

Suelos de las Comarcas Productoras de Vino de Málaga (Andalucía, España)¹

R. Delgado*, A. Iriarte**, E. Barahona**, J. Párraga*

ABSTRACT

The soils from the most important productive regions of the Malaga wine district (Axarquía, Antequera-Mollina and Costa Occidental) were studied. Statistical multiparametric techniques were used. The soils are eutric and vertic Cambisols, haplic Calcisols and eutric Regosols. They are developed on slopes from micaschists and calcareous sedimentary materials, under a Mediterranean climate. Textures are sandy loam, loam, and clay loam, with high proportions of coarse fragments; levels of the most important macronutrients are low; carbonate content is variable, 0 to 67%; pH values are neutral or slightly basic; available water capacities are low to moderate. The most abundant minerals are: phyllosilicates, quartz, and in some cases, carbonates, feