merlot and Cabernet Sauvignon grapes grown in two soils modified with limestone or Oyster shells versus a native soil over two years. *American Journal of Enology and Viticulture*, **50 (1)**, 1–12.

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO

ANEXOS



11 ANEXOS

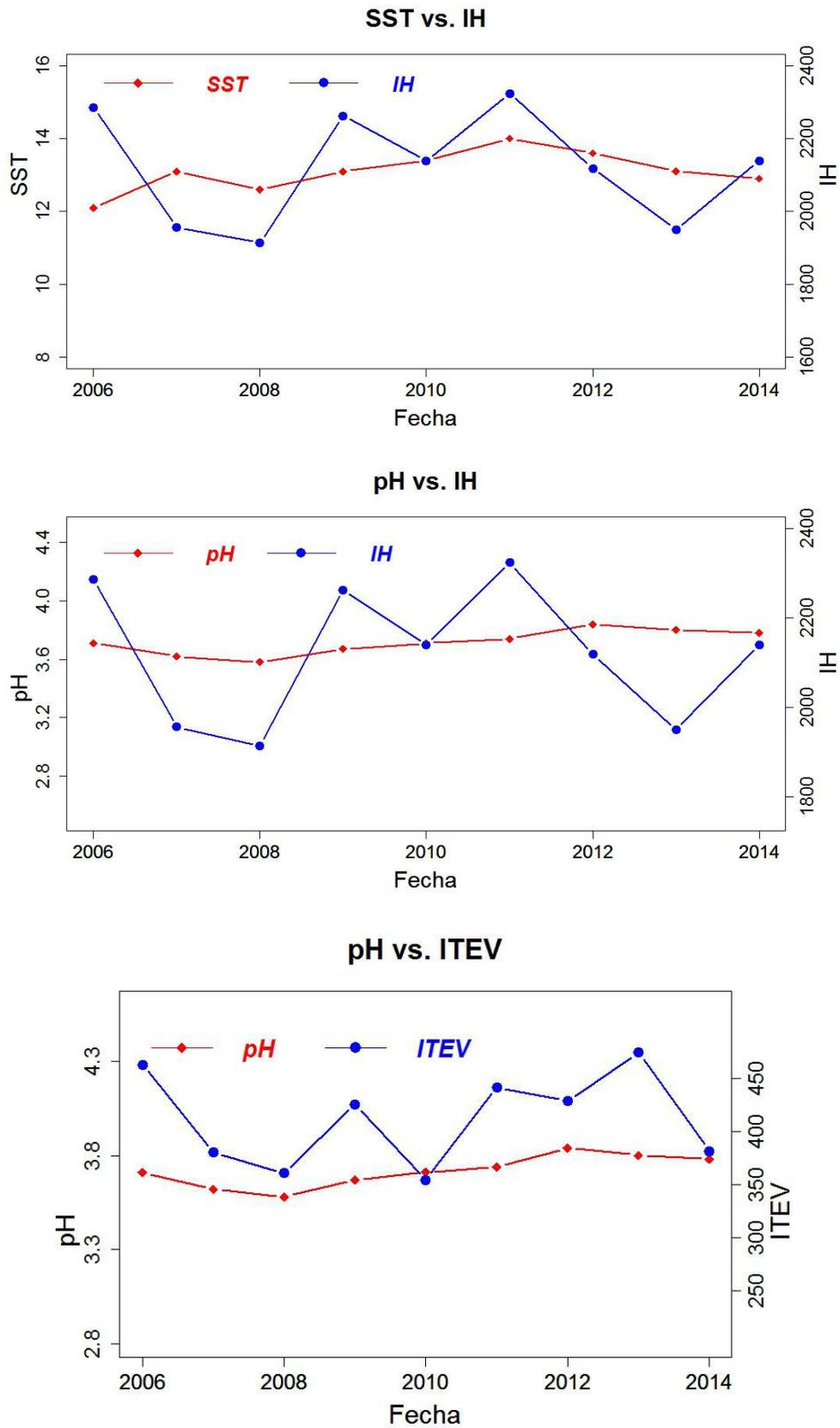


Figura 27. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADI. ITEV (°C)

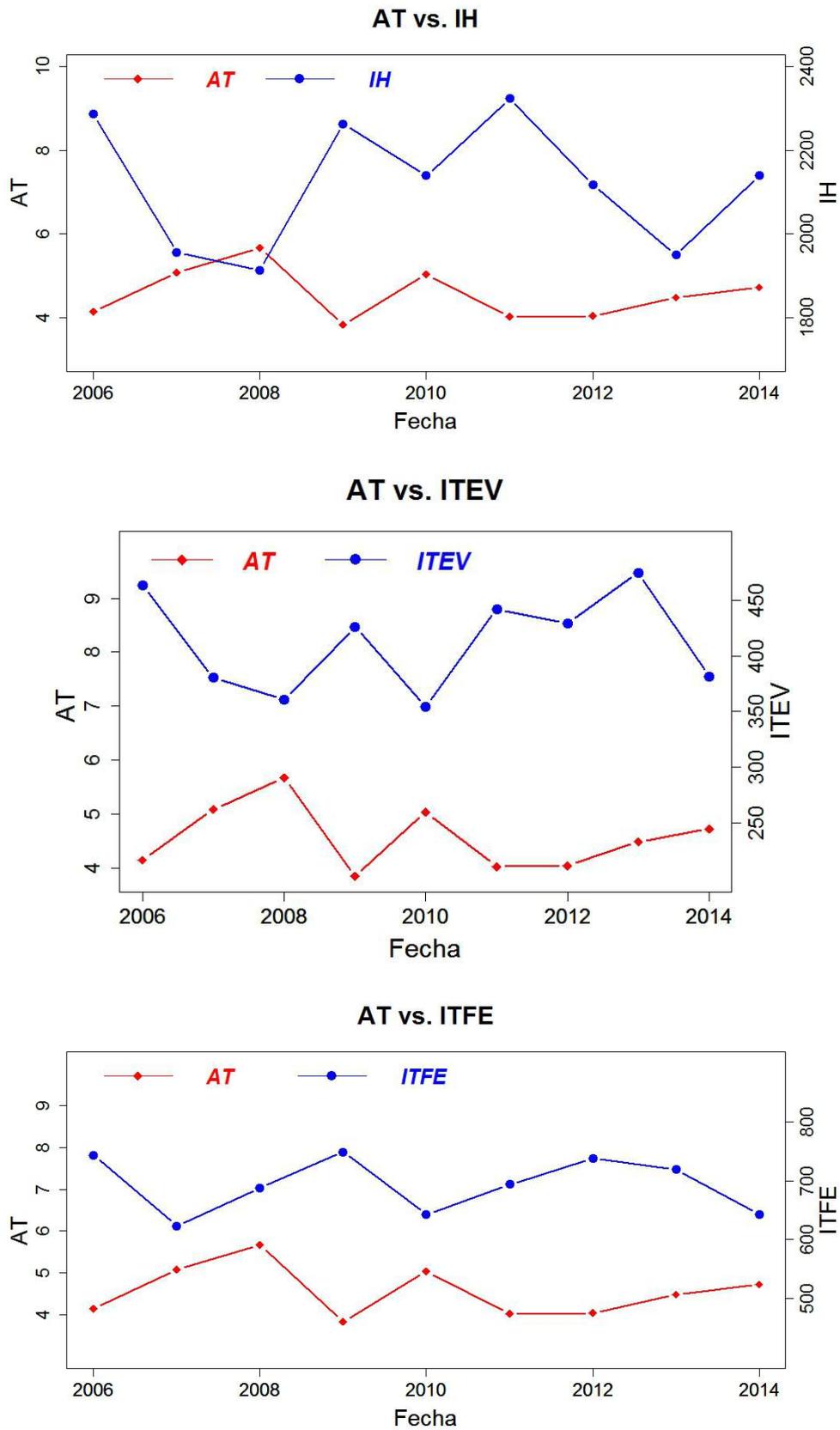


Figura 28. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADI. ITFE y ITEV (°C), AT (g/l)

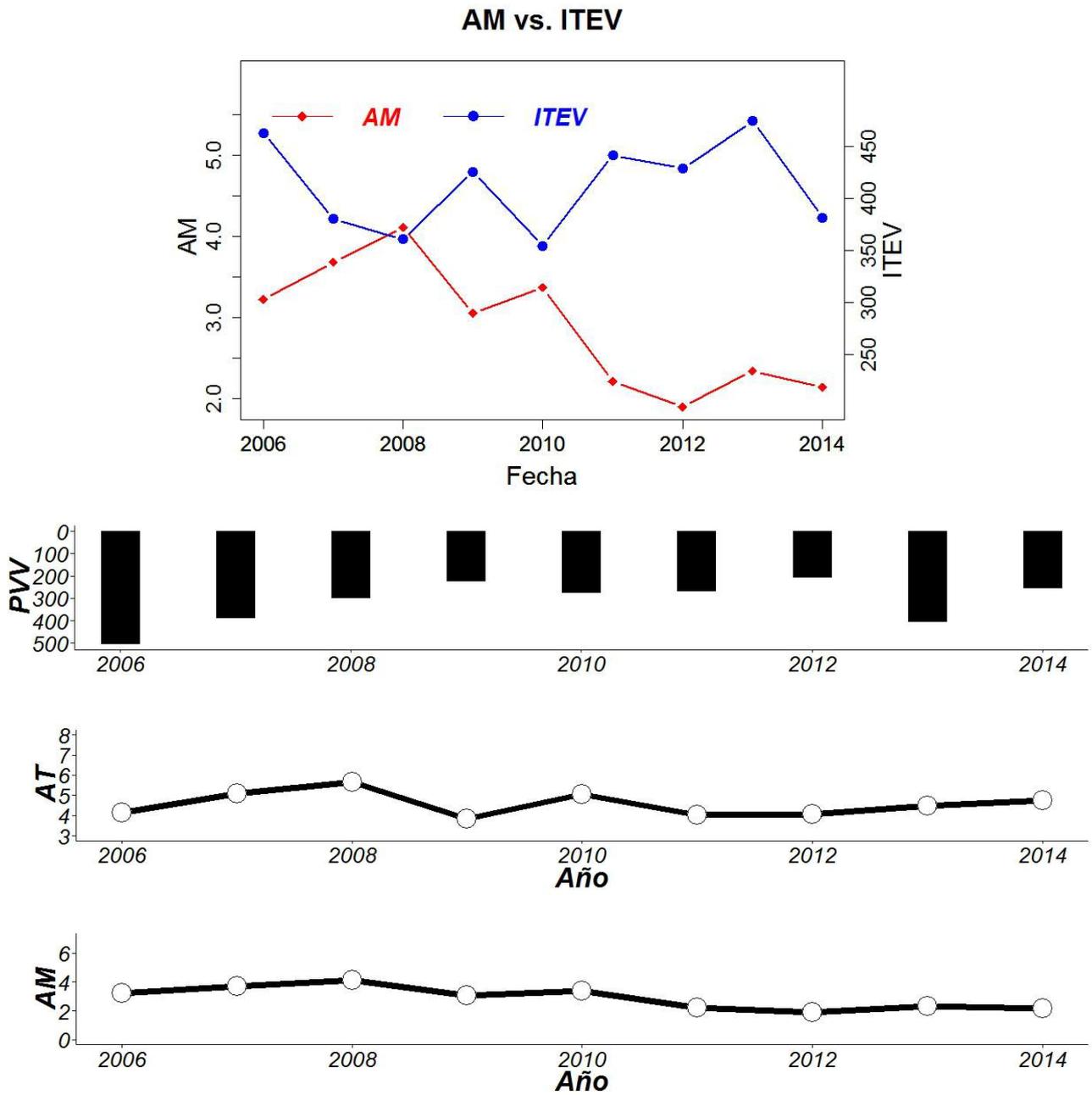


Figura 29. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADI. ITEV (°C), PVV (mm), AM y AT (g/l)

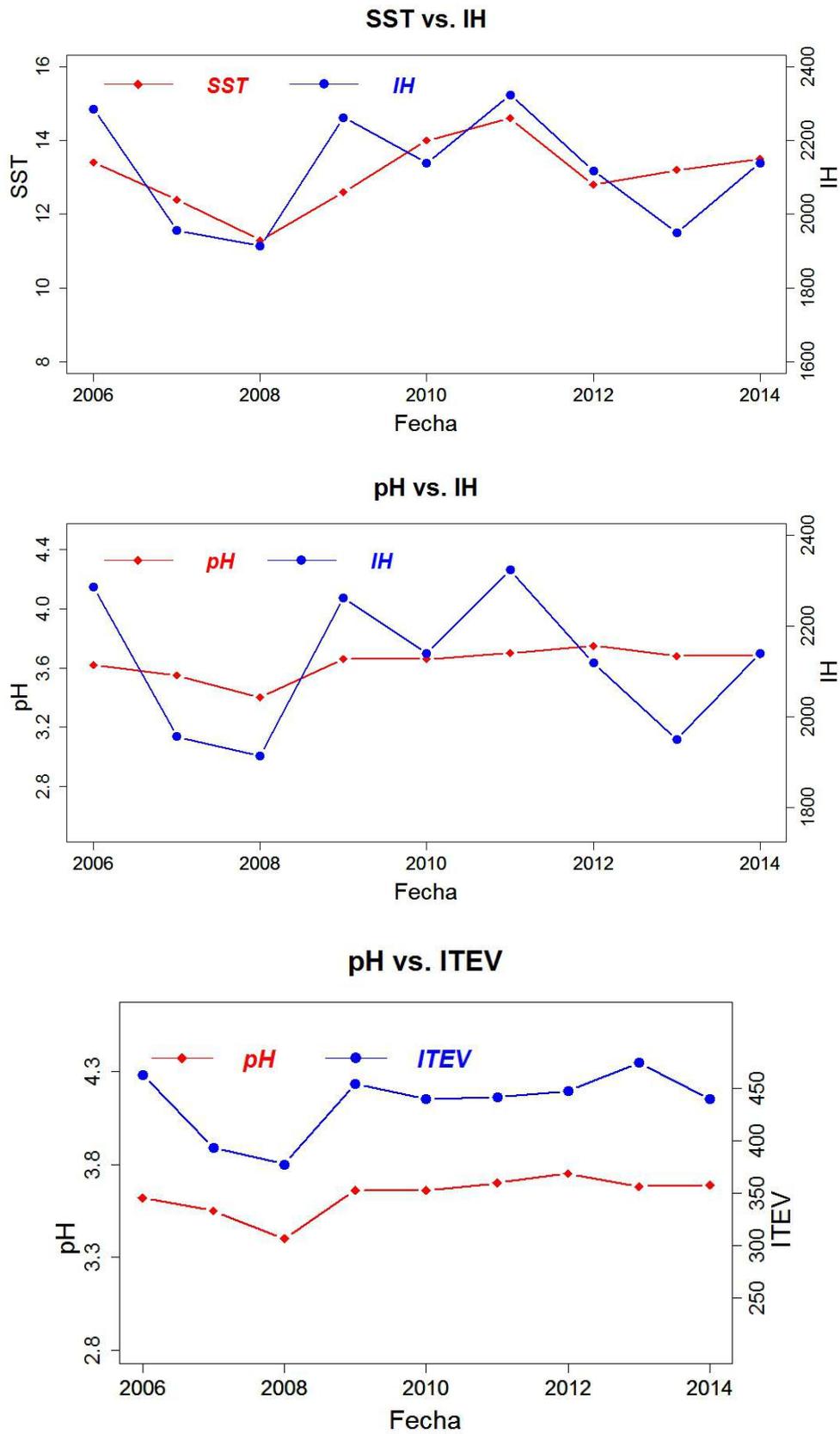


Figura 30. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADII. SST (Baumè), ITEV (°C)

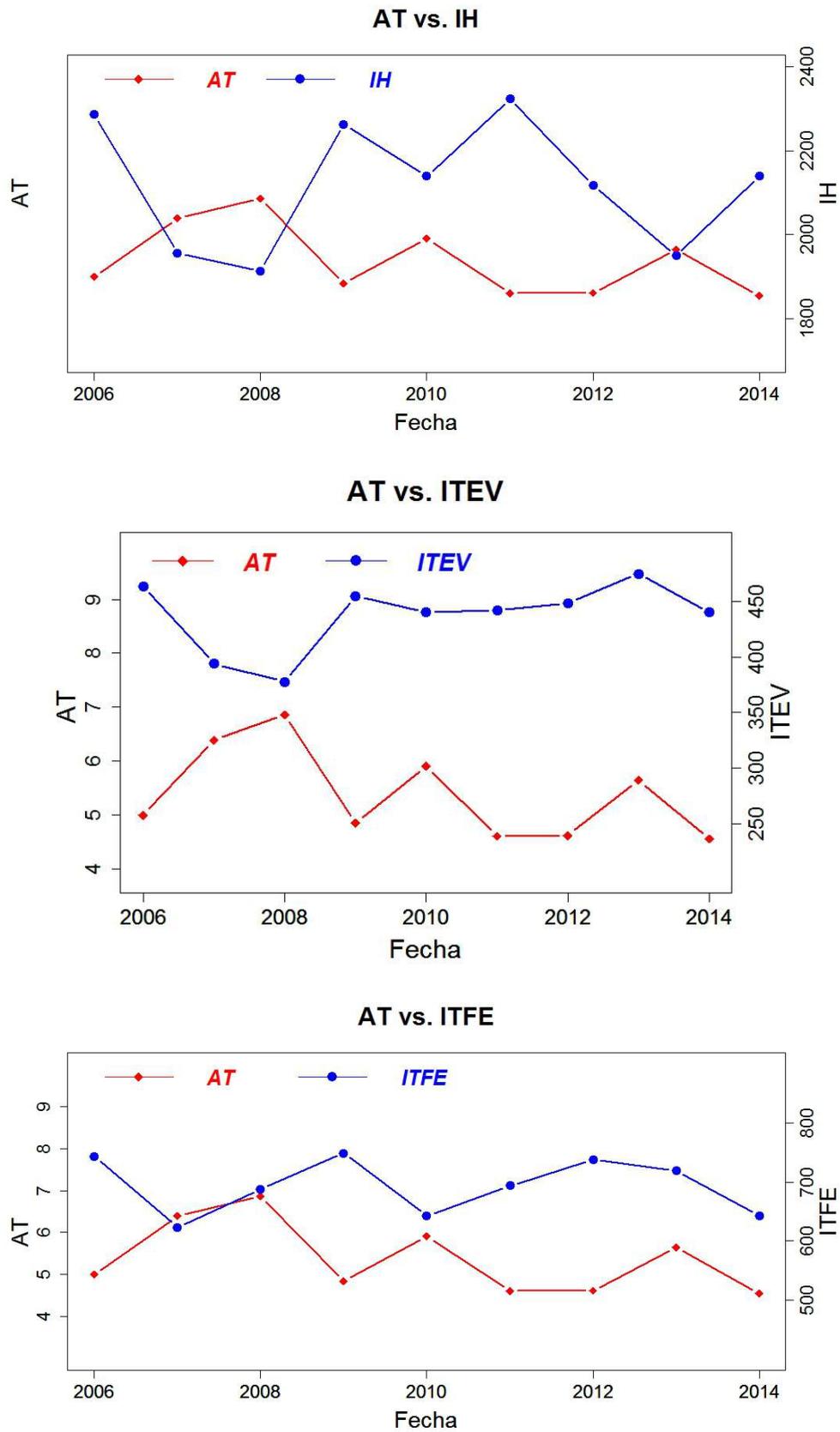


Figura 31. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADII. ITFE y ITEV (°C), AT (g/l)

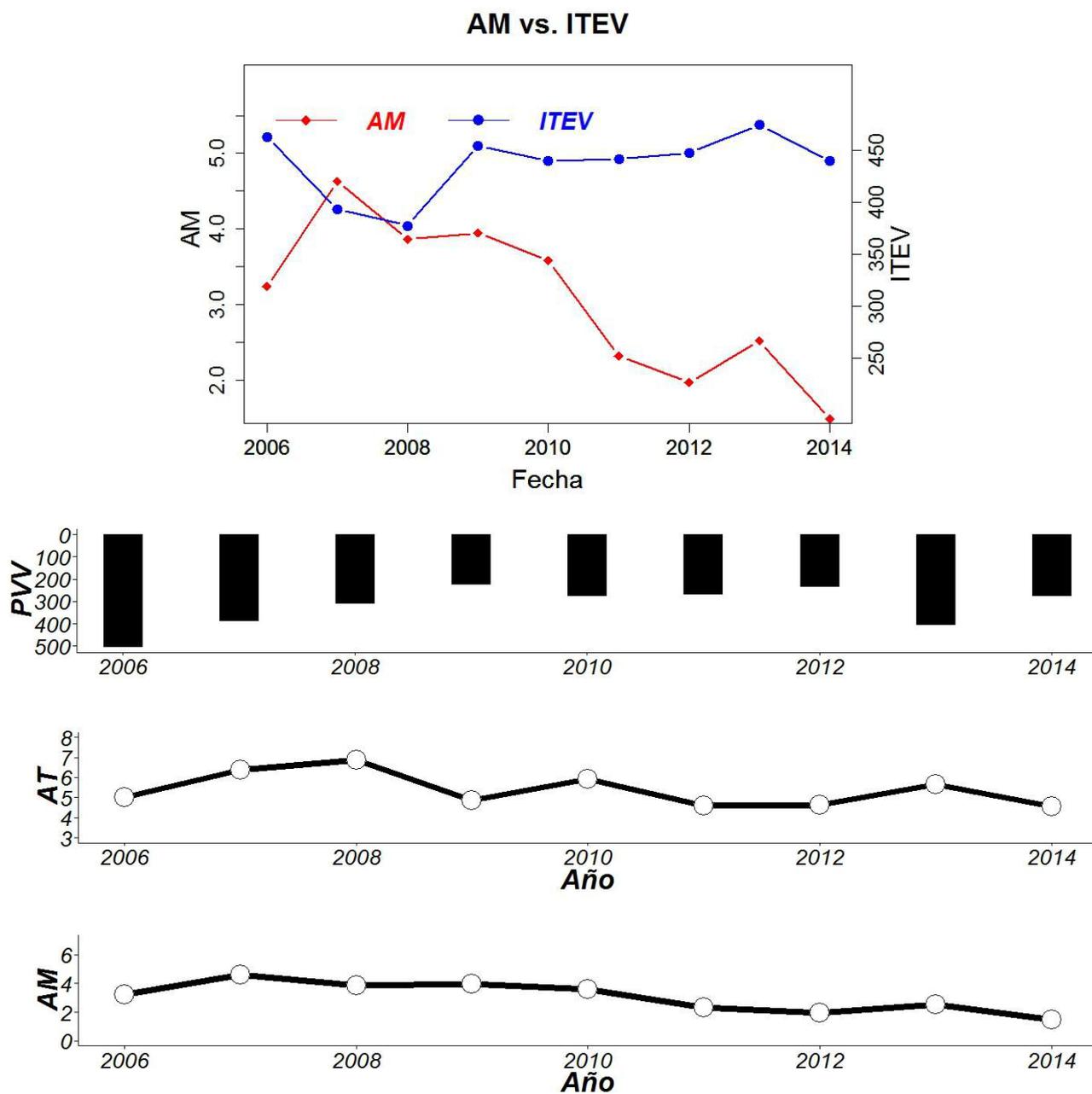


Figura 32. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en ADII. ITEV (°C), AM y AT (g/l) y PVV (mm)

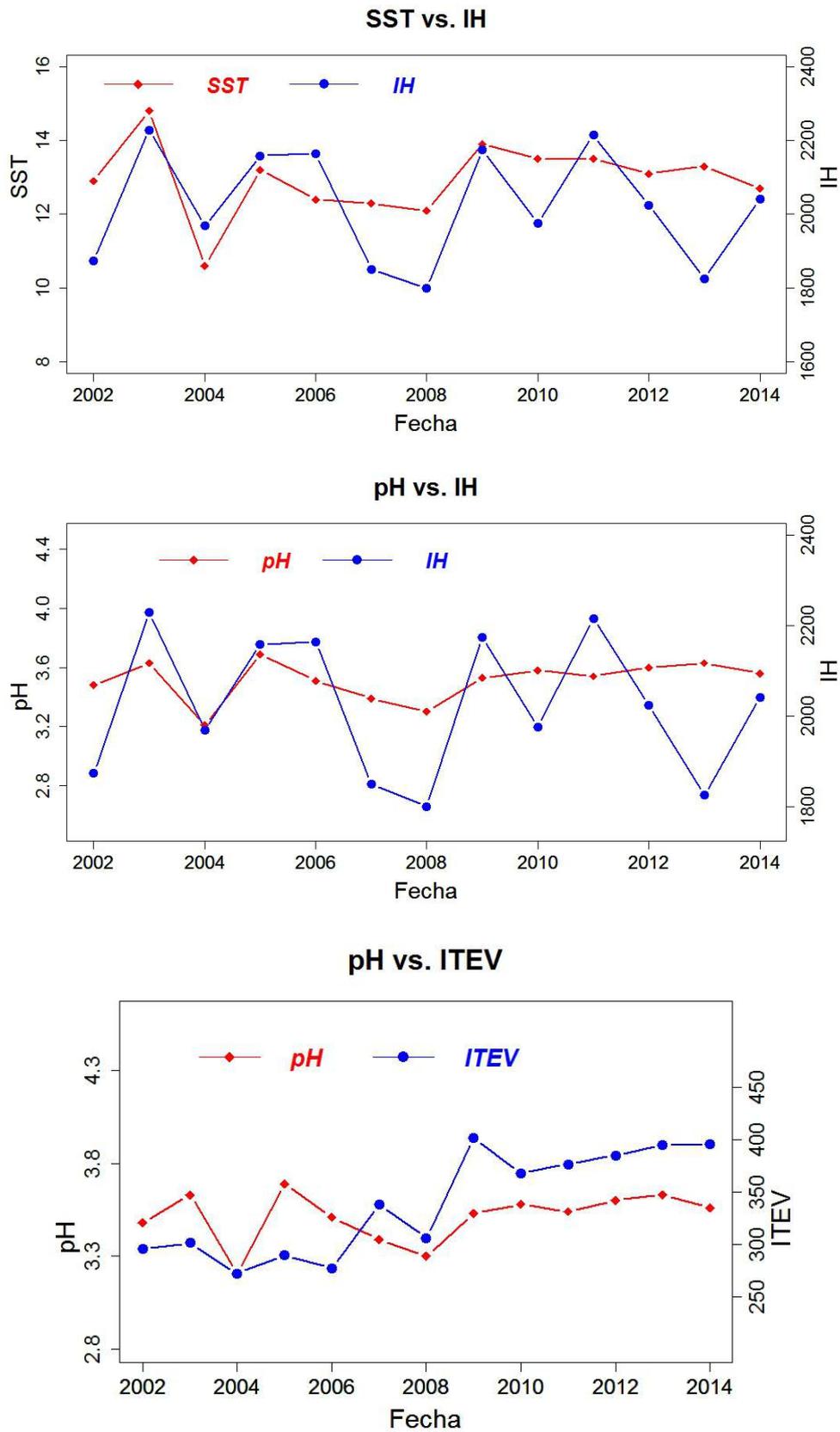


Figura 33. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en CR. SST (Baumè), ITEV (°C)

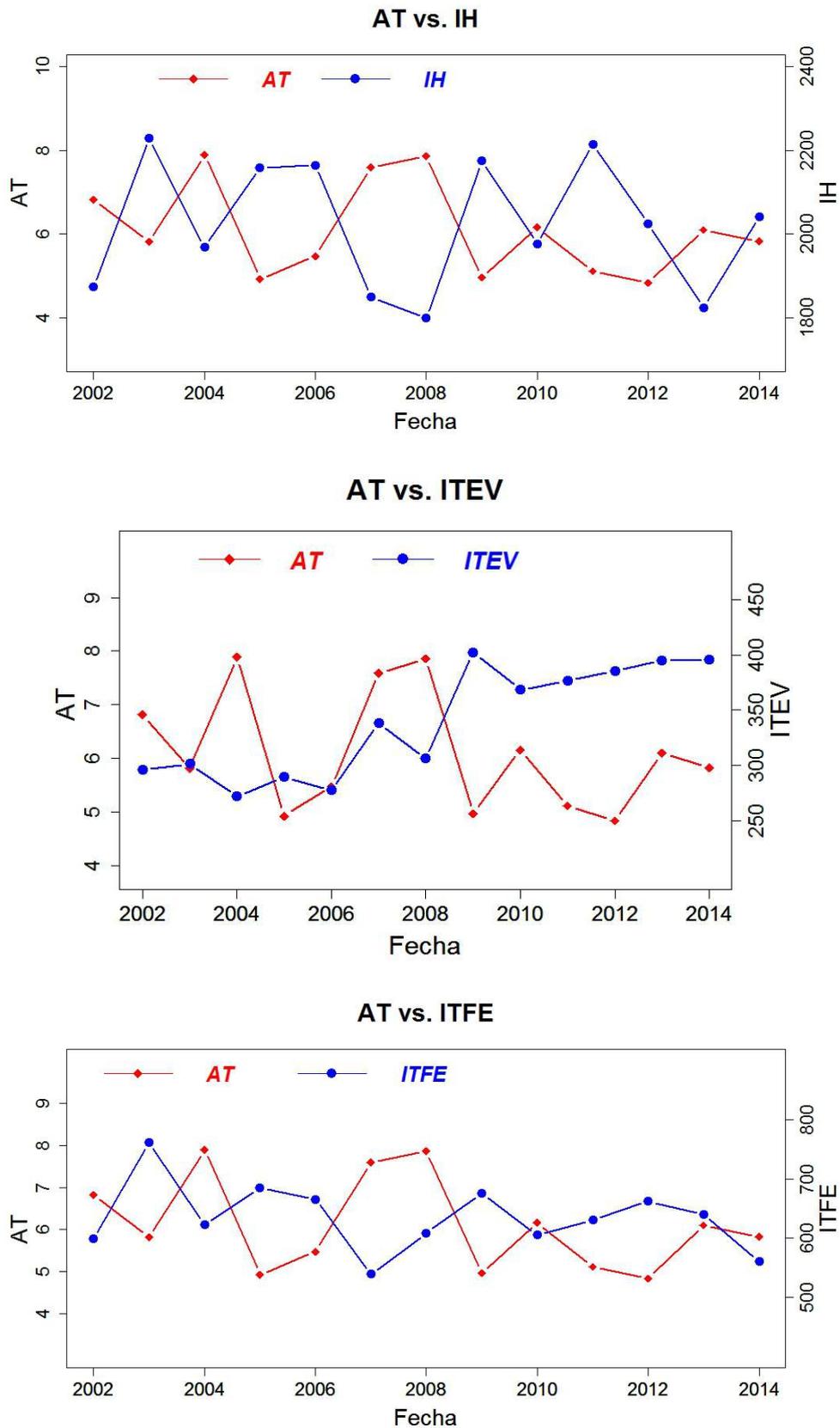


Figura 34. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en CR. ITFE e ITEV (°C) y AT (g/l)

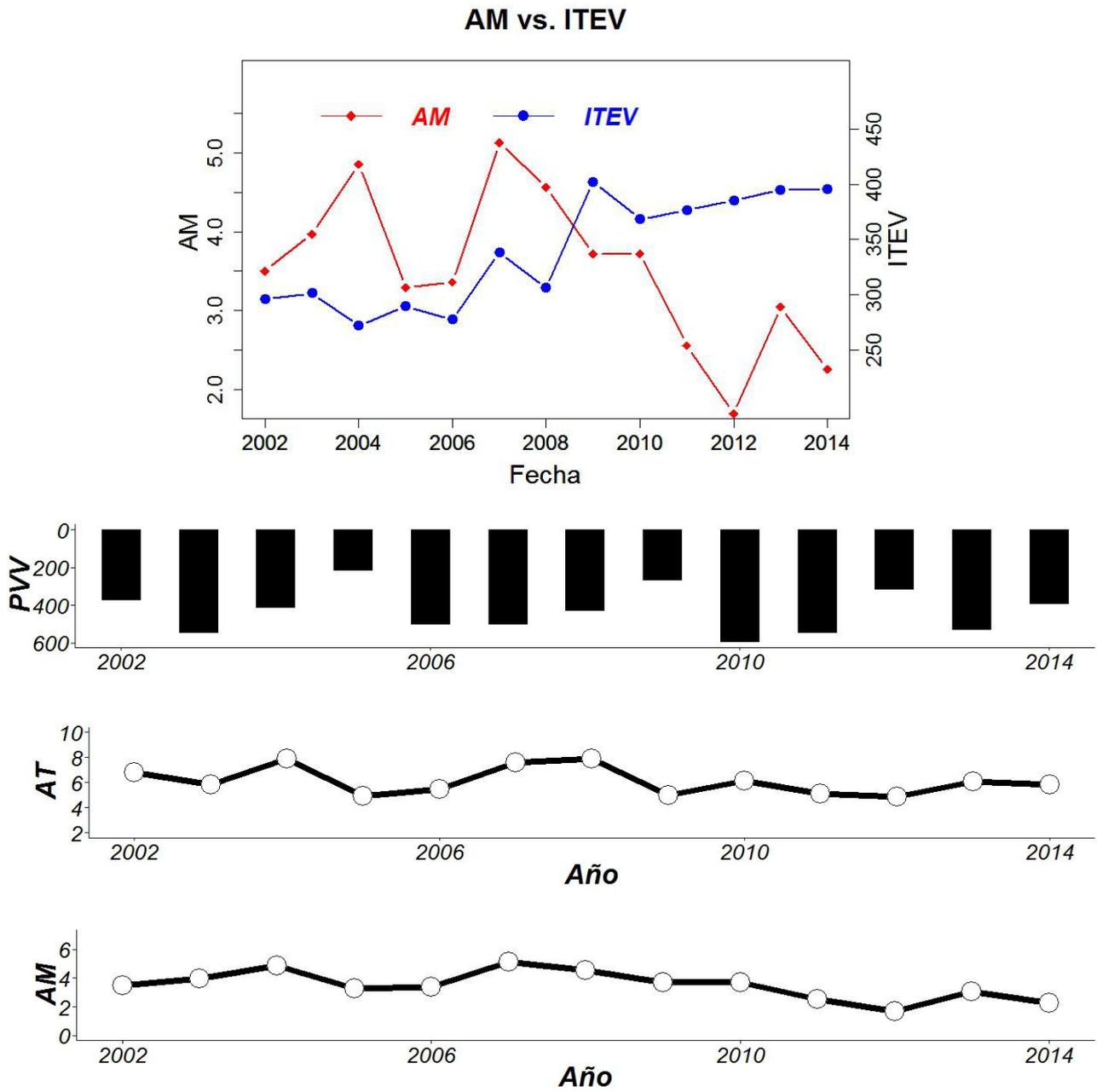


Figura 35. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en CR. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

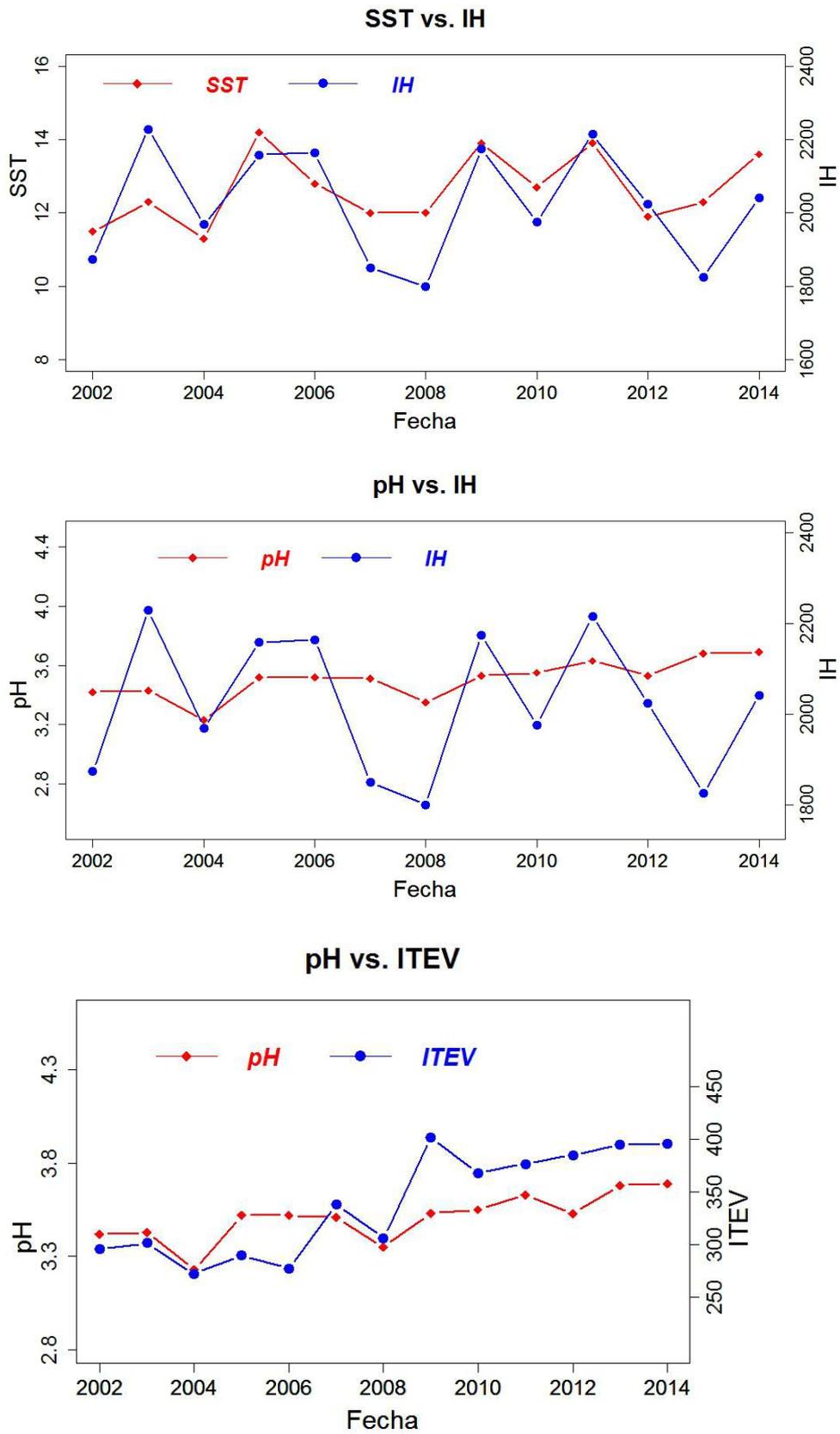


Figura 36. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en F. SST (Baumè) y ITEV (°C)

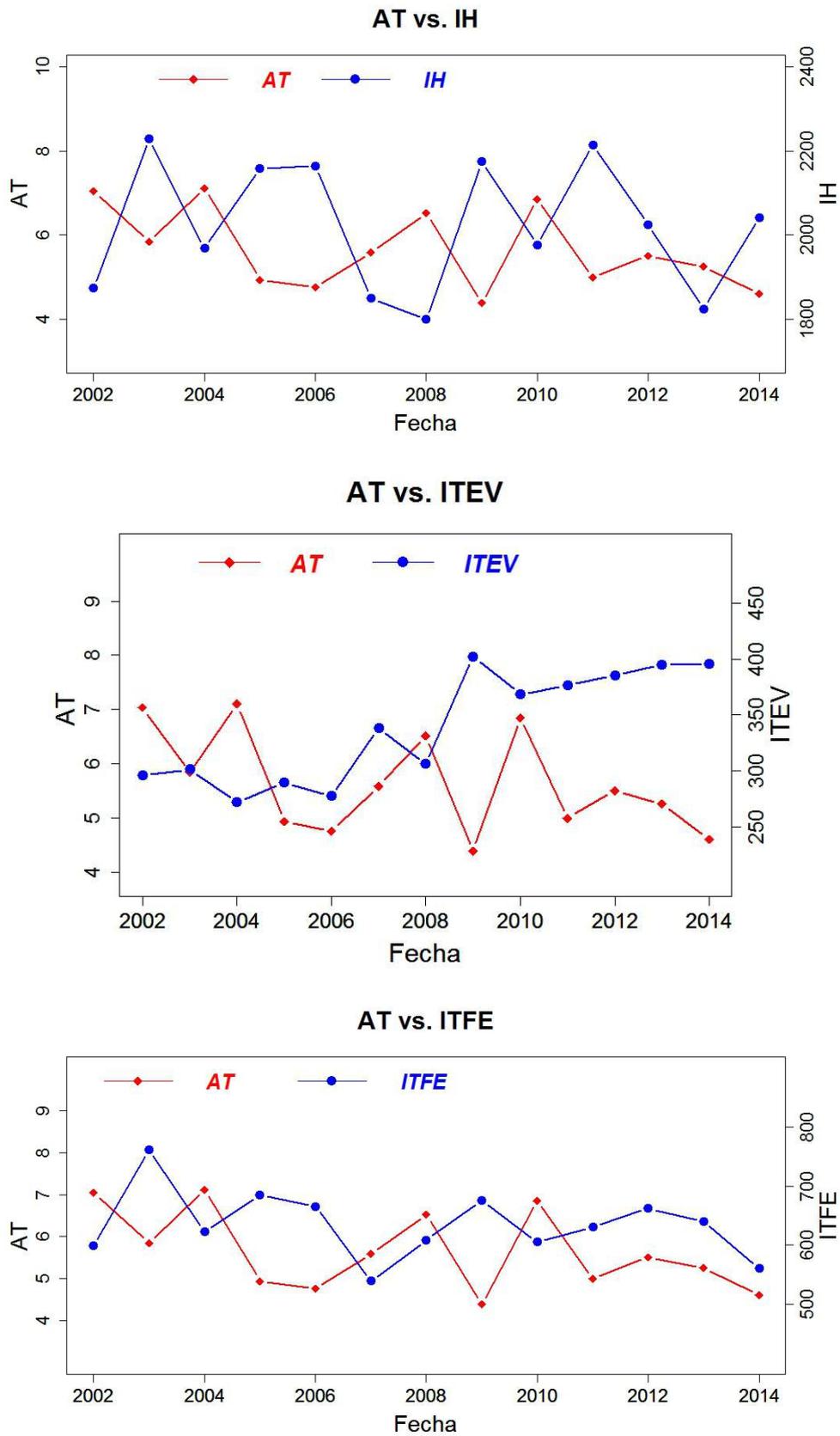


Figura 37. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en F. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

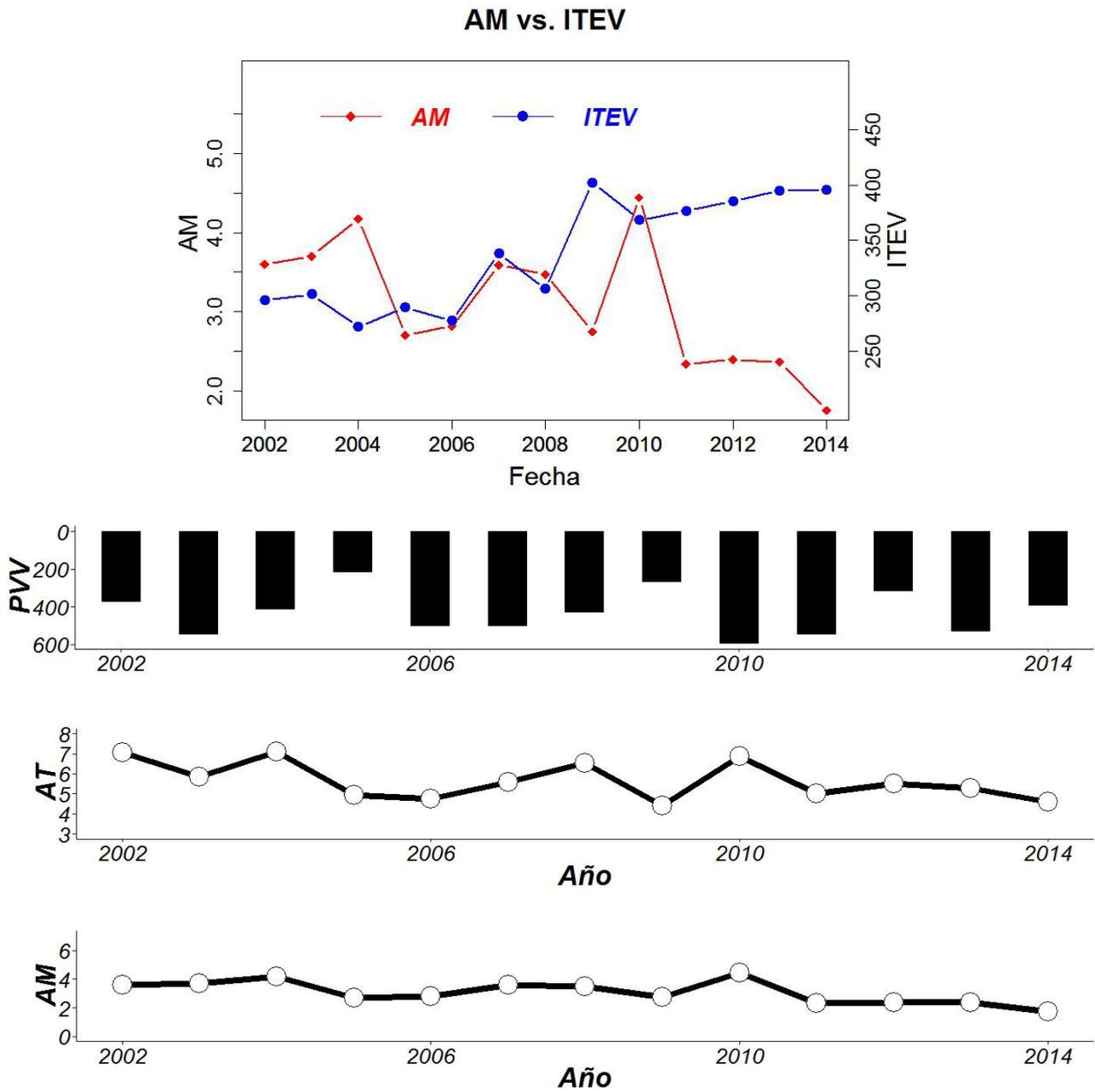


Figura 38. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en F. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

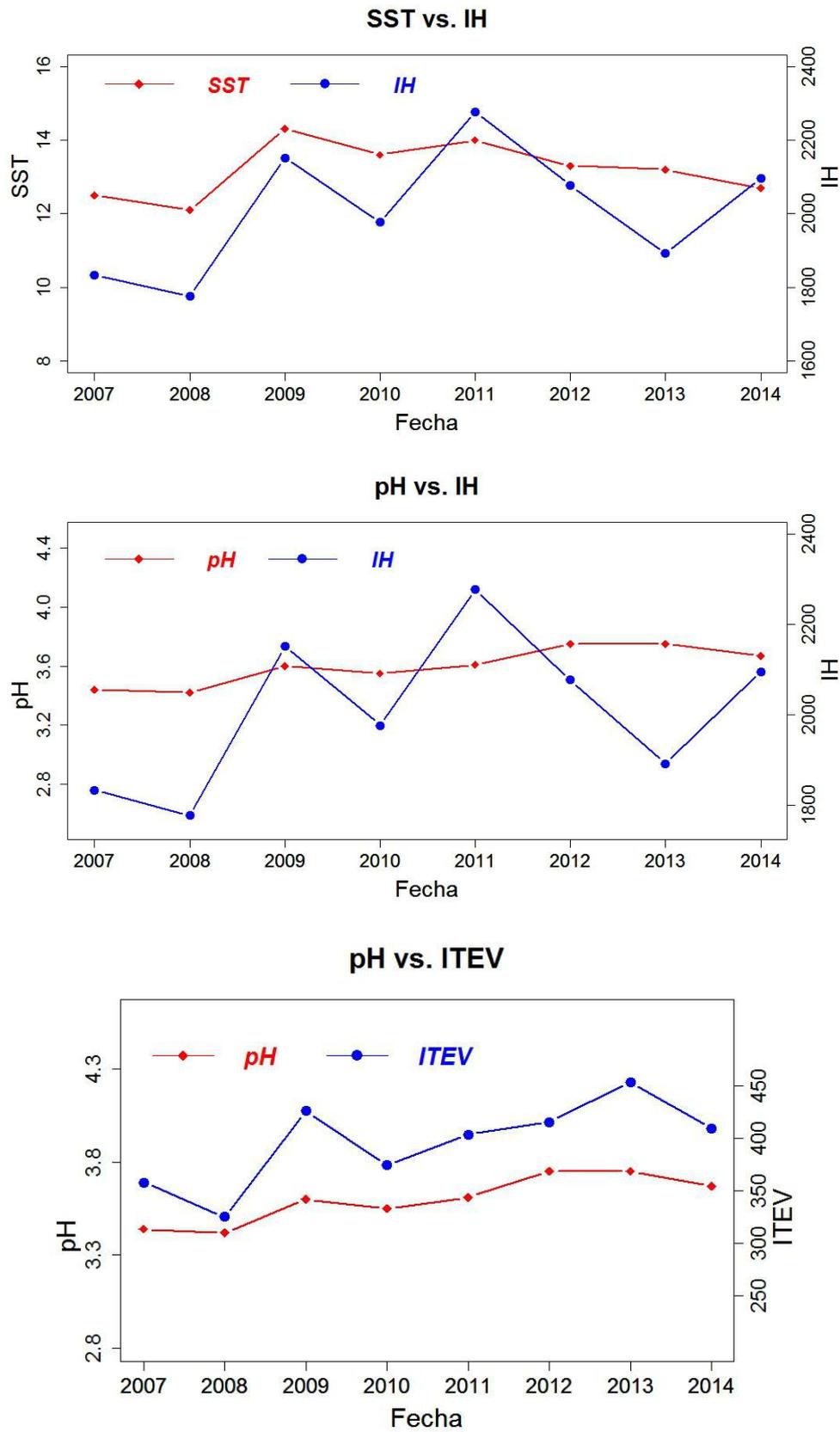


Figura 39. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMI. SST (Baumè), ITEV (°C)

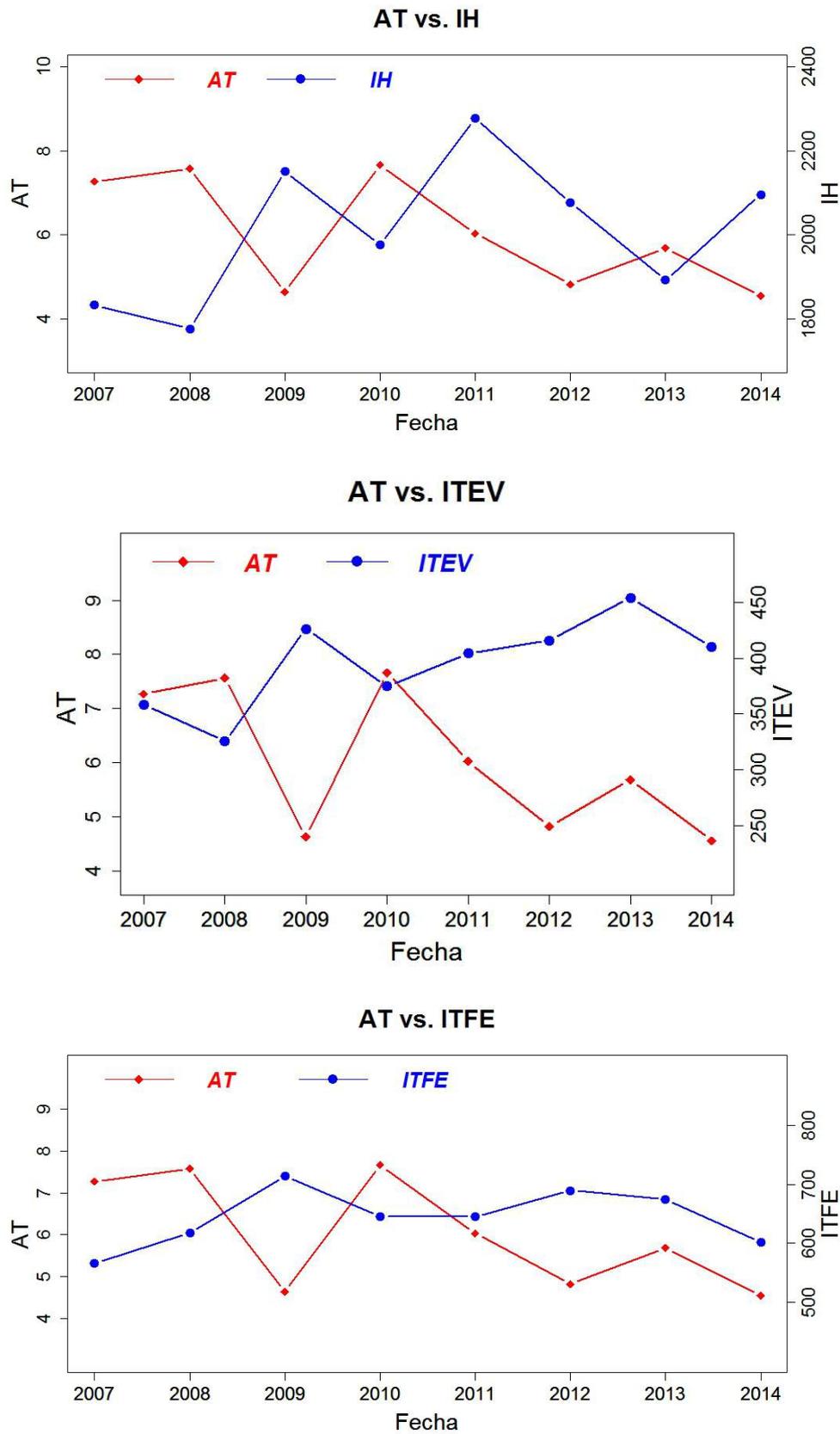


Figura 40. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

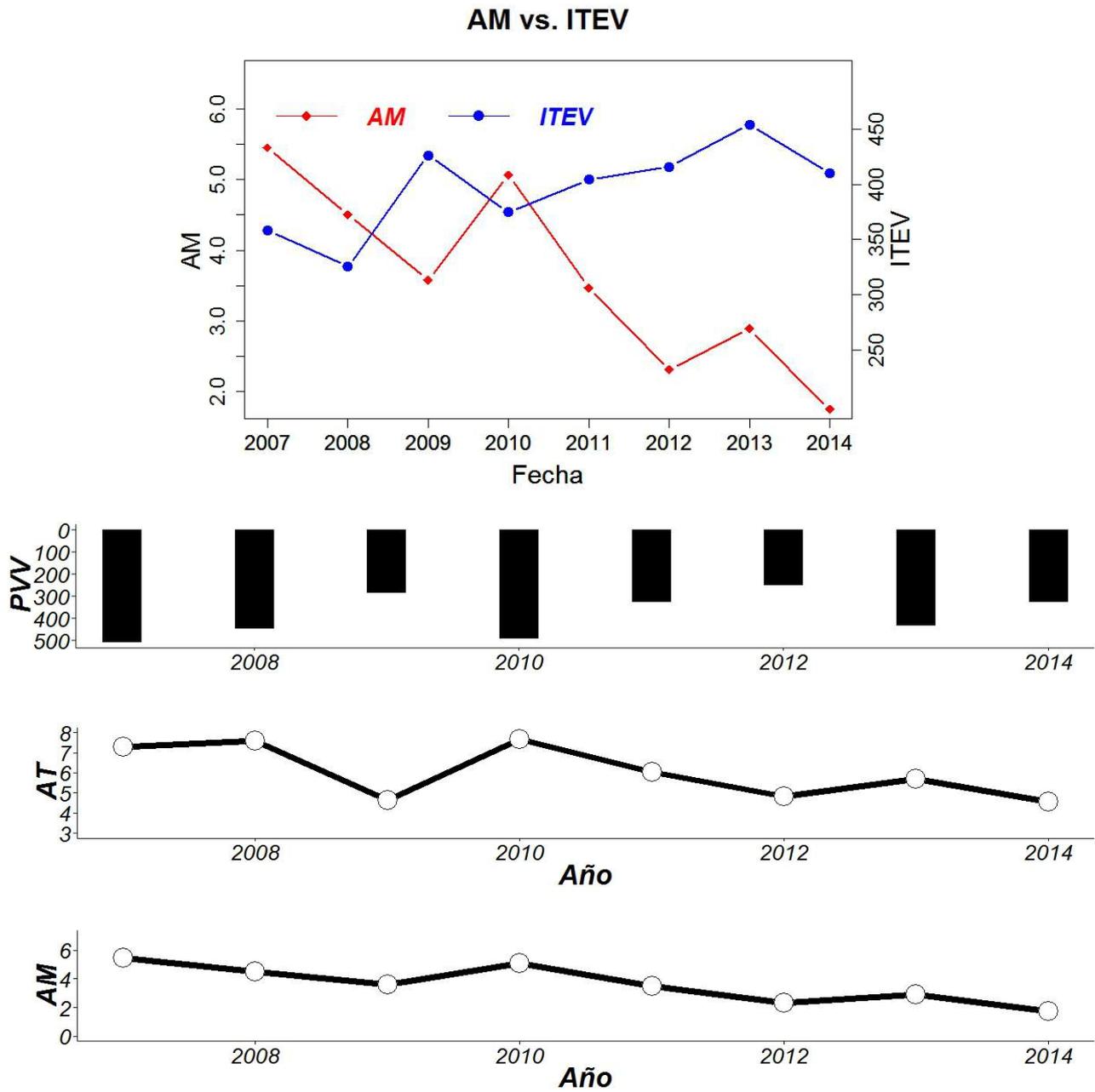


Figura 41. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

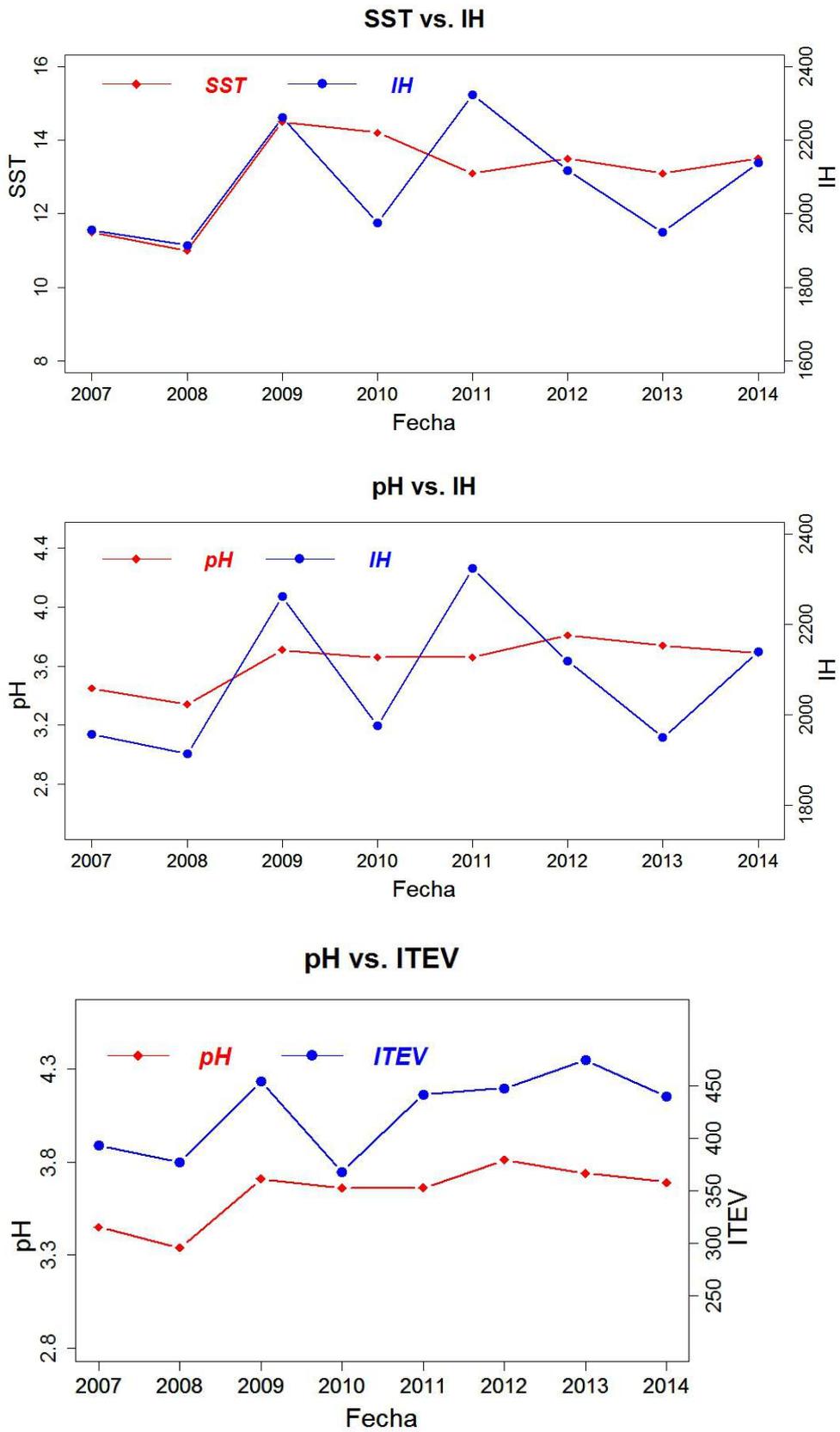


Figura 42. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMII. SST (Baumè), ITEV (°C)

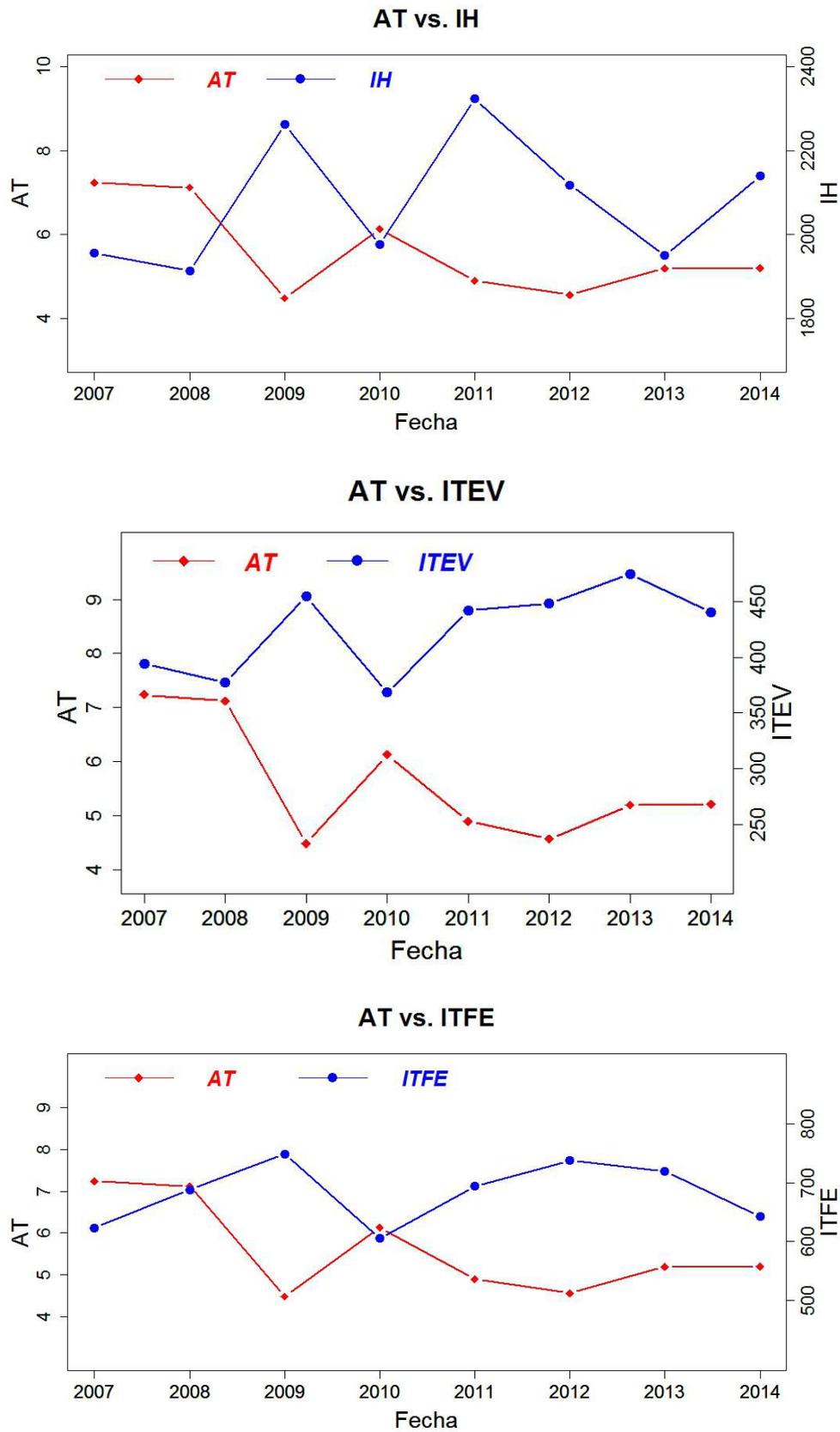


Figura 43. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMII. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

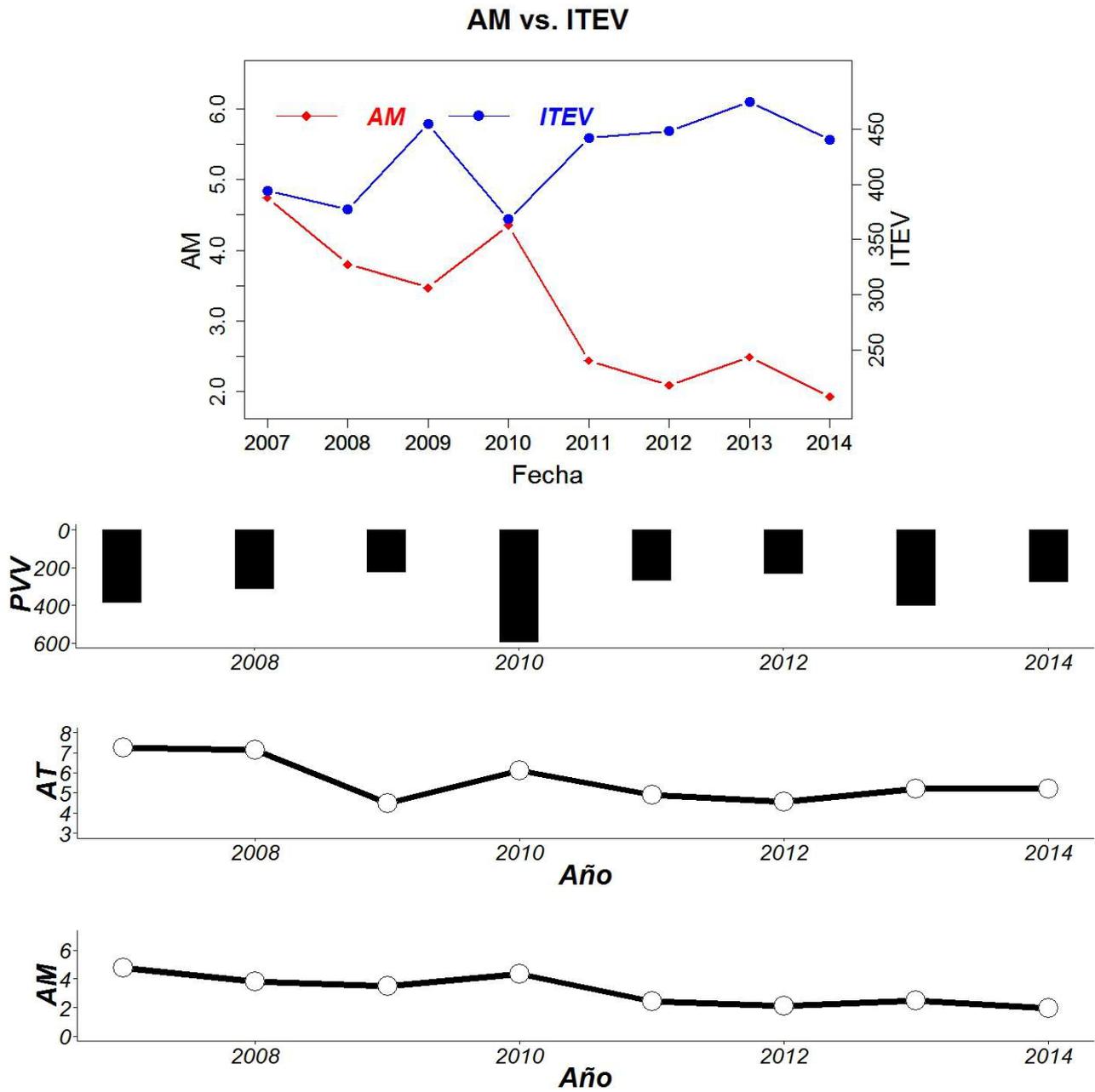


Figura 44. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en GMII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

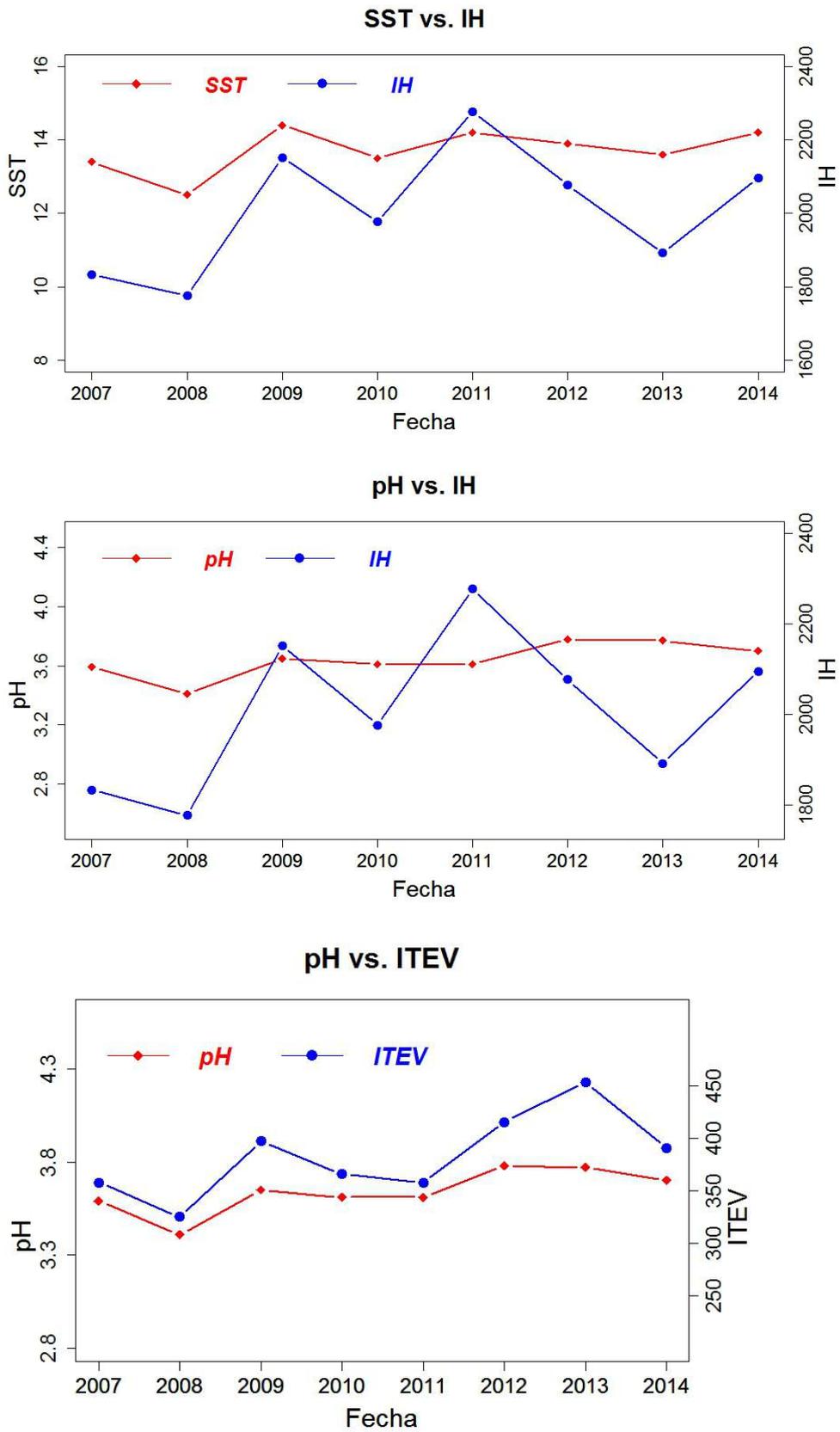


Figura 45. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHI. SST (Baumè), ITEV (°C)

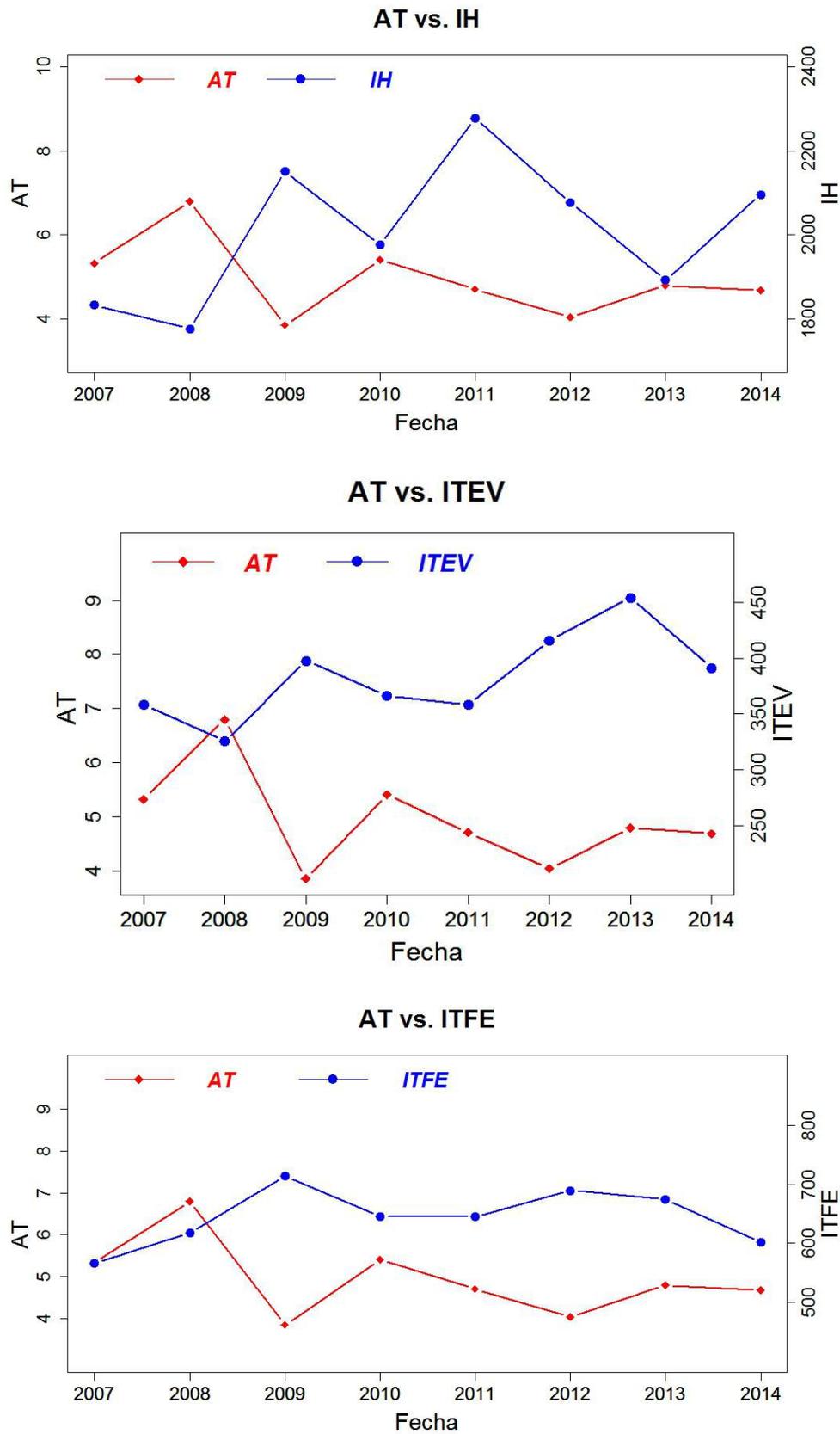


Figura 46. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

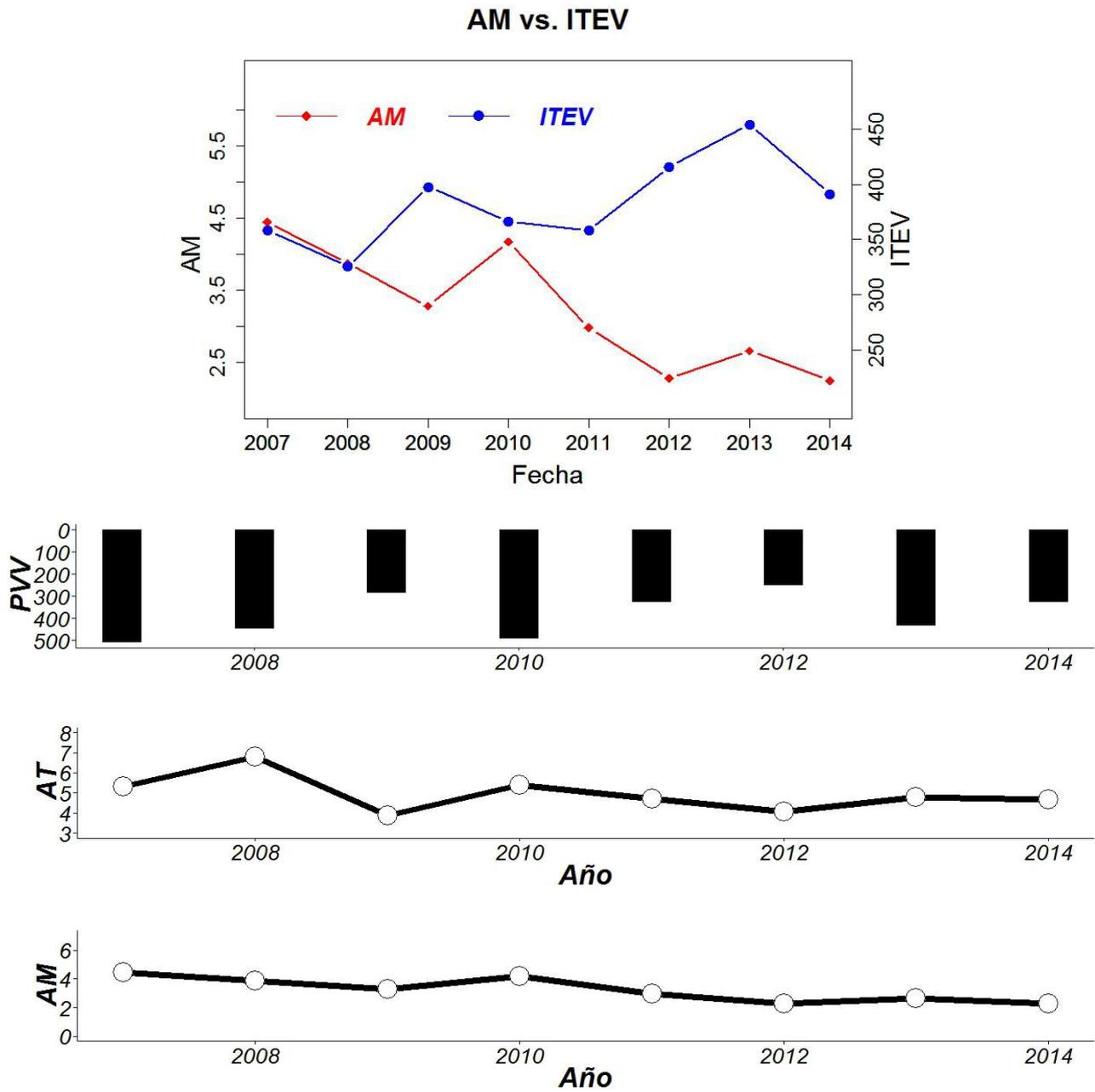


Figura 47. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVW (mm)

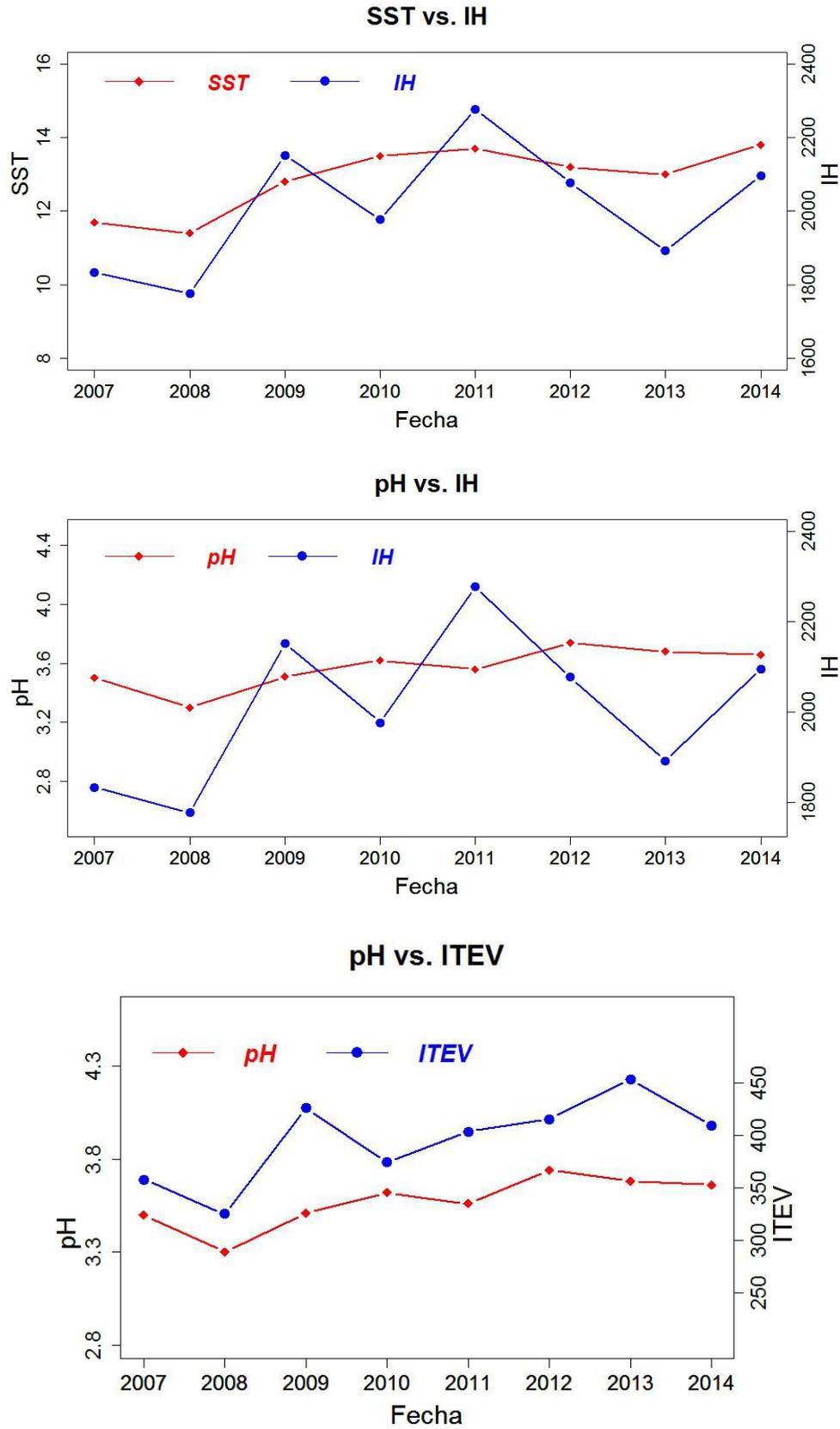


Figura 48. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHII. SST (Baumè), ITEV (°C)

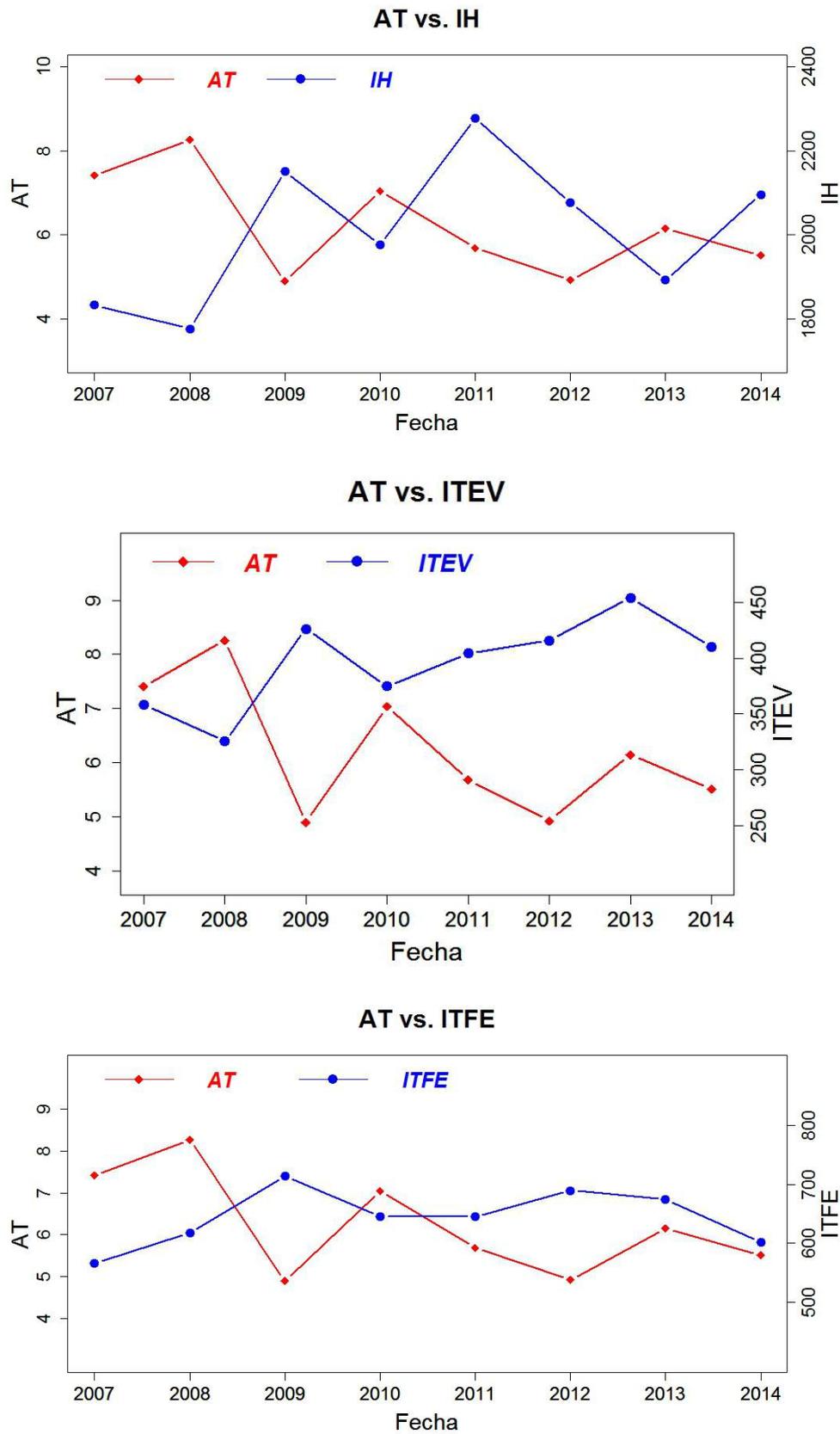


Figura 49. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHII. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

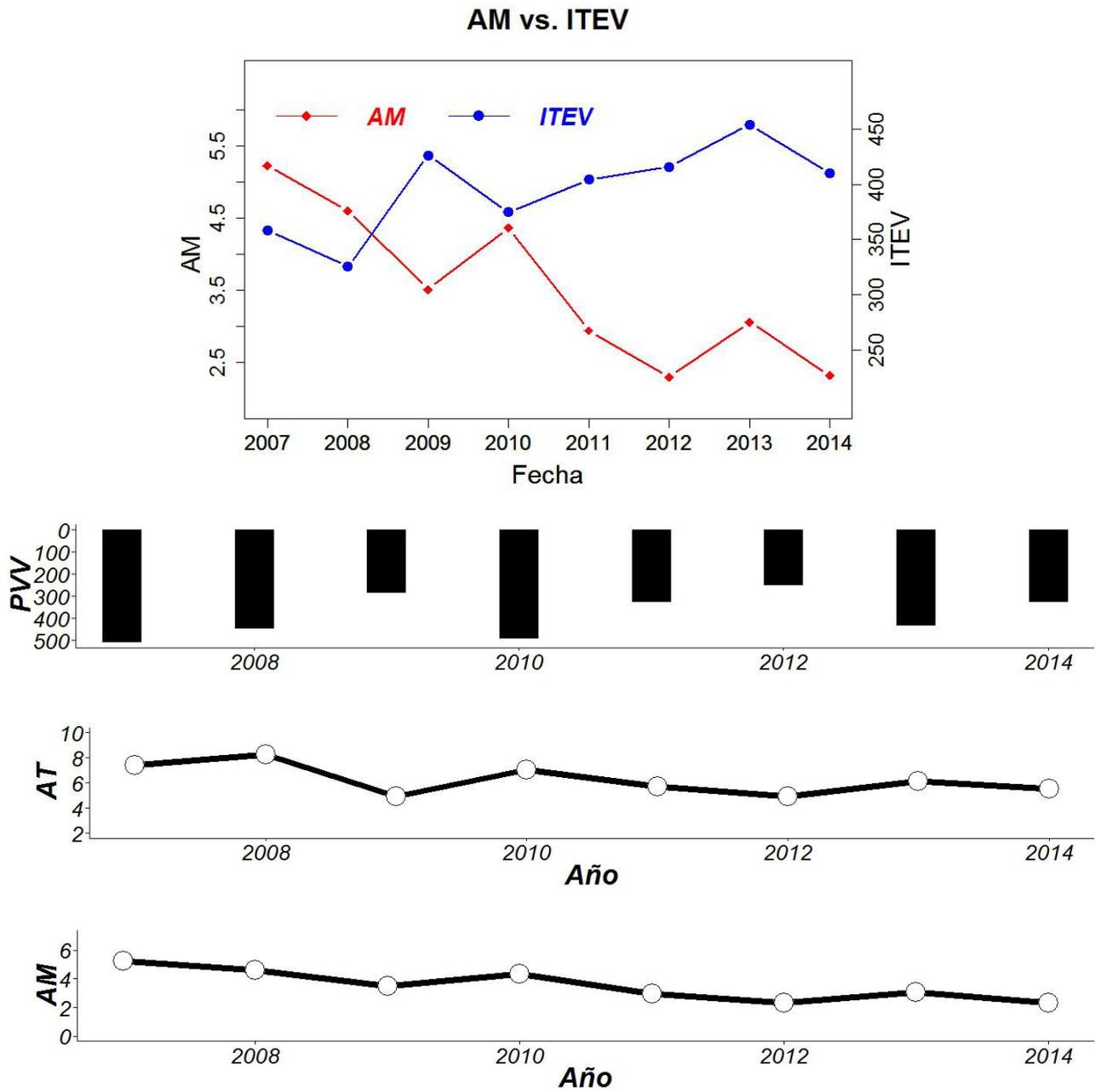


Figura 50. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en LHII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

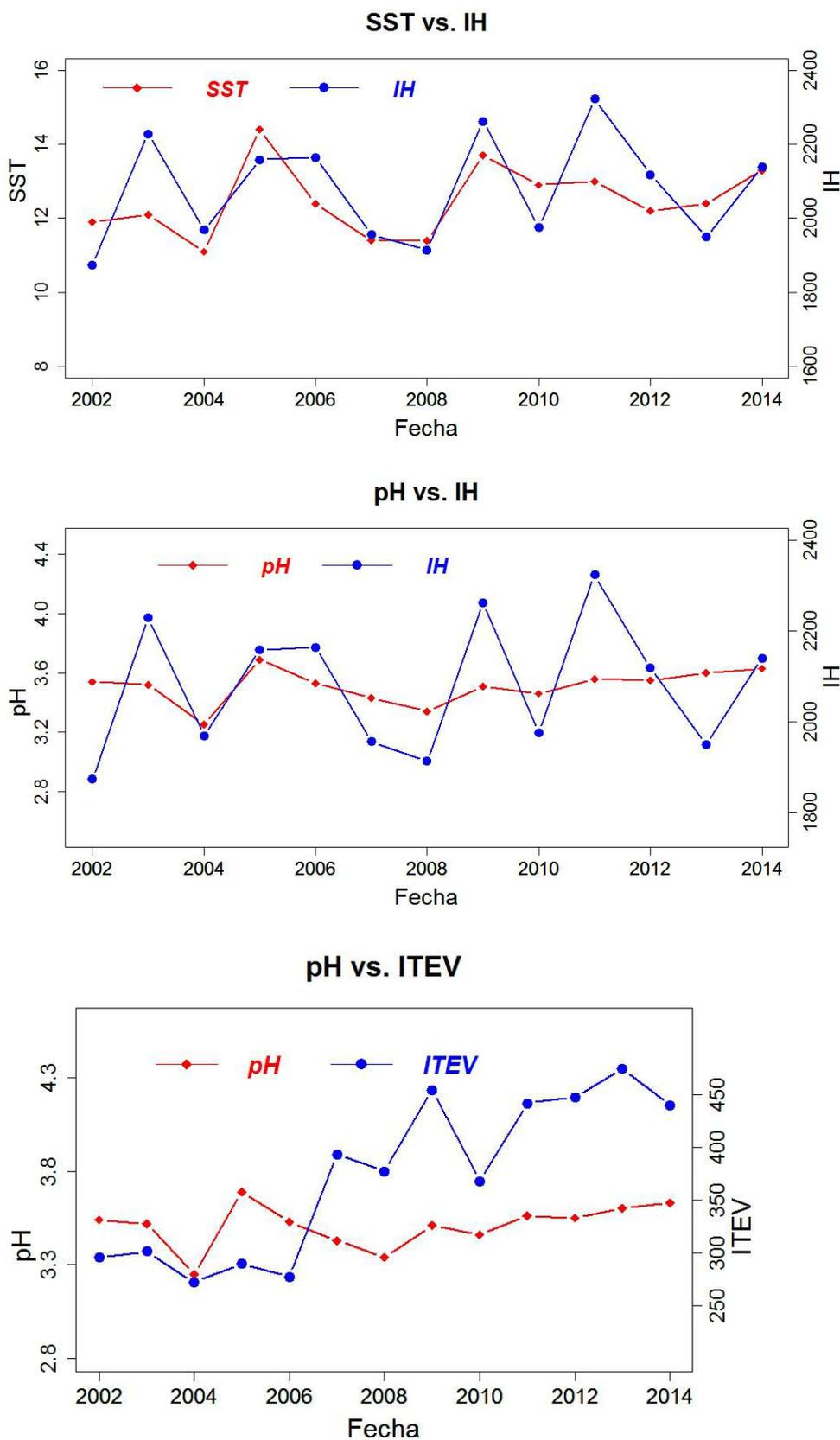


Figura 51. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en M. SST (Baumè), ITEV (°C)

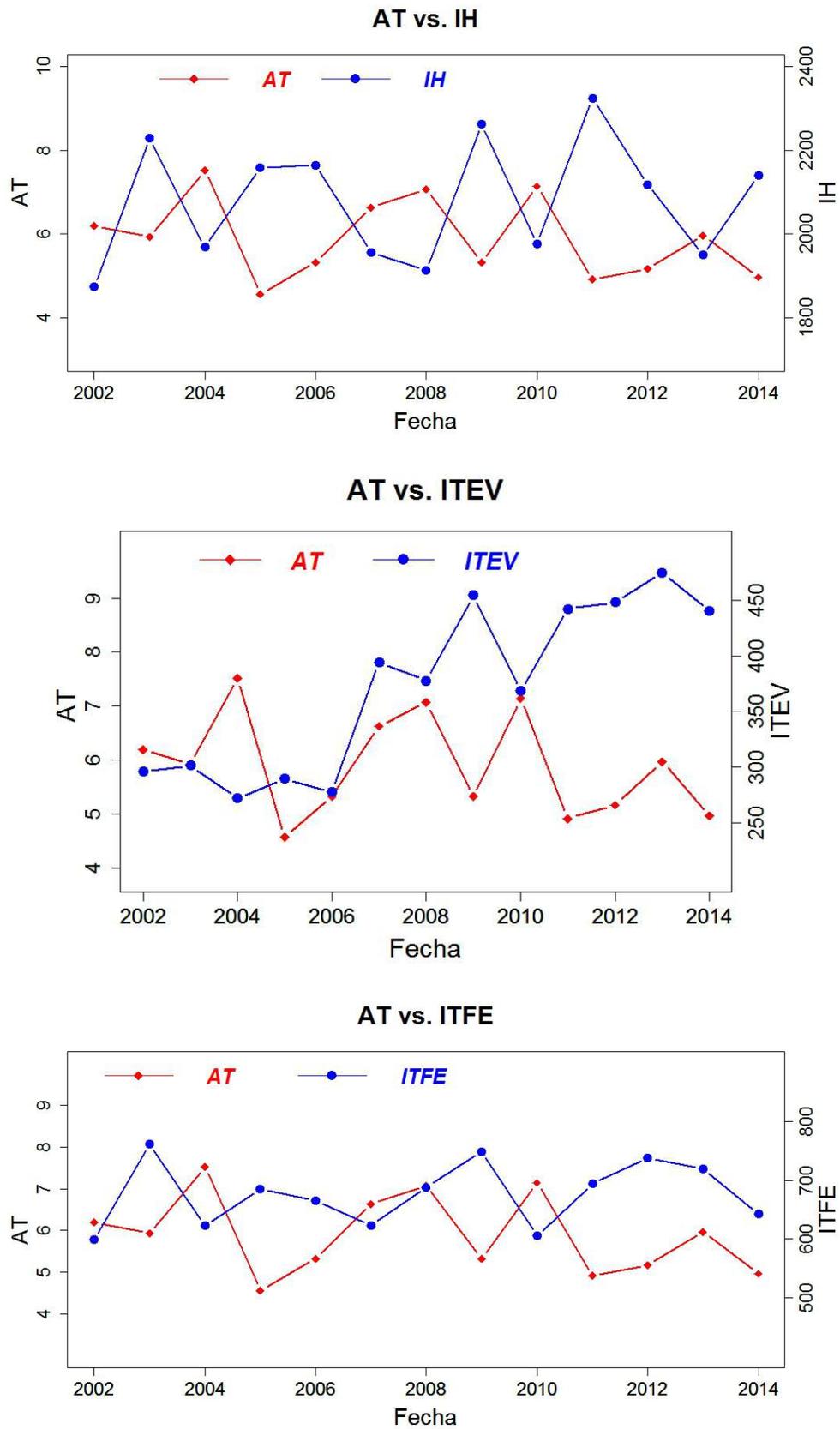


Figura 52. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en M. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

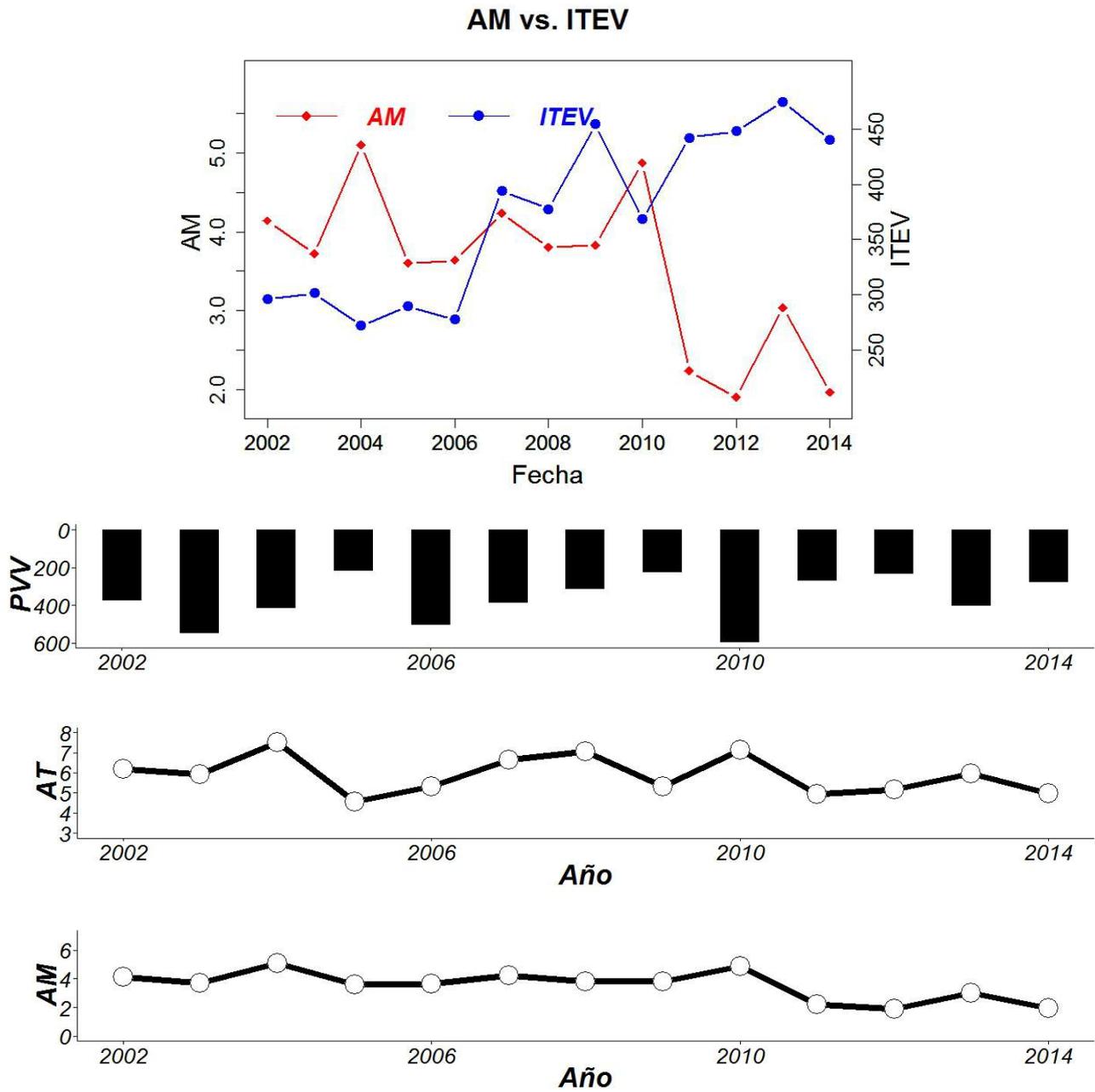


Figura 53. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en M. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

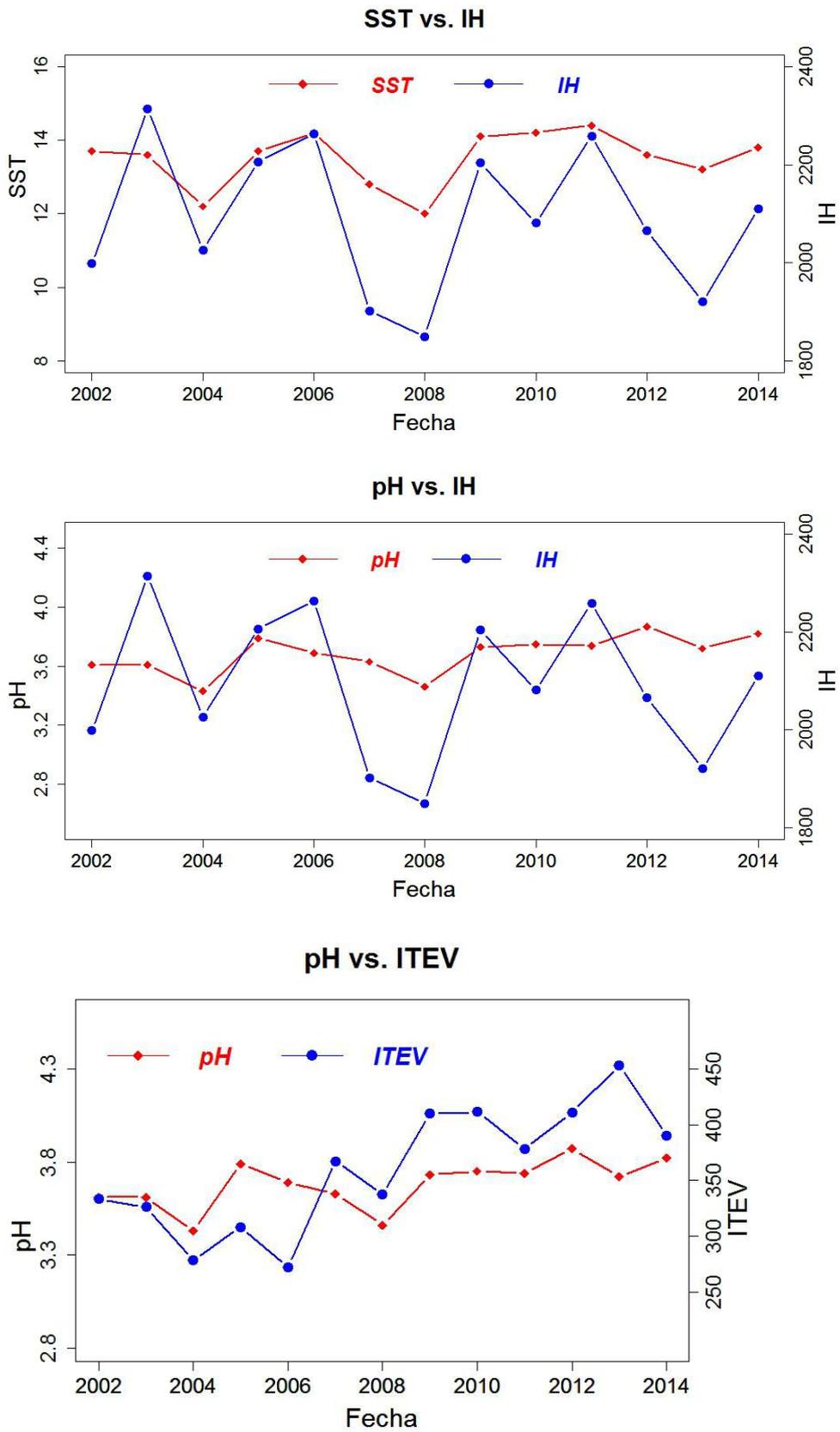


Figura 54. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OD. SST (Baumè), ITEV (°C)

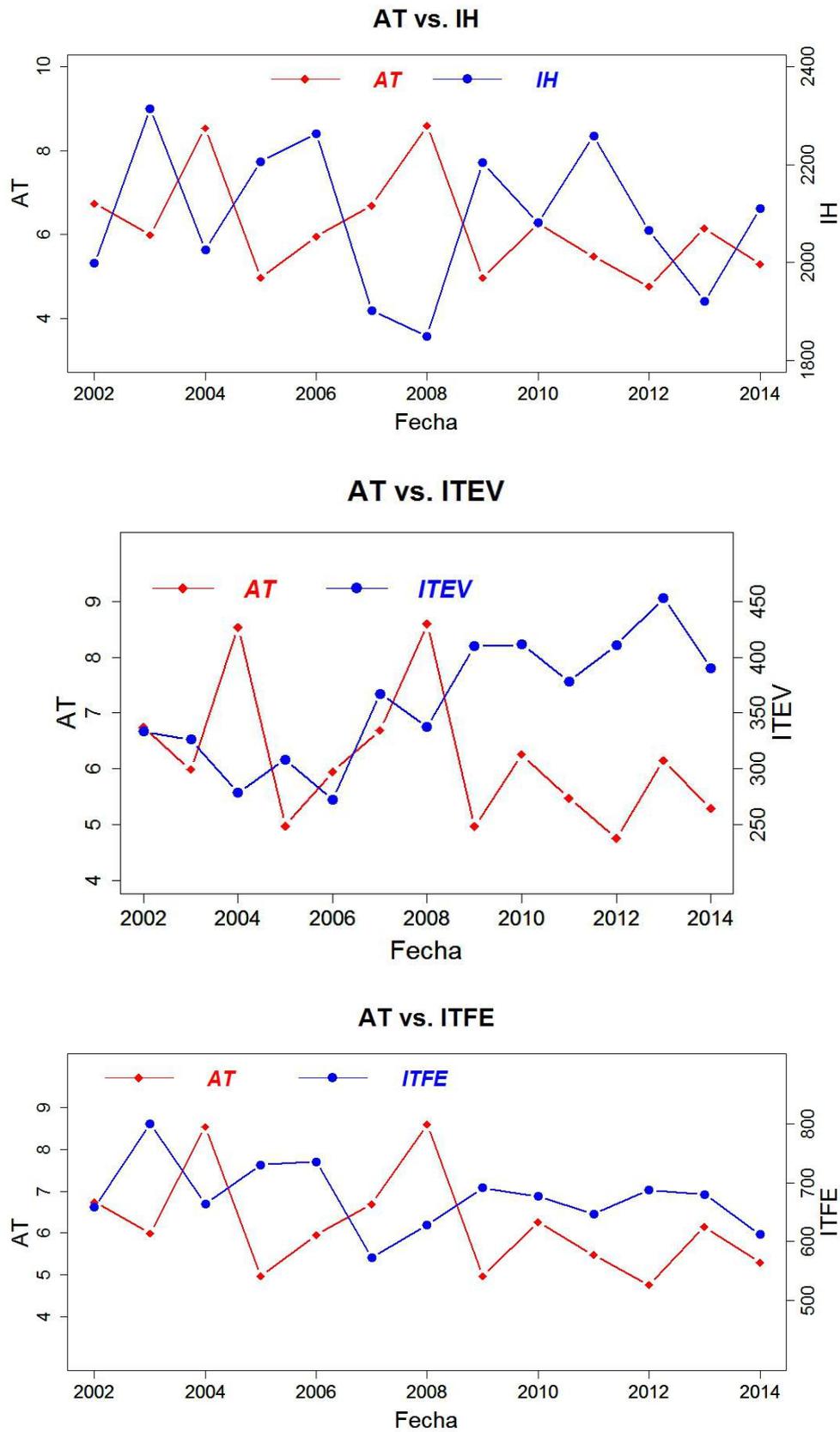


Figura 55. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OD. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

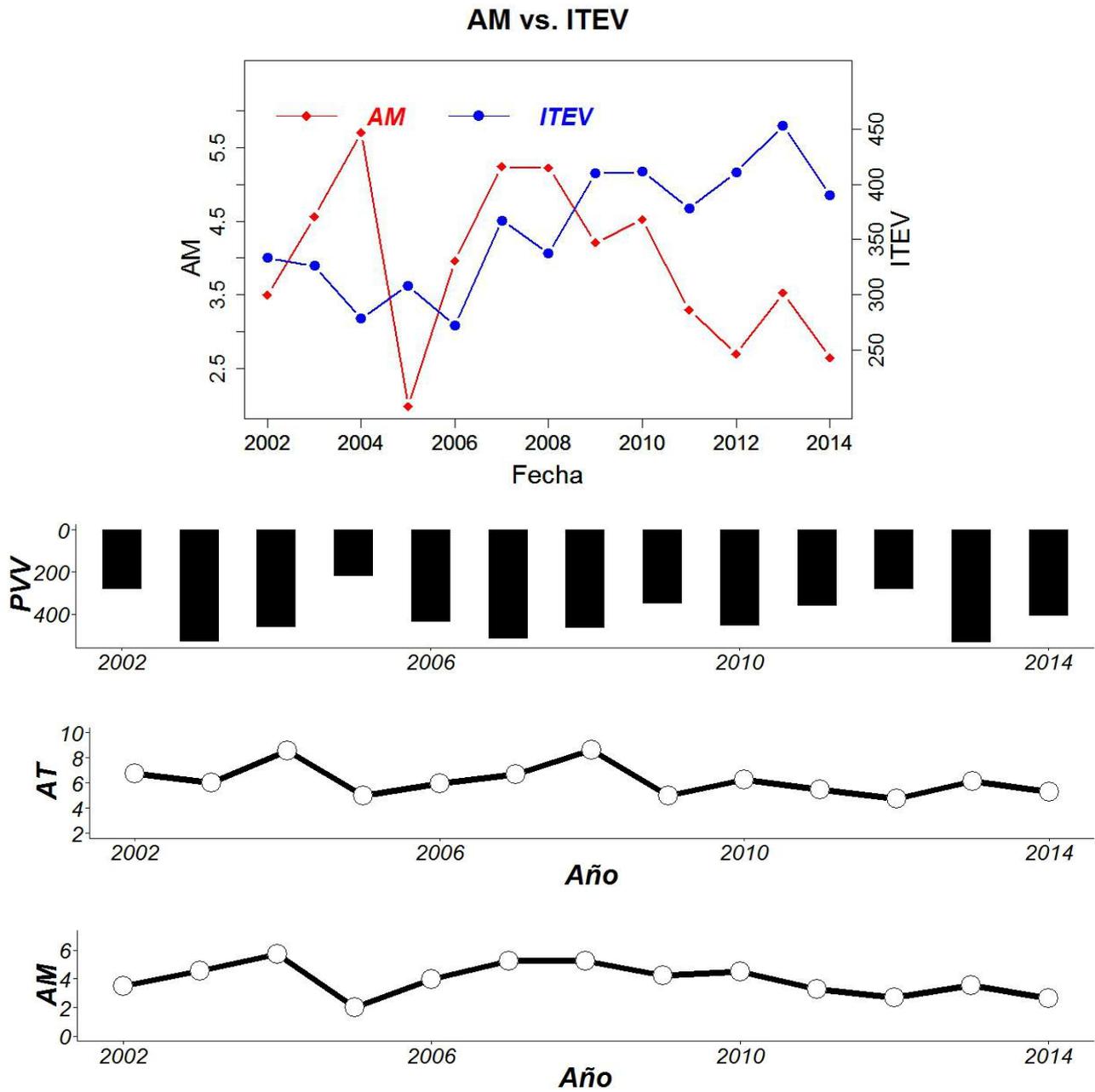


Figura 56. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OD. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVW (mm)

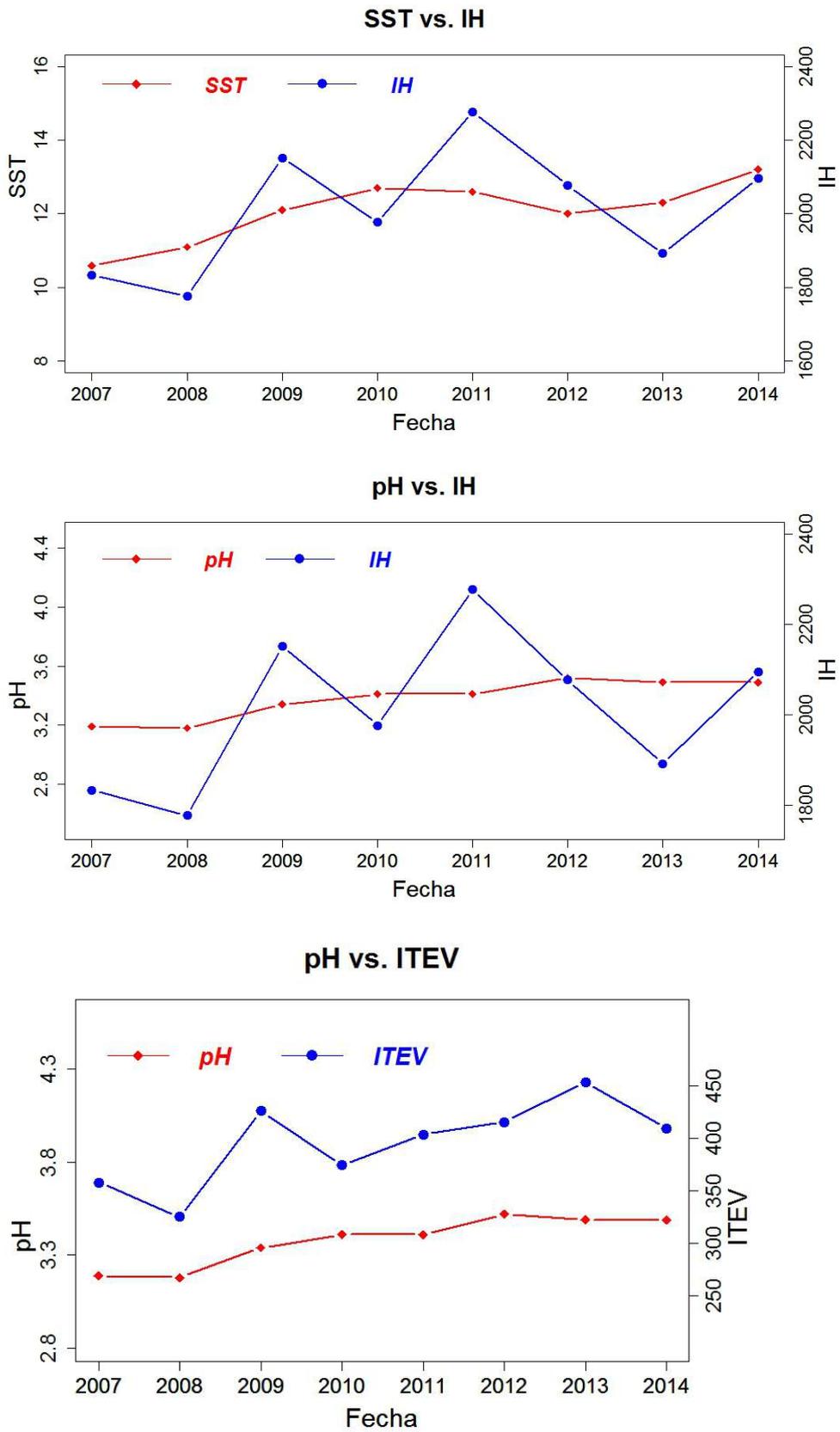


Figura 57. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OR. SST (Baumè), ITEV (°C)

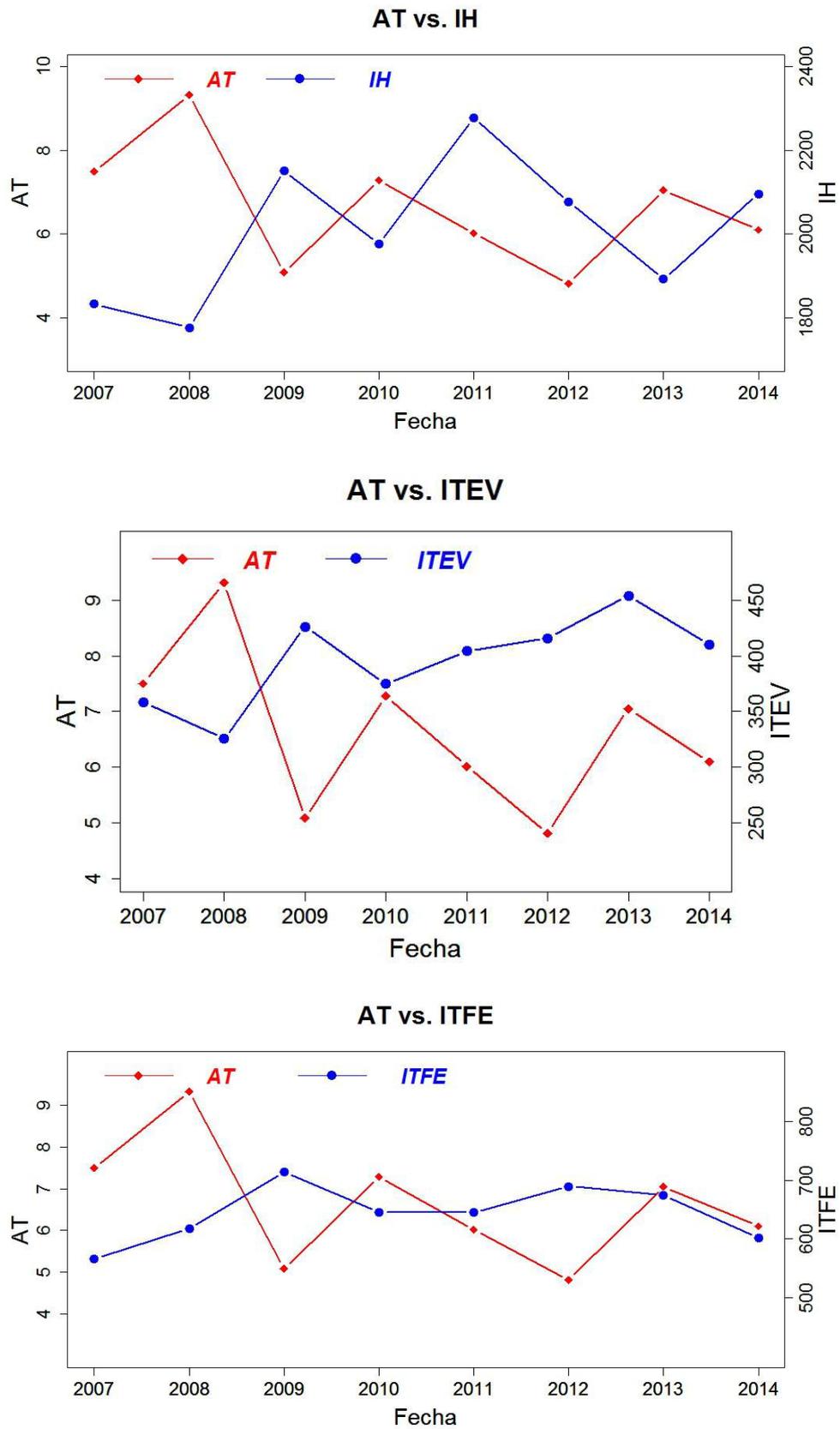


Figura 58. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OR. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

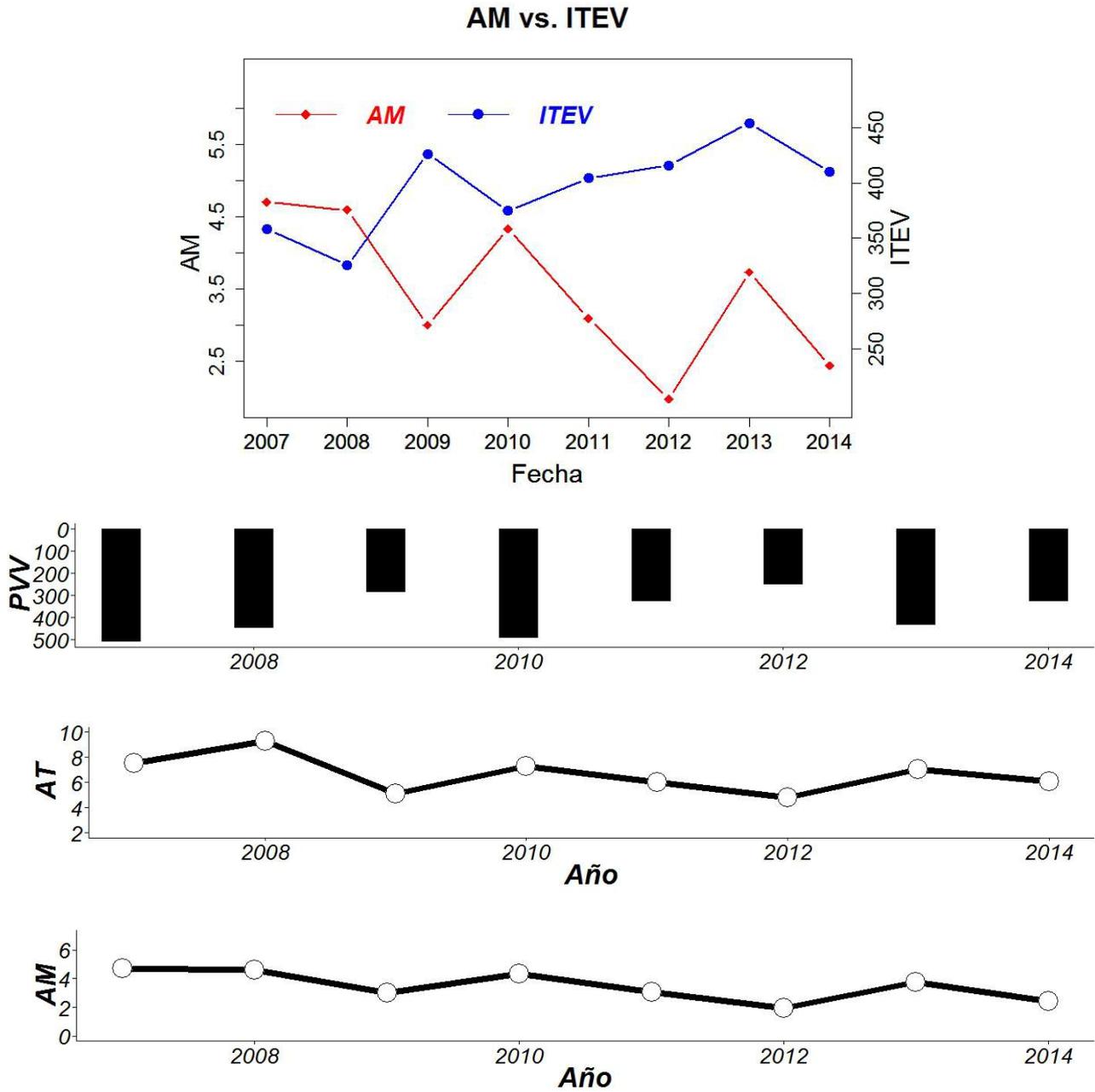


Figura 59. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en OR. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

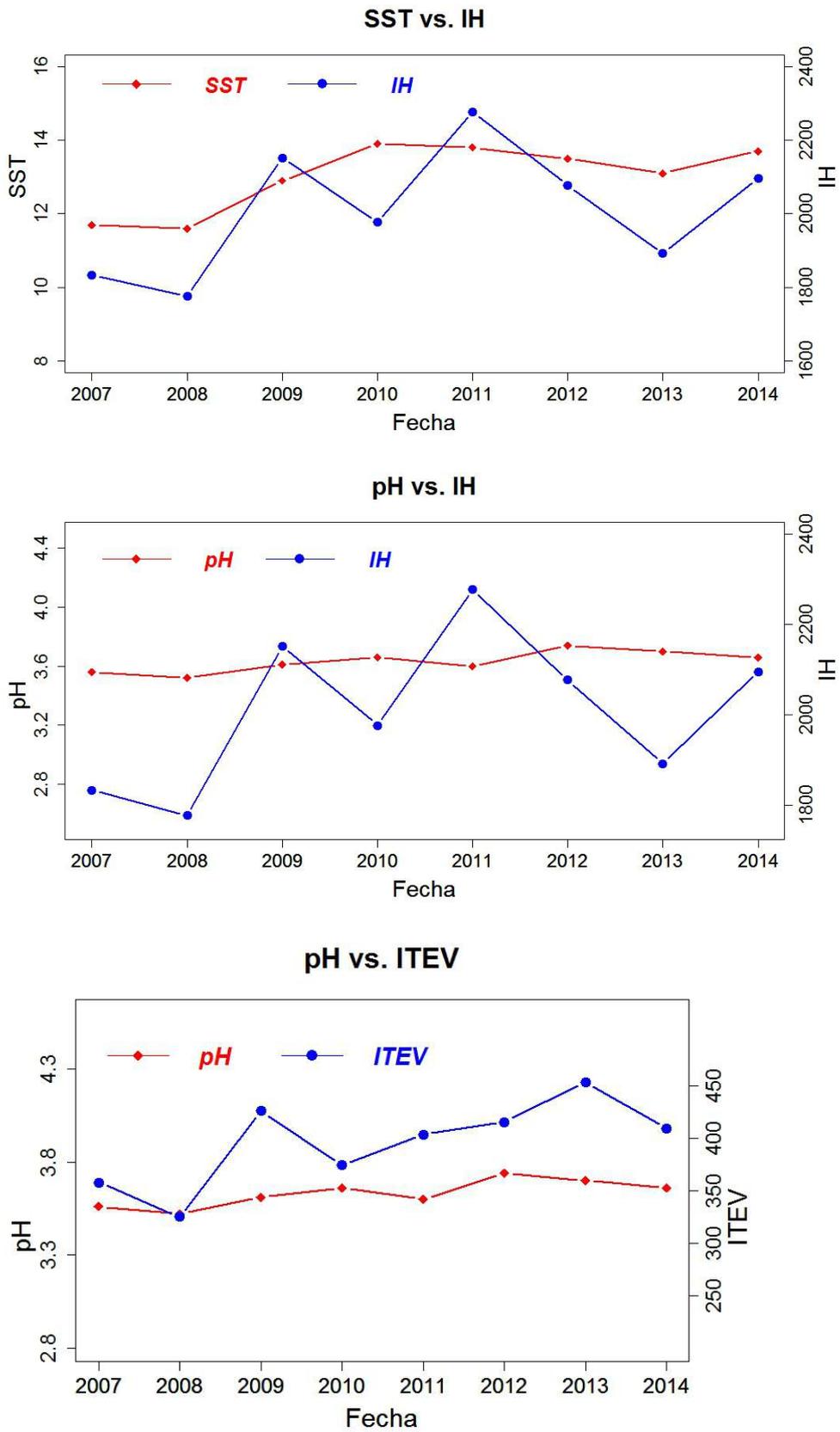


Figura 60. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en Pdd. SST (Baumè), ITEV (°C)

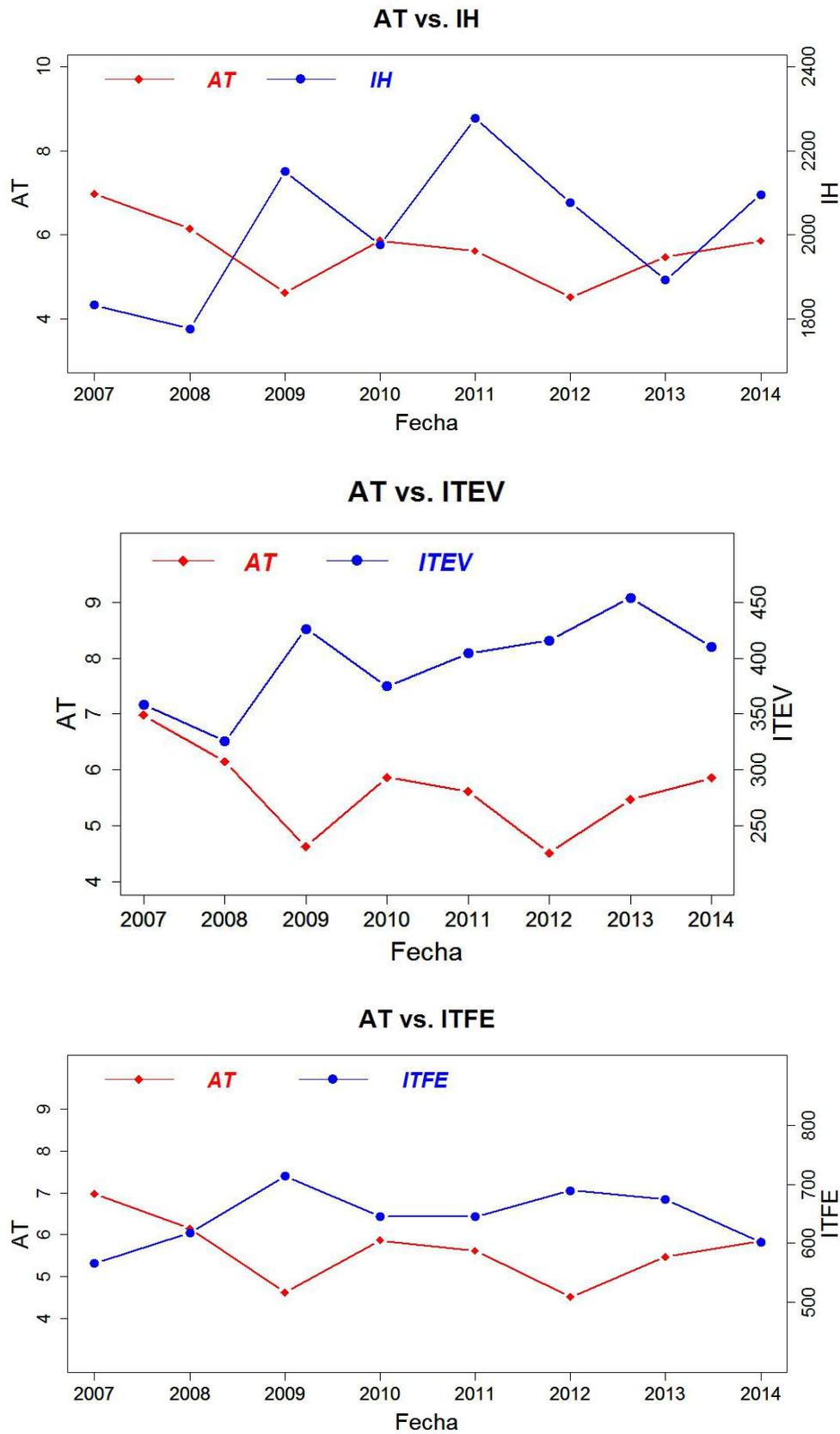


Figura 61. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PdD. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

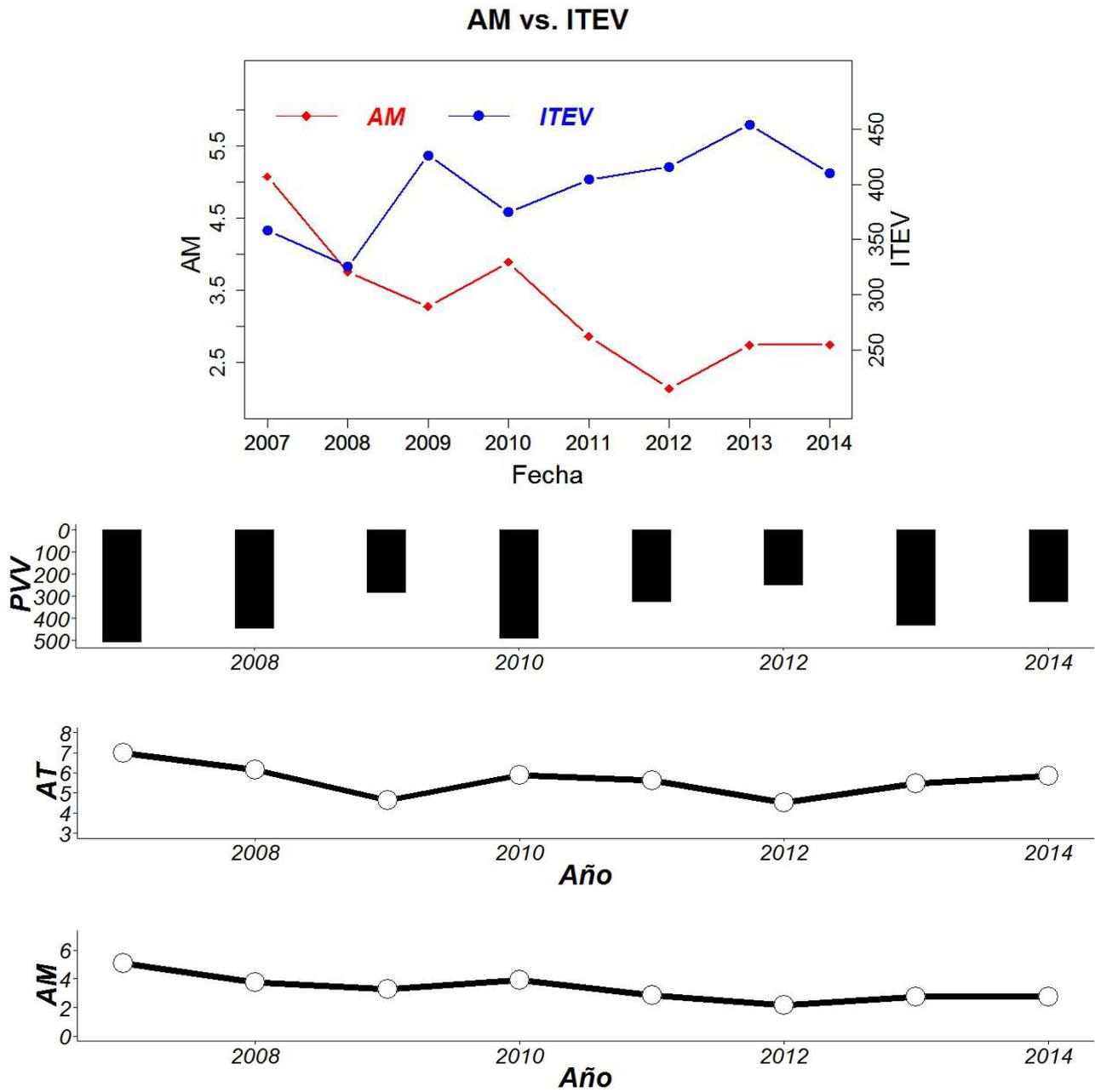


Figura 62. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PdD. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

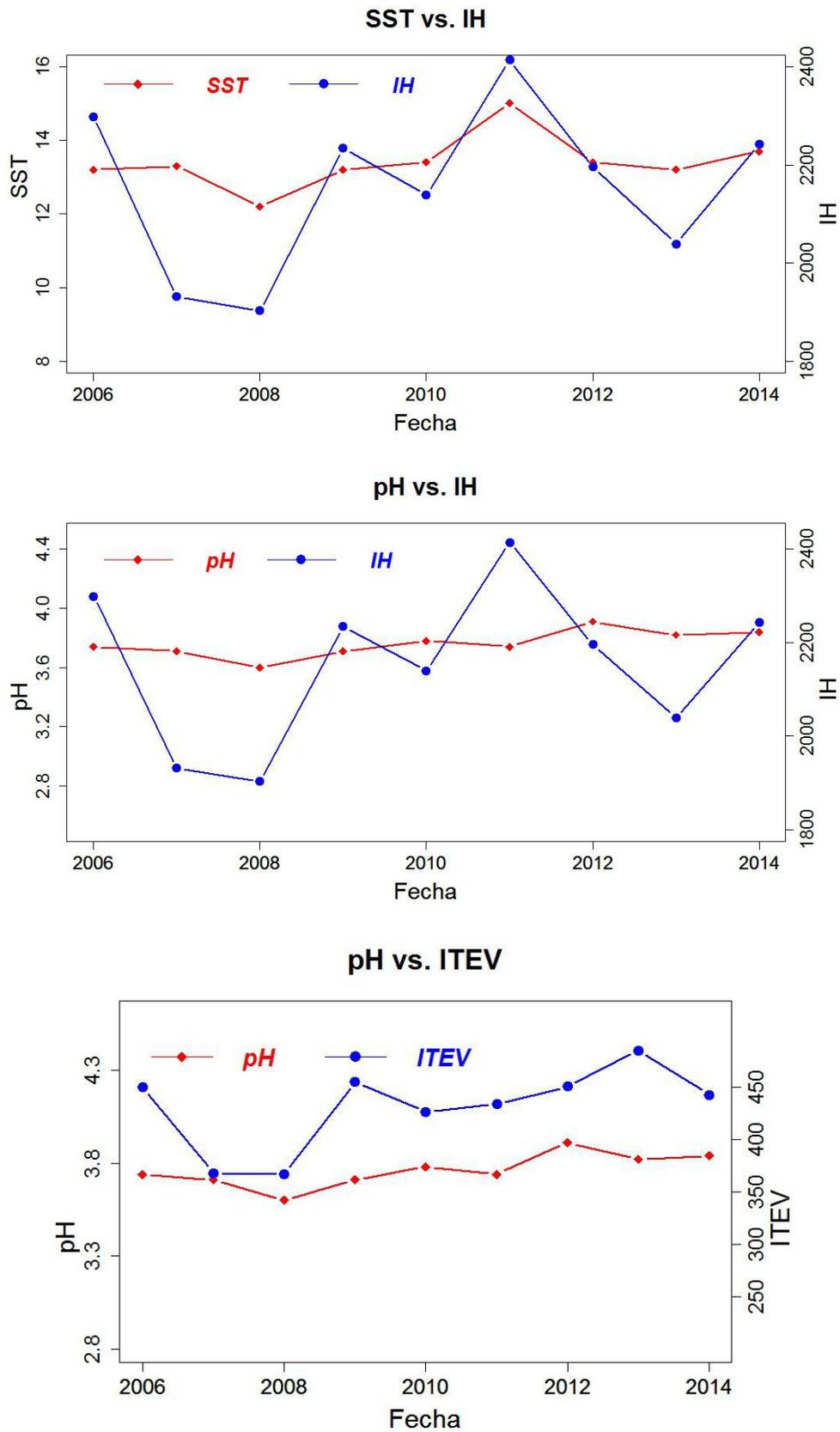


Figura 63. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. SST (Baumè), ITEV (°C)

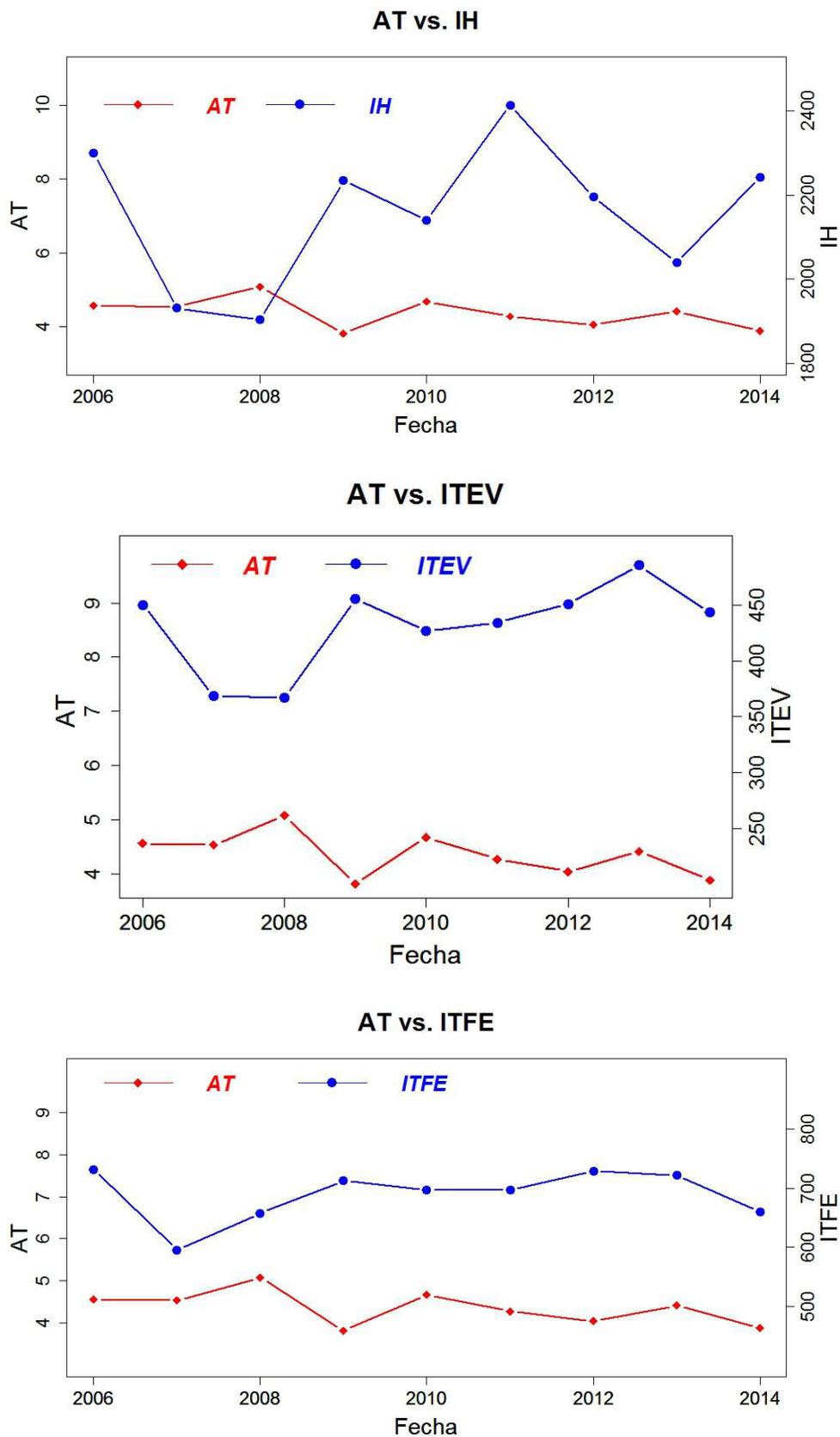


Figura 64. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

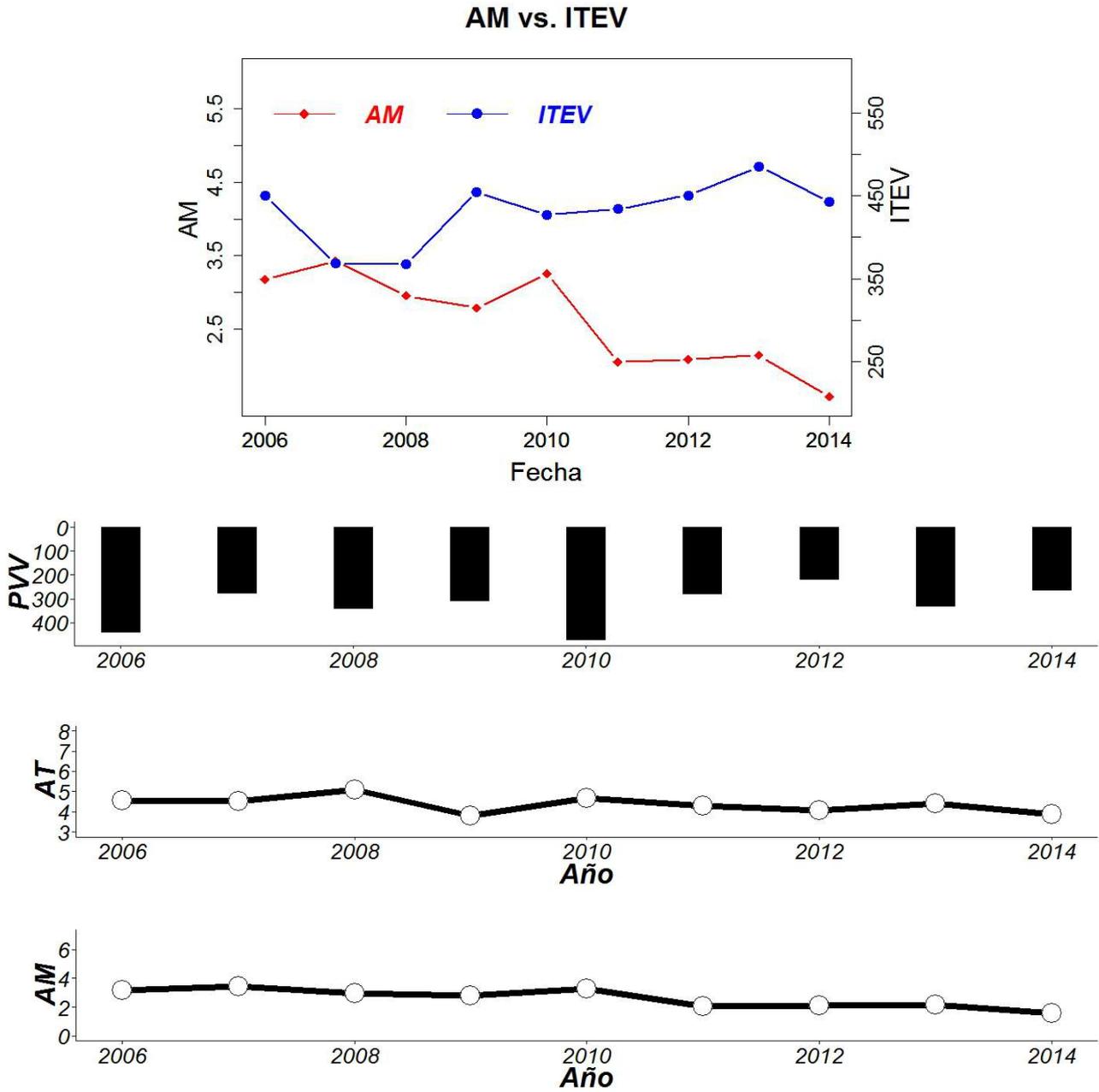


Figura 65. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)v

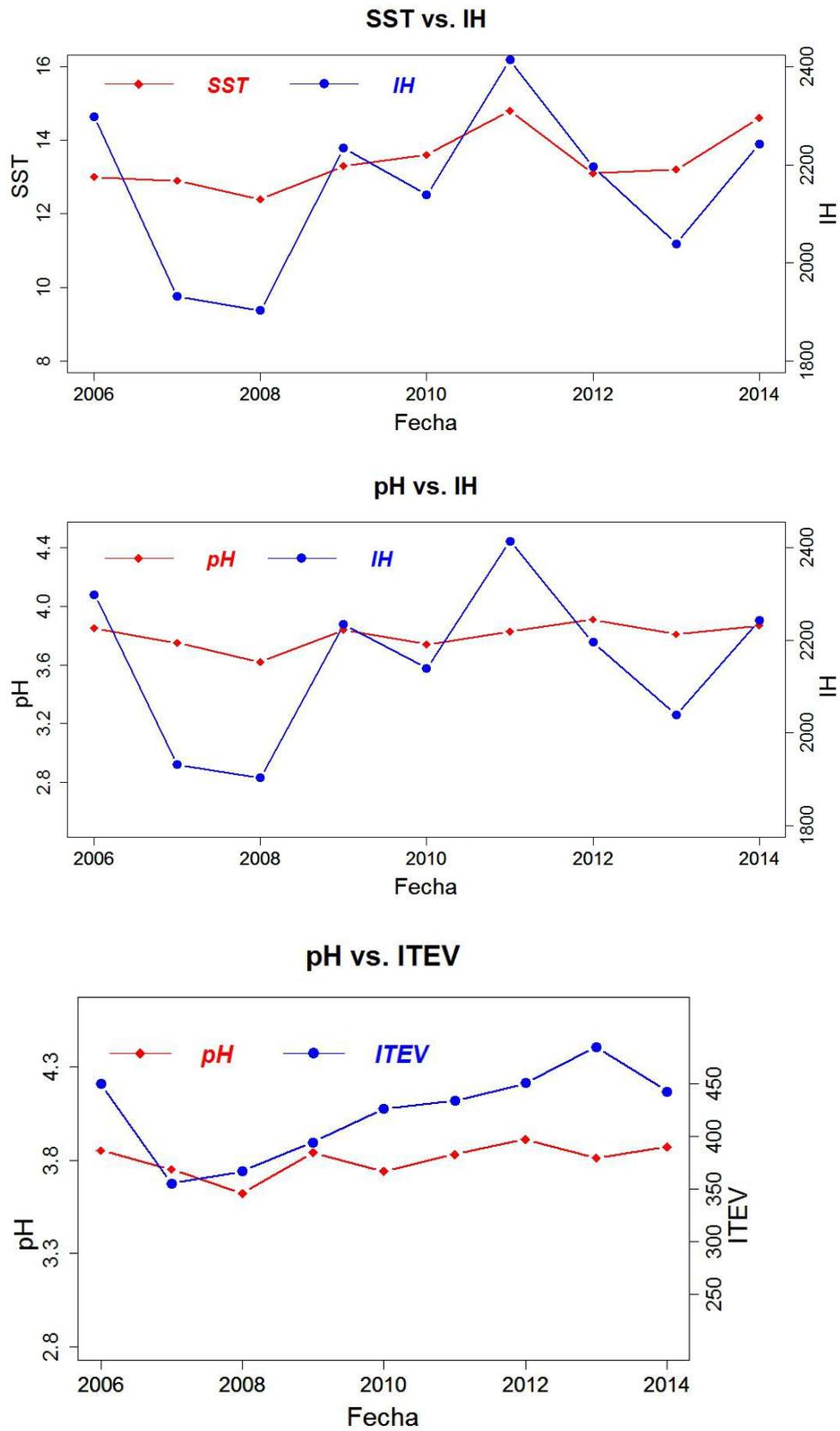


Figura 66. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. SST (Baumè), ITEV (°C)

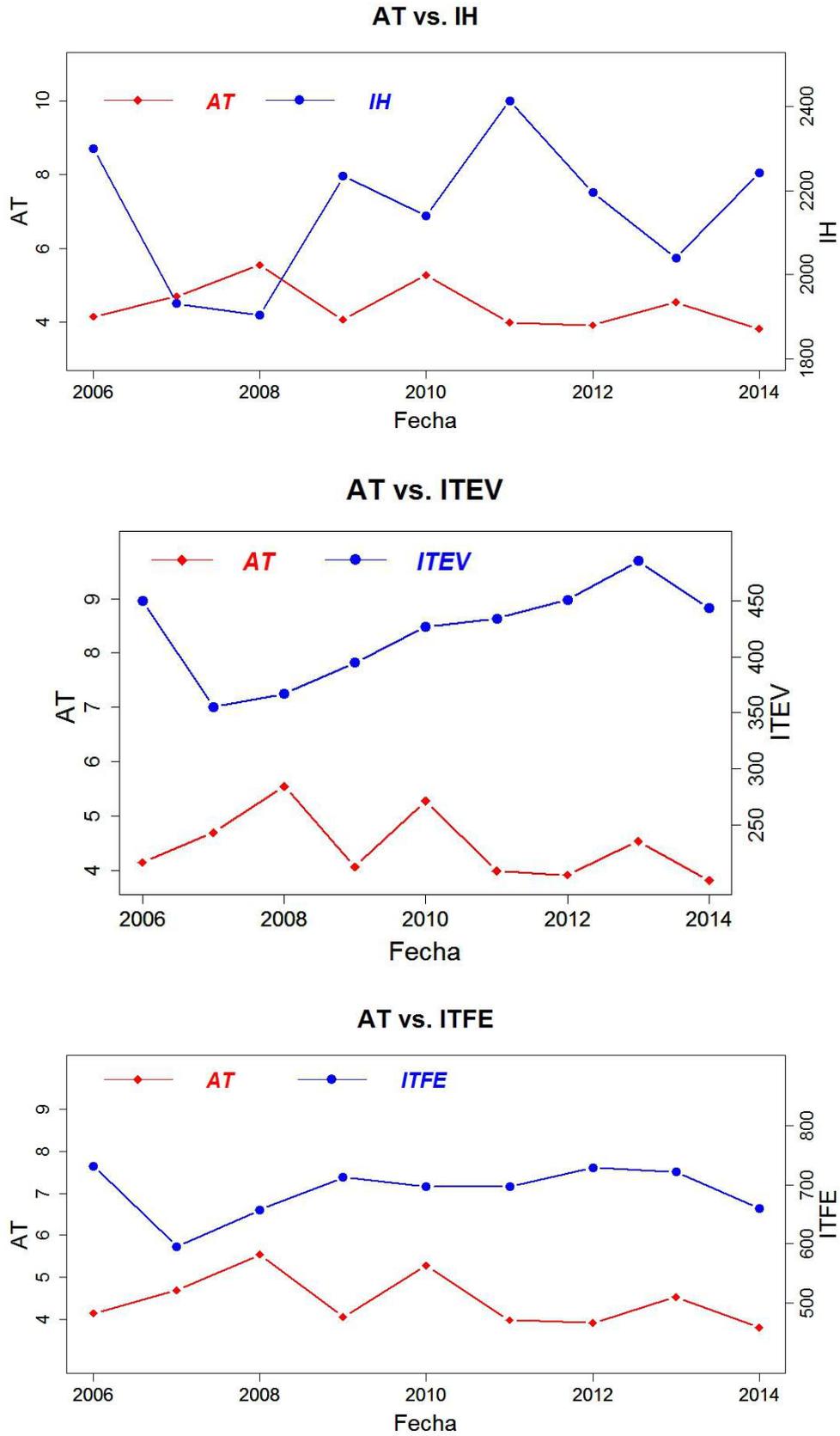


Figura 67. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

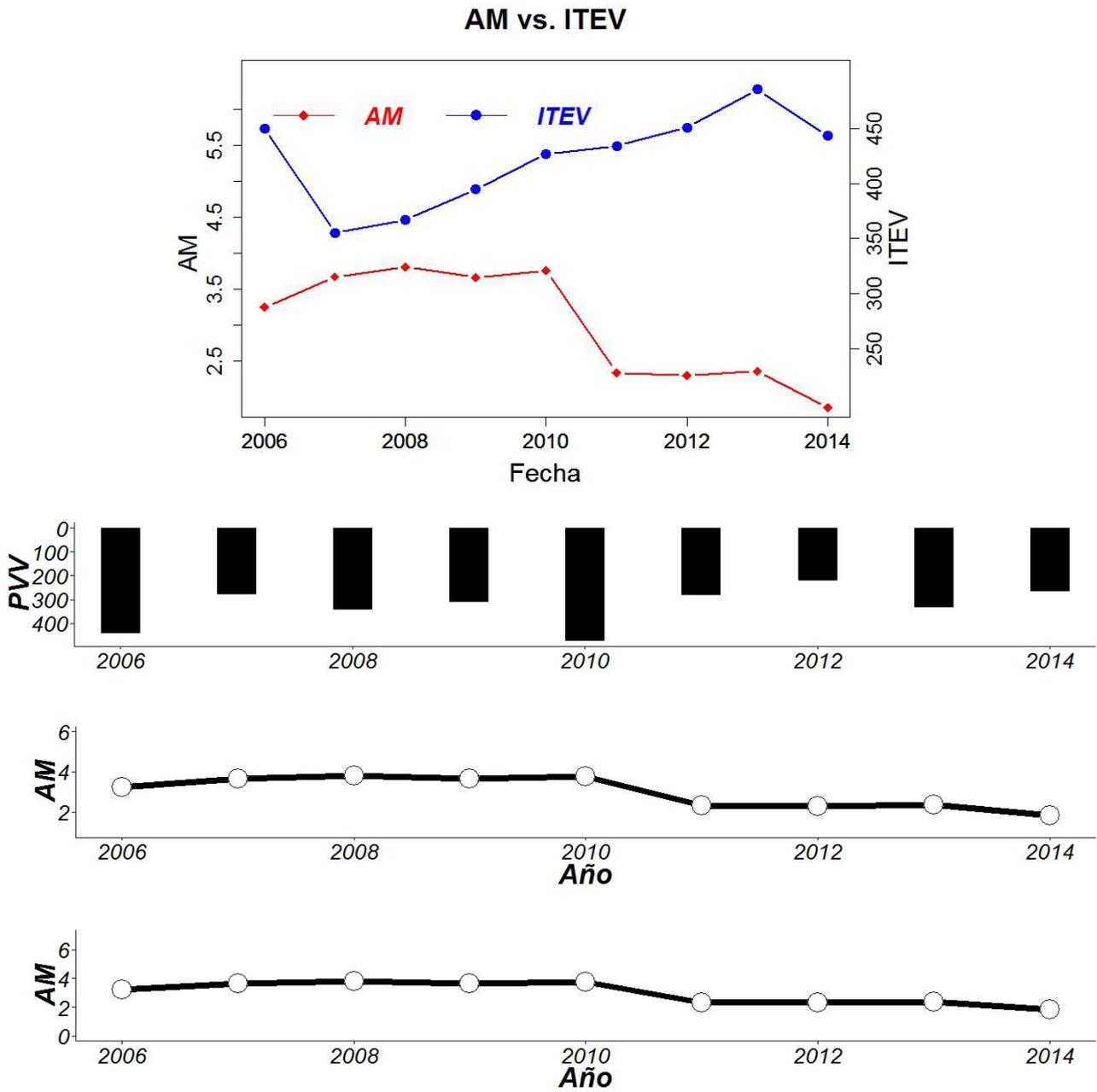


Figura 68. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PFII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

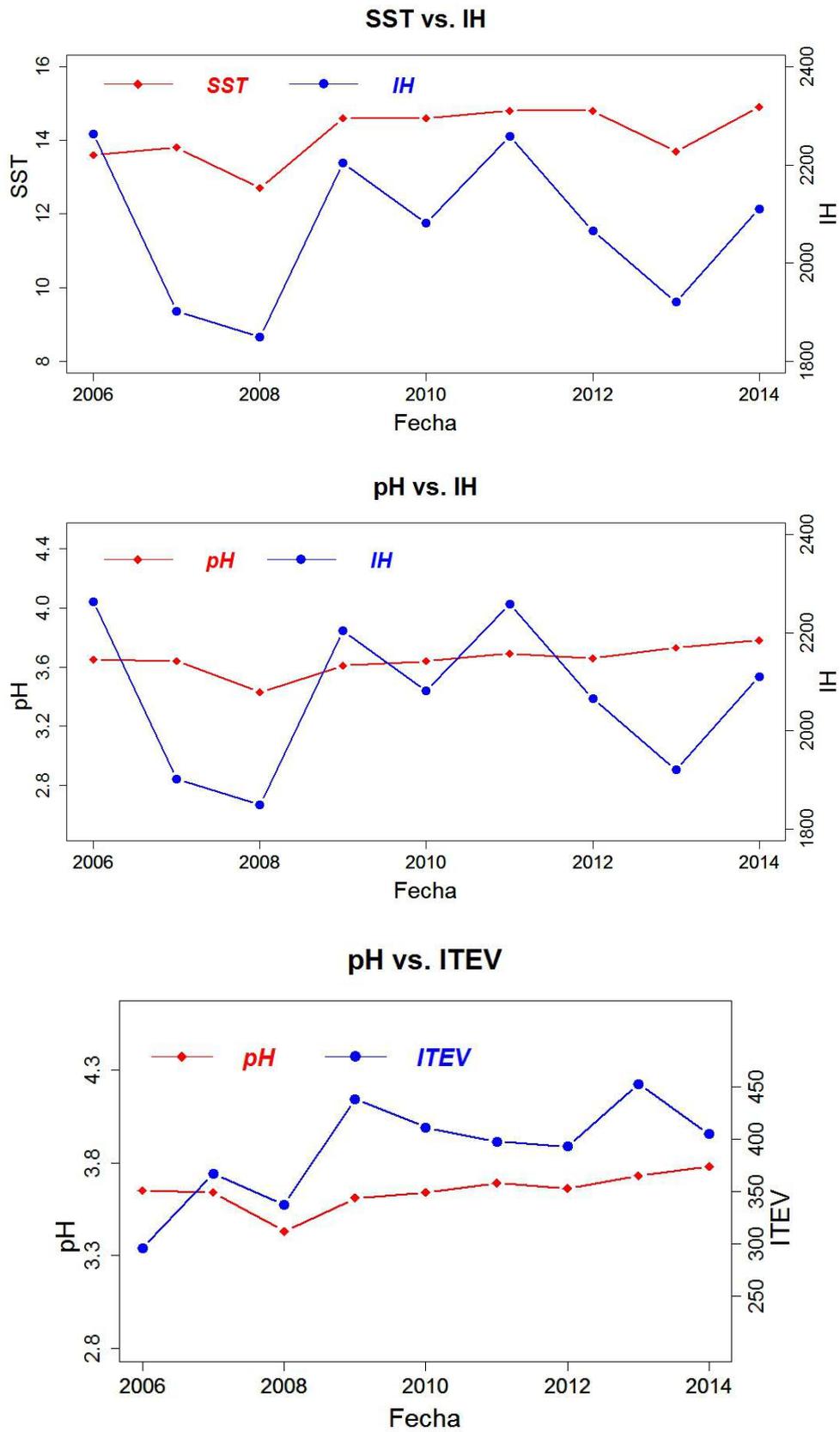


Figura 69. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQI. SST (Baumè), ITEV (°C)

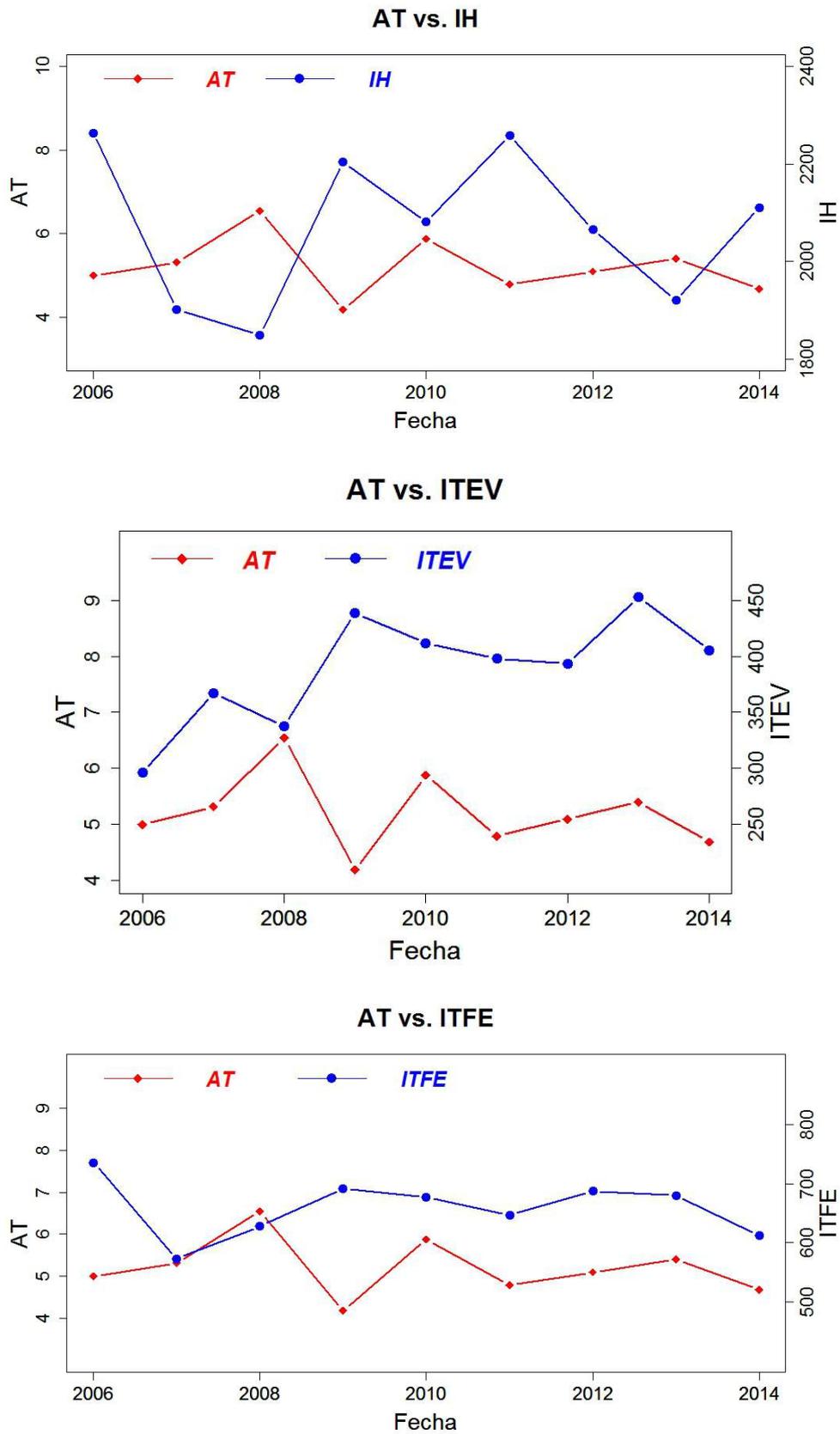


Figura 70. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQI. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

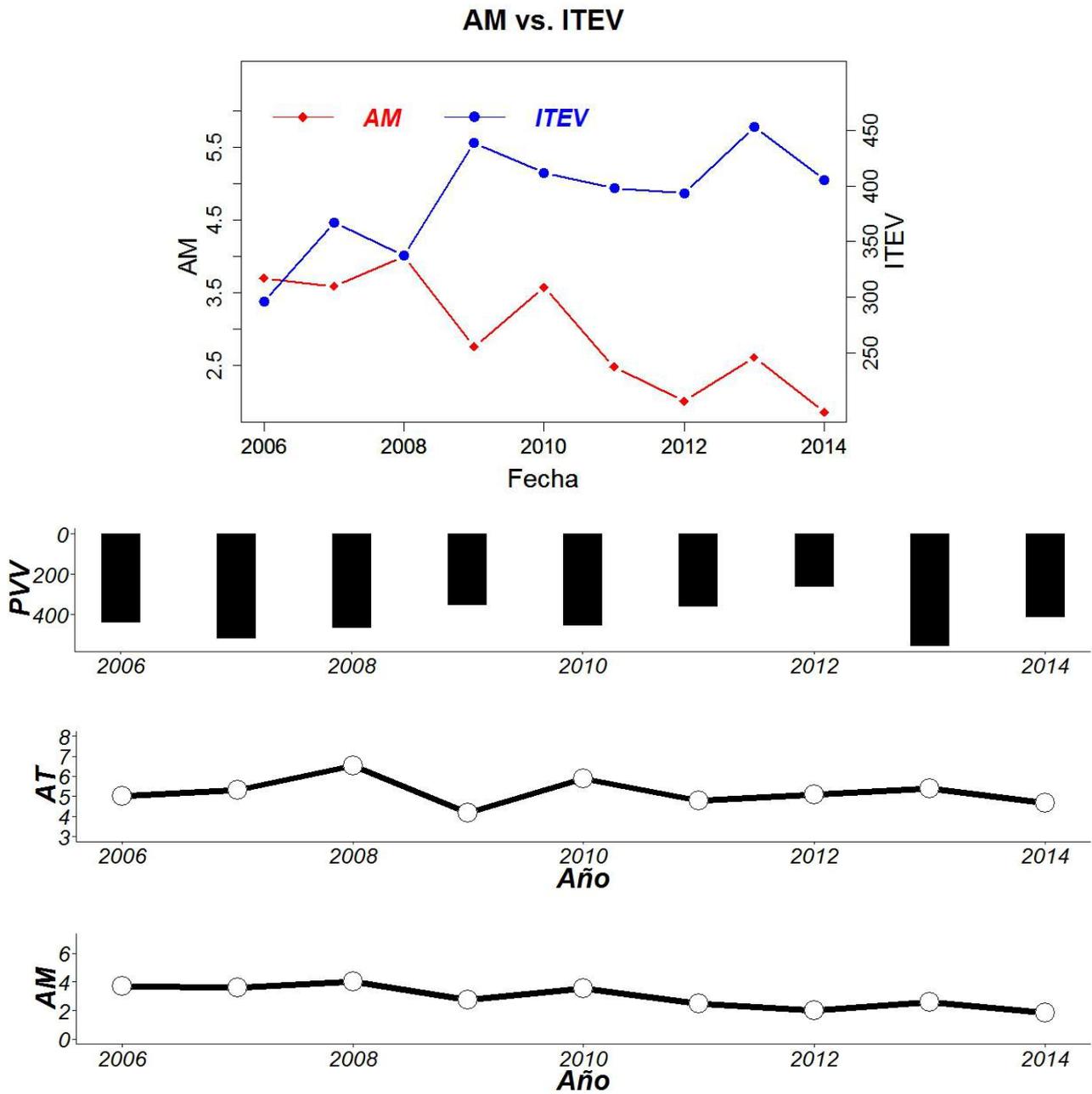


Figura 71. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQI. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

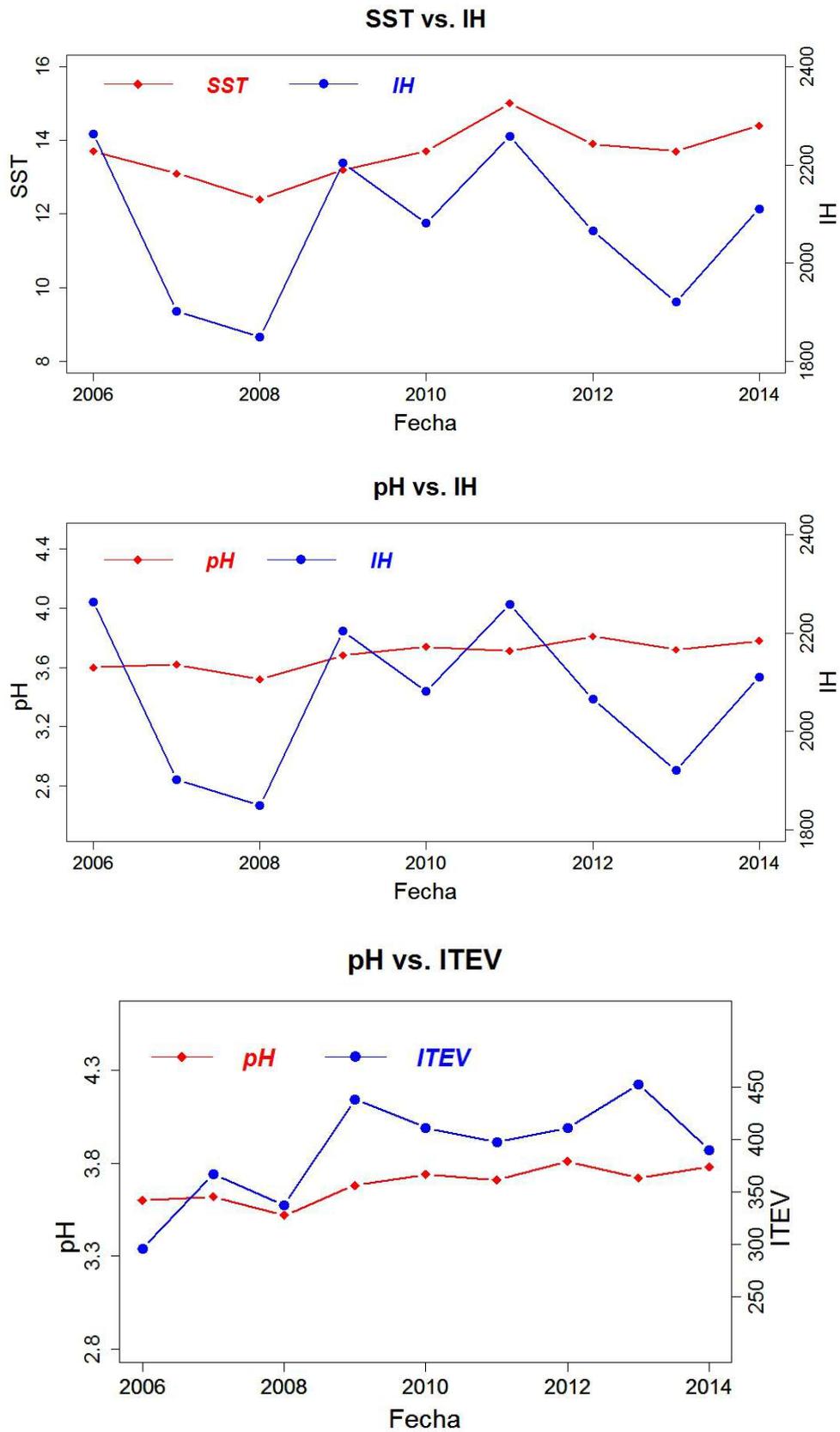


Figura 72. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQII. SST (Baumè), ITEV (eC)

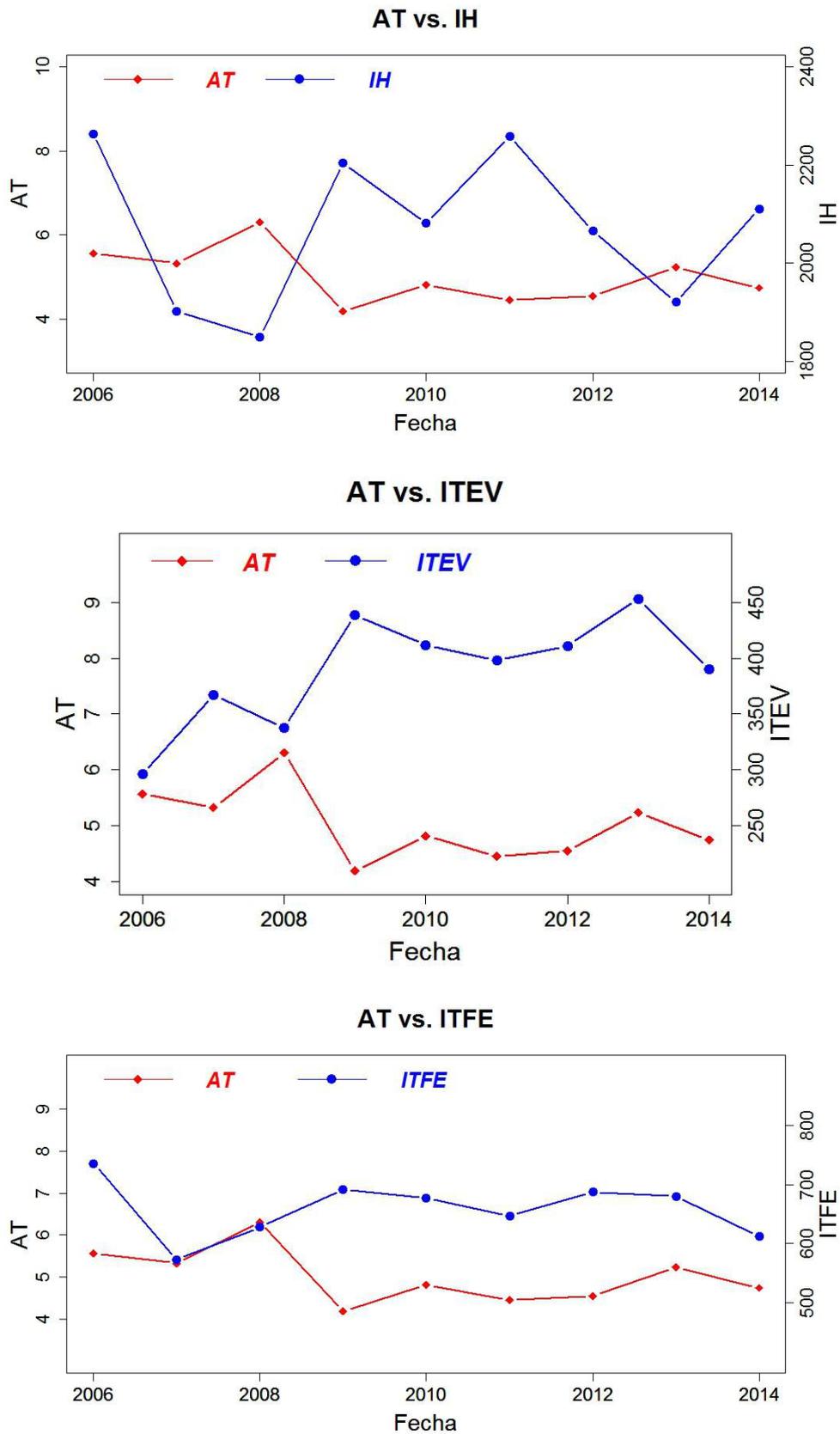


Figura 73. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQII. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

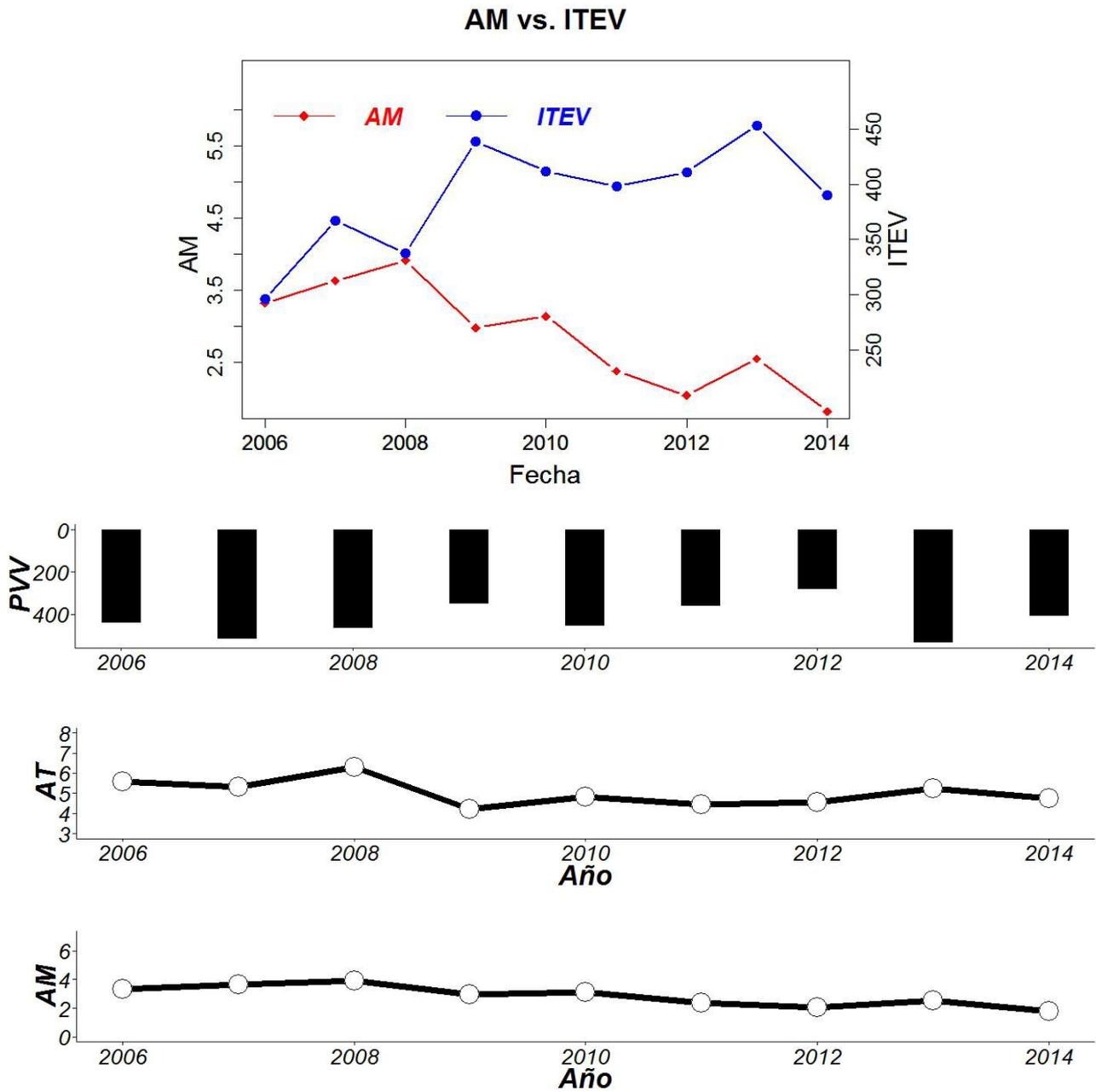


Figura 74. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en PQII. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

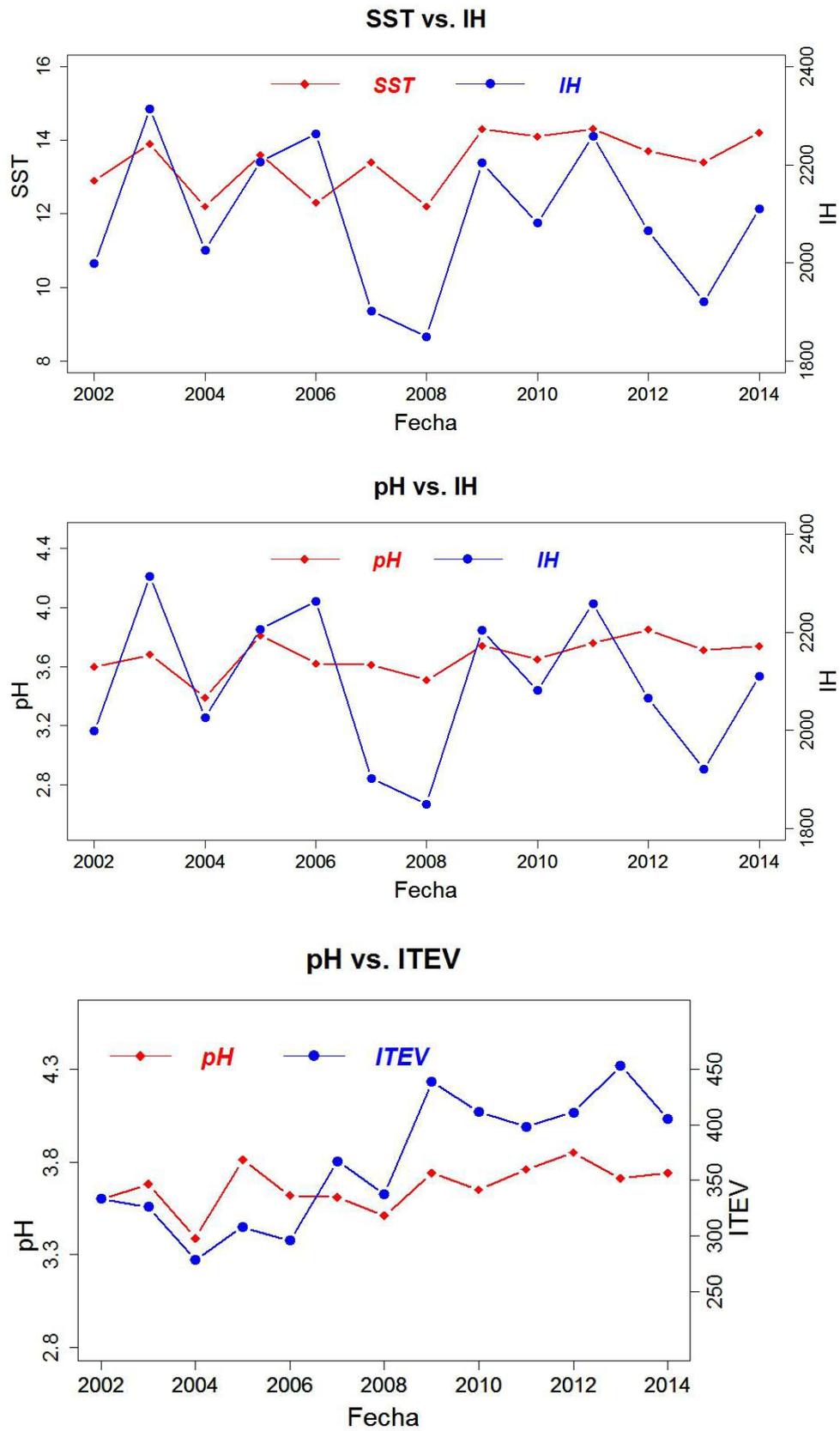


Figura 75. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QO. SST (Baumè), ITEV (°C)

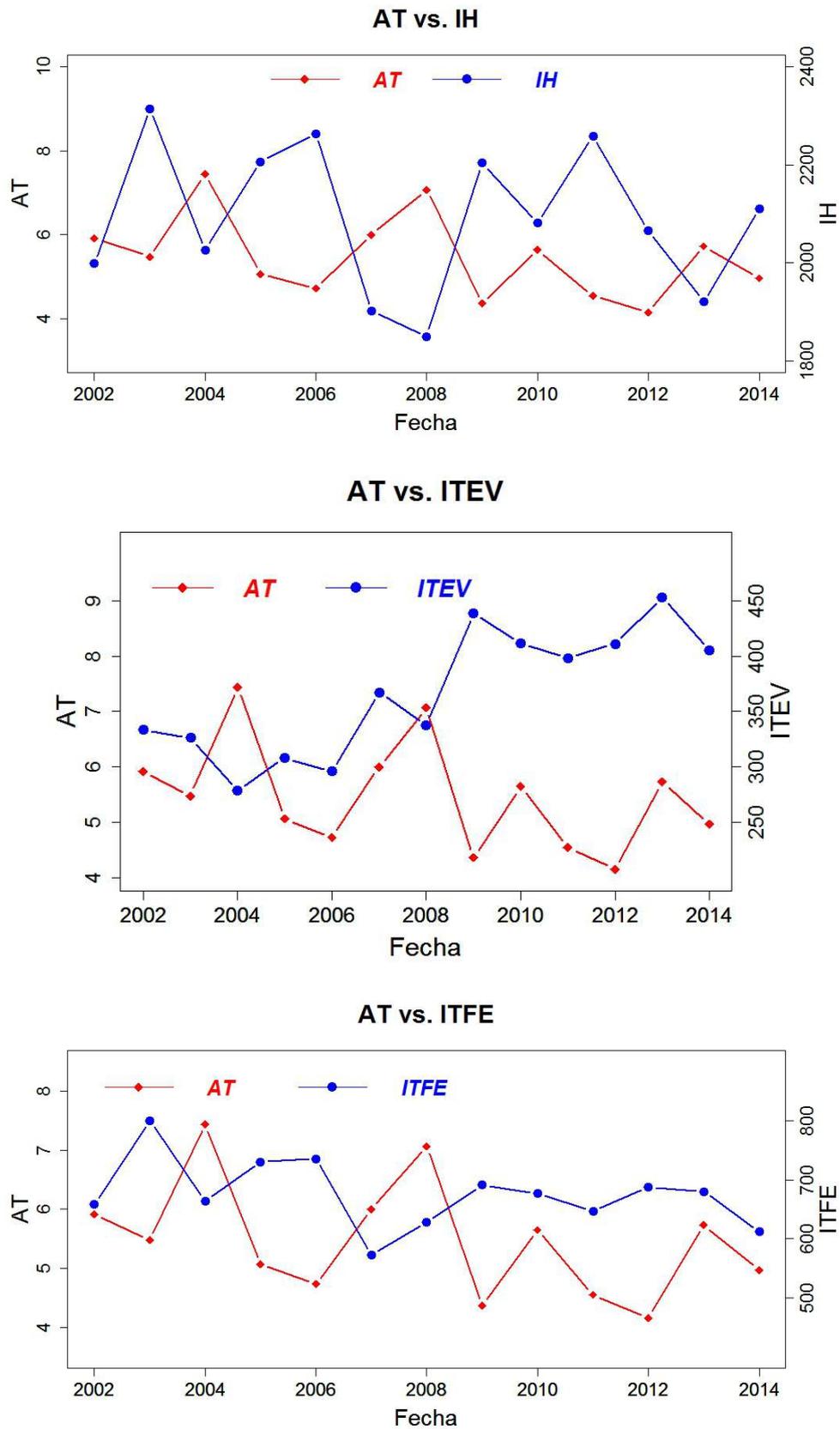


Figura 76. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QO. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

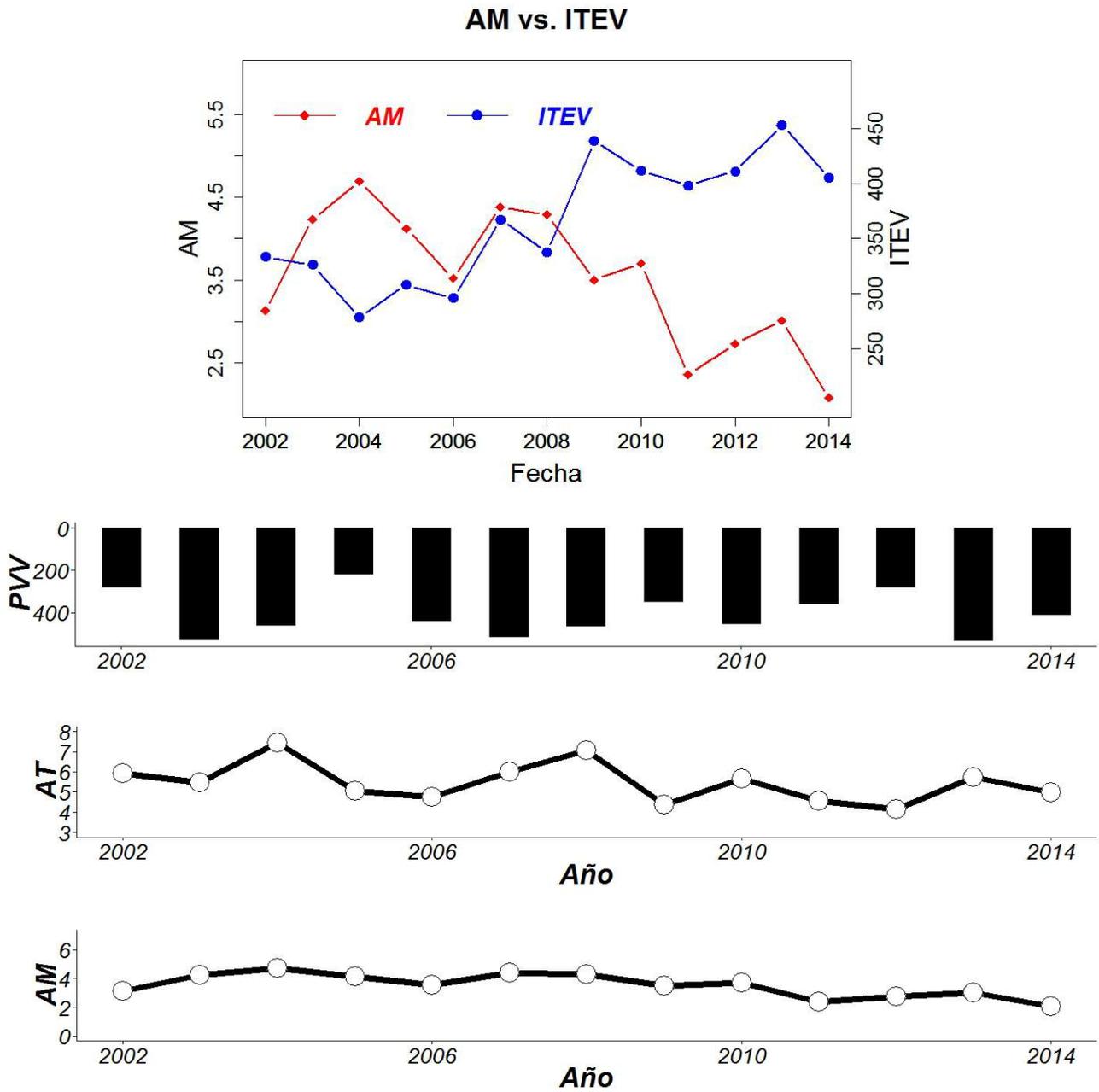


Figura 77. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QO. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

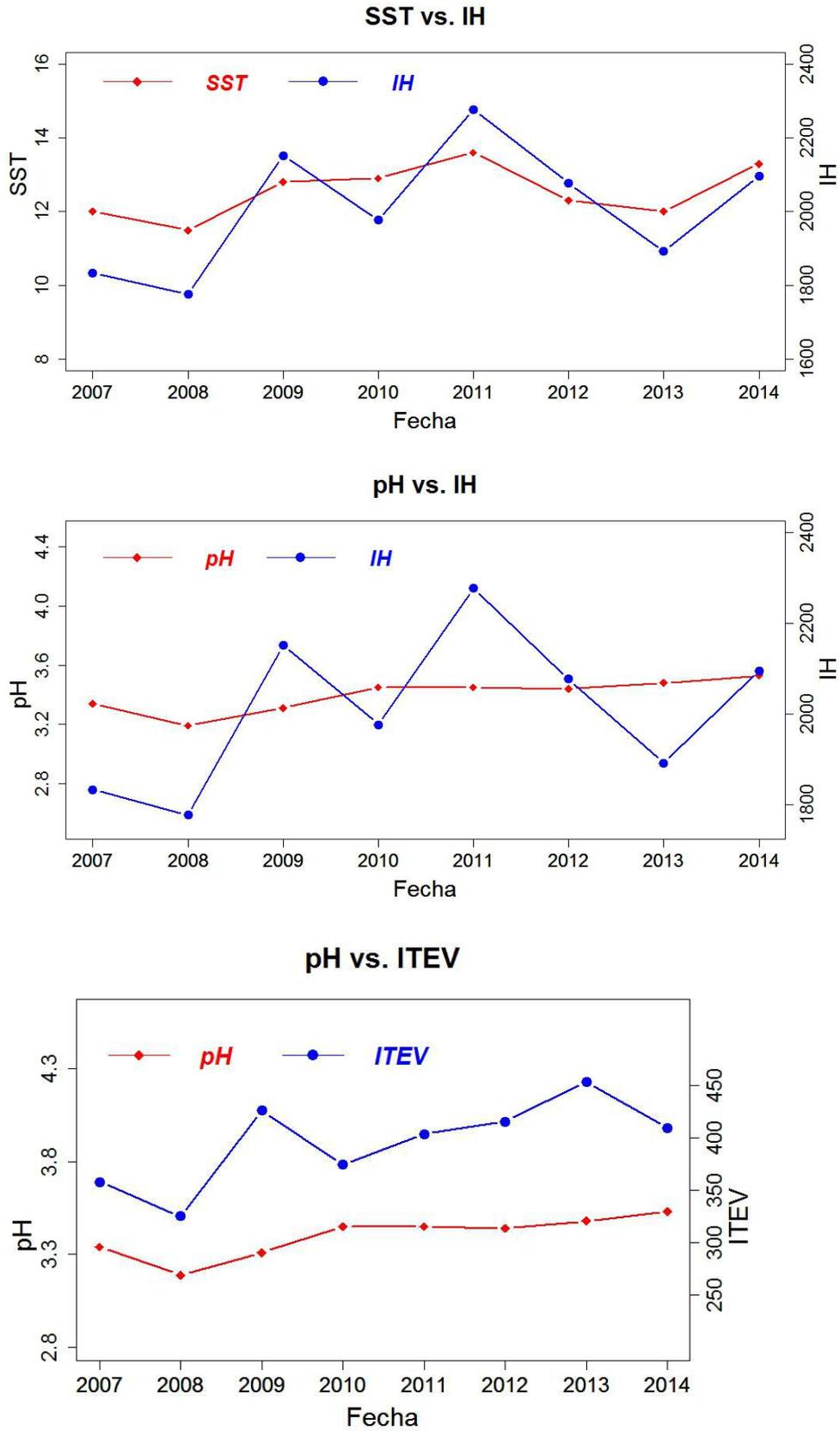


Figura 78. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QP. SST (Baumè), ITEV (°C)

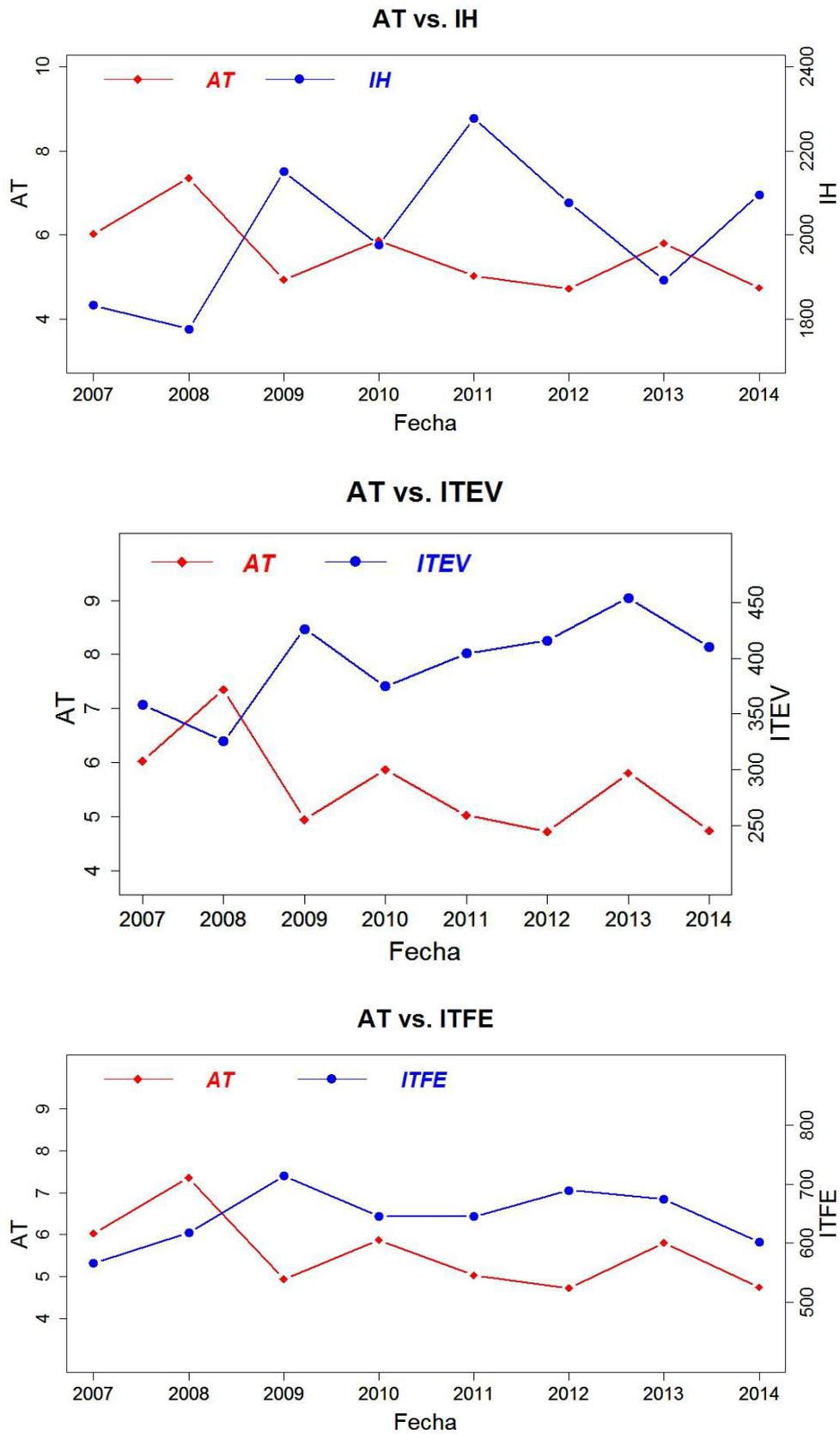


Figura 79. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QP. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

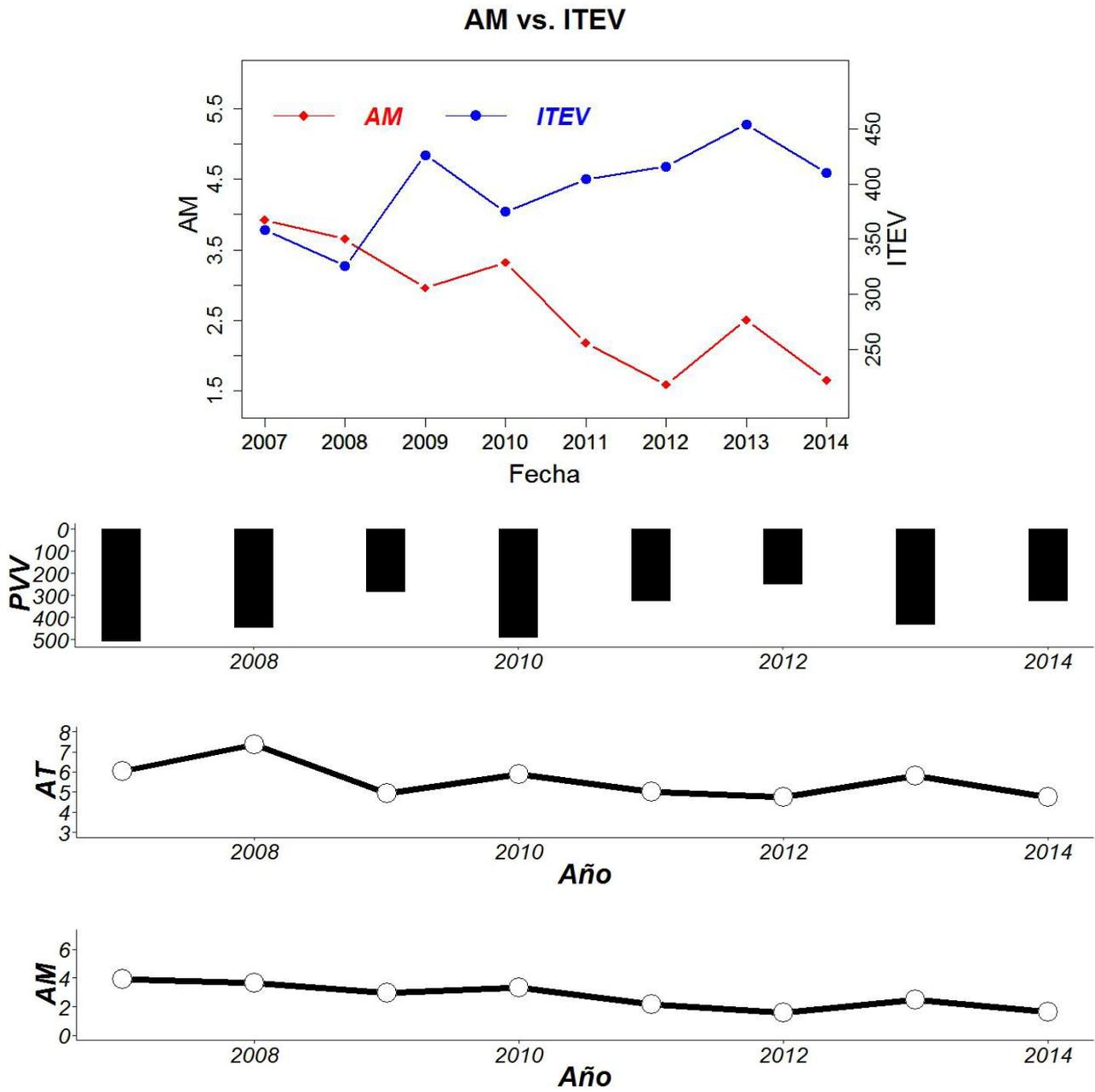


Figura 80. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en QP. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

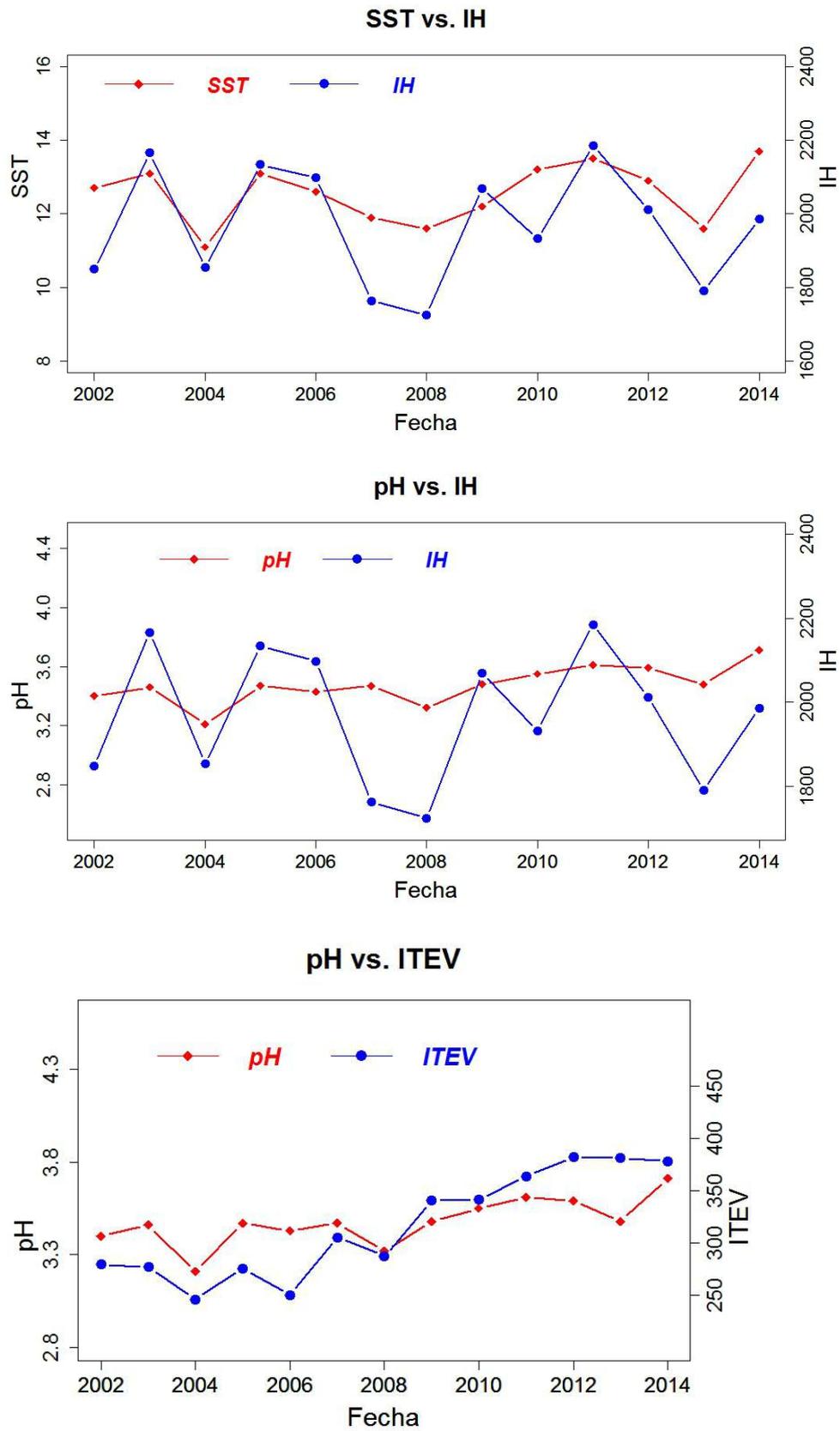


Figura 81. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en SEG. SST (Baumè), ITEV (°C)

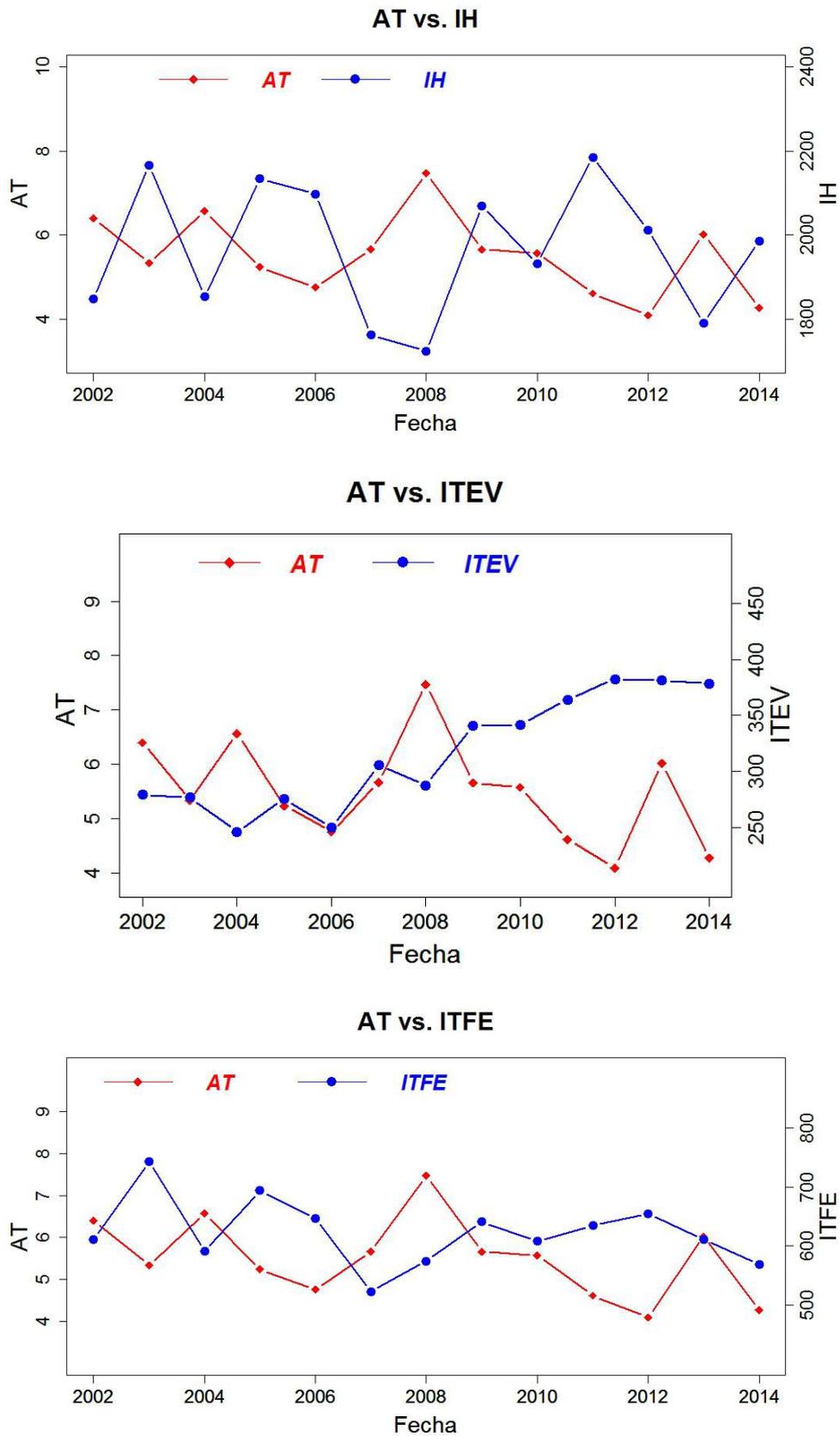


Figura 82. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en SEG. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

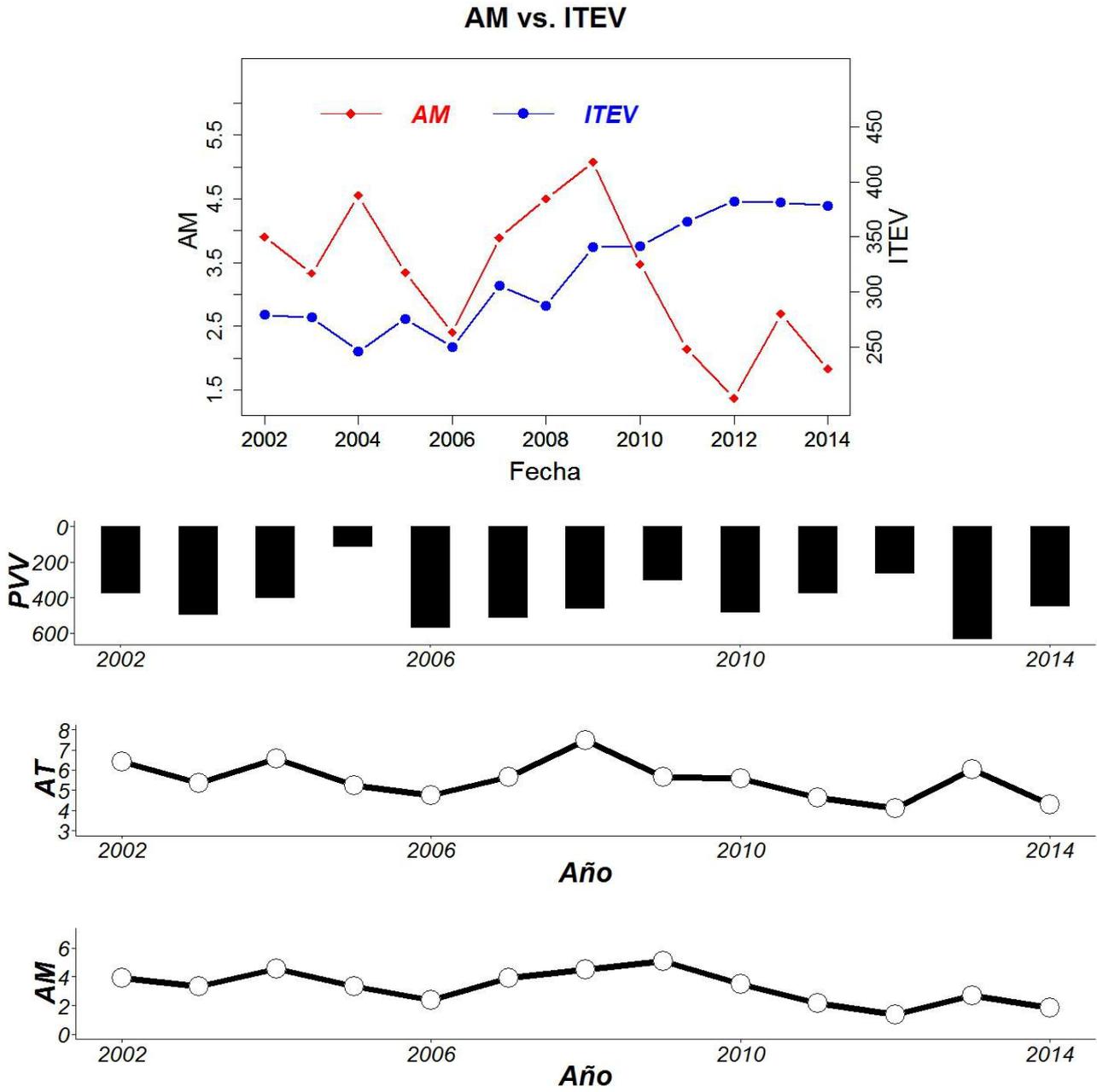


Figura 83. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en SEG. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

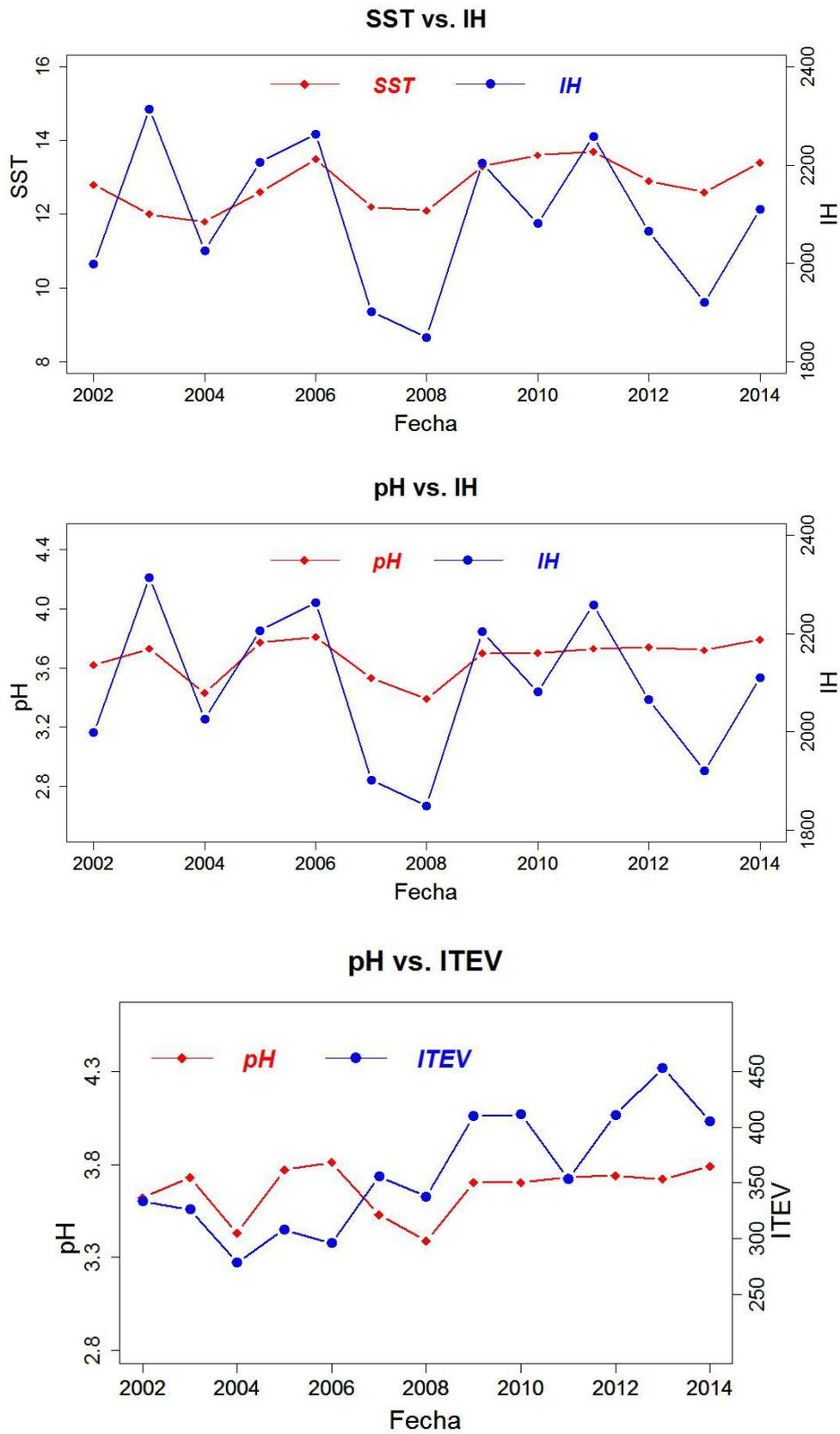


Figura 84. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en VD. SST (Baumè), ITEV (°C)

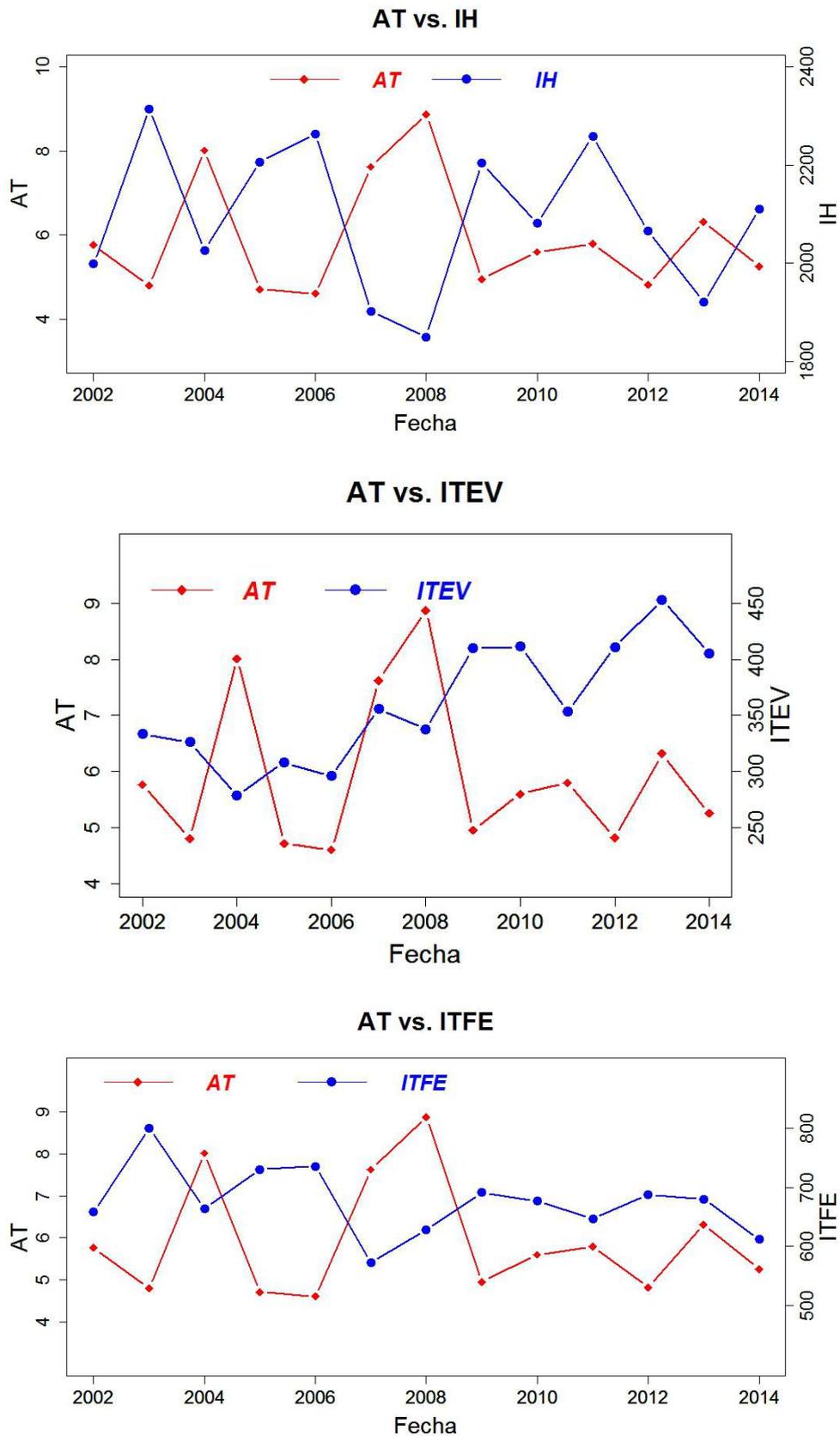


Figura 85. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en VD. ITEV e ITFE (°C) y AT (g/l)

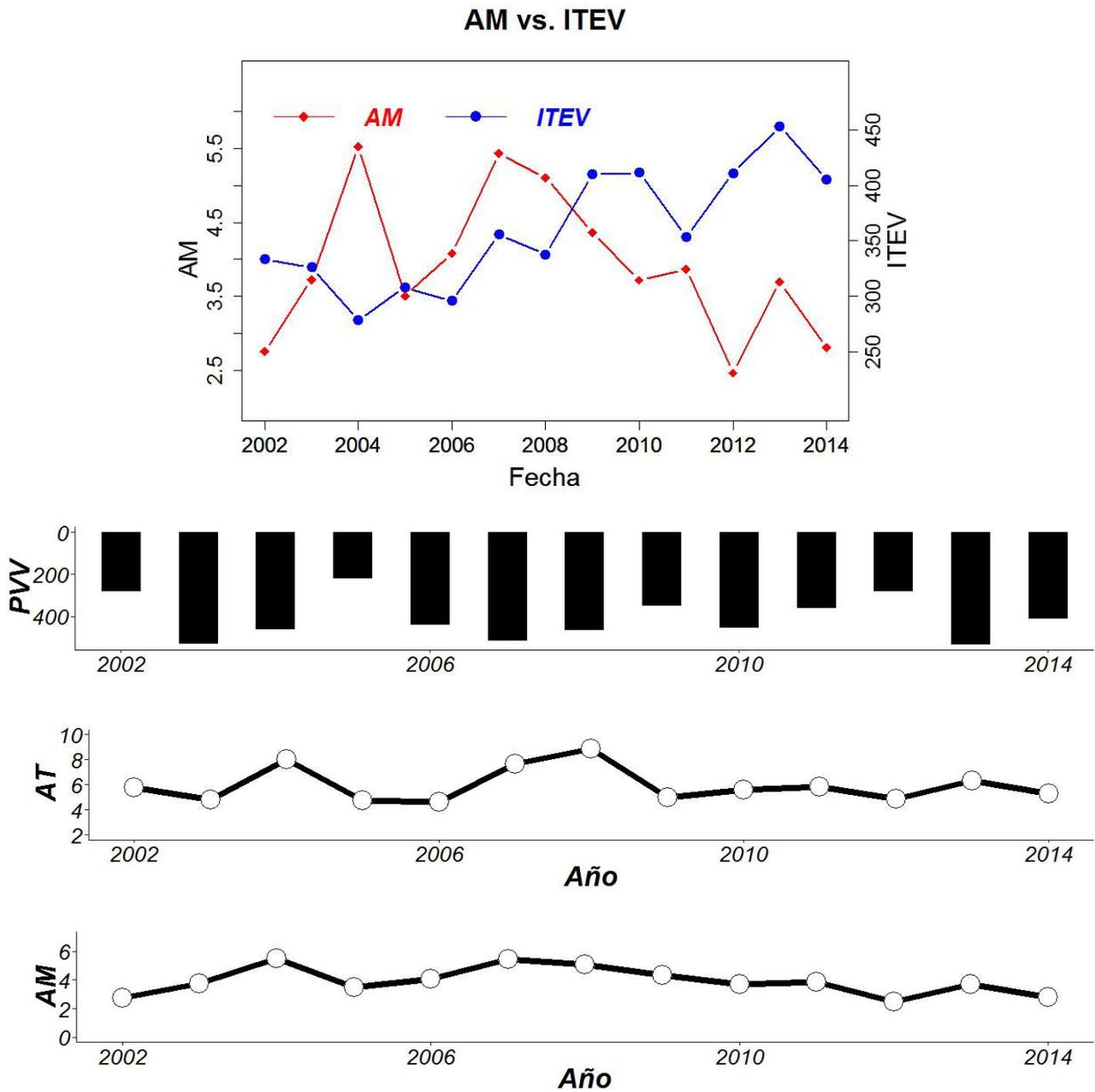


Figura 86. Evolución temporal conjunta de parámetros climáticos y enológicos en VD. AM y AT (g/l), ITEV (°C) y PVV (mm)

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE
DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN
RIBERA DEL DUERO

PRODUCCIÓN CIENTÍFICA



12 PRODUCCION CIENTIFICA

Olego et al.

New model for L-malic acid concentration |

Determining optimum harvest time under Mediterranean conditions: developing a new model for measuring L-malic acid concentration in red grapes

M.A. OLEGO¹, J.C. ÁLVAREZ¹, A. TOBES², J.M. de PAZ³, J.J.R. COQUE⁴ and E. GARZÓN-JIMENO⁴¹ RGA Bio-Investigación, S.L. Laboratorio 29, Instituto de Recursos Naturales, Universidad de León, León CP 24071, Spain;² Consejo Regulador de la D.O. Ribera del Duero, Roa de Duero, Burgos 09300, Spain;³ Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias-IVIA, Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible, Moncada, Valencia 46113, Spain;⁴ Instituto de Investigación de la Viña y el Vino (IIVV), Universidad de León, León 24071, SpainCorresponding author: Dr Miguel A. Olego, email molem@unileon.es

Abstract

Background and Aims: Malic acid concentration varies as berries develop, reaching its highest value just before veraison. Objective criteria for choosing the optimal harvest time require chemical or physicochemical measurements; the determination of malic acid concentration is one of these. The main aim of this work was to develop a predictive model to determine the malic acid concentration in grapes at harvest time as an alternative to commonly used methods, such as HPLC and enzymatic analysis.

Methods and Results: The red grape cultivar *Vitis vinifera* L. Tempranillo was used in this study. Of the 11 predictive parameters measured, titratable acidity (TA) had the greatest relative importance as a predictor variable for estimation of the concentration of malic acid in must at harvest time.

Conclusions: The daily average rainfall from harvest time to the next season sampling time, pH and TA and TA raised to the second power have been shown to be significant contributors in predicting malic acid concentration in grapes at harvest time.

Significance of the Study: This work describes a multiple regression model that explains malic acid concentration in red grapes at harvest time.

Keywords: Akaike Information Criteria, cross-validation, malic acid, multiple regression model, titratable acidity

Introduction

Acidity is one of the most important aspects of composition that must be controlled in grapes at harvest time. Two organic acids, L-tartaric (tartaric) and L-malic, are the main source of acidity in wine, accounting for more than 90% of the acid content of the grape berry (Boulton et al. 1996). The latter may account for up to the half of total acidity at harvest time, as it is the most abundant organic acid in grape berry vacuoles. Its concentration, however, tends to decrease as grapes mature, especially during hot periods at the end of the season (Jackson 2008). Malic acid (MA) in vines can be synthesised in three ways: (i) fixation of CO₂ by pyruvic acid in a reverse reaction catalysed by malic enzyme [L-malate: NAD(P)(+)-oxidoreductase]; (ii) fixation of CO₂ by ribulose 1,5-diphosphate; and (iii) transformation of citric acid (Moreno and Peinado 2012). During maturation, an increase in the respiratory quotient in grapes suggests the use of MA for energy production (Harris et al. 1971). Malic enzyme activity considerably accelerates MA degradation during hot weather. Ribéreau-Gayon et al. (2006) reported that temperature affects MA evolution in grape maturity, whereas it does not directly affect tartaric acid concentration. Urhausen (2013) indicated, however, that MA was metabolised between 20 and 30°C, whereas the grape tartaric acid was also diminished above 30°C. In addition, it has been suggested that fruit exposed to light generally has a concentration of MA lower than that of non-exposed fruit [Reynolds et al., cited by Dokoozlian and Kiewer (1996)], although these differences are normally attributed to

the higher temperature and respiration rate of light-exposed fruit [Lakso and Kiewer, cited by Dokoozlian and Kiewer (1996)]. With the onset of veraison, MA concentration rapidly decreases to between 4–6.5 g/L, with a concomitant increase in internal berry pH. An excessive amount of MA (>15 g/L) may be present in grapes harvested during cold summers (Volschenk et al. 2006). Conversely, wines produced in hot countries often lack acidity, and this low grape juice acidity affects the body, the colour and the microbial stability of the wine (Coloretti et al. 2002). When to harvest fruit is probably the most important viticultural decision made each season. The chemical composition of harvested grapes strongly affects the composition of must at the onset of vinification as well as the final composition of the bottled wine. The definition of optimal maturity in grape berries, however, will vary depending upon the style of wine being produced. There are also non-compositional berry factors beyond the control of the winemaker that influence the decision as to when to harvest. Several grape and bunch characteristics, however, have been used to assess ripeness. Changes in MA, which reflect berry metabolic activities, may be of value in assessing harvest time. Since MA, along with tartaric acid, makes an important contribution to flavour agents and helps to balance sweetness and other characteristics of the wine, it is an important criterion in assessing grape composition at harvest time (Ruffner 1982a). Although an enzymatic method for measuring MA directly is now accessible to a broader pool of wineries, it can be expensive when a large number of surveys

doi: 10.1111/ajgw.12181

© 2015 Australian Society of Viticulture and Oenology Inc.

Tesis

Doctoral

IDENTIFICACIÓN DE LOS FACTORES EDÁFICOS, CLIMÁTICOS Y ENOLÓGICOS QUE DEFINEN LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS TERROIRS EN LA DENOMINACIÓN DE ORIGEN RIBERA DEL DUERO.



José Carlos Álvarez Ramos

**José Carlos
Álvarez Ramos**

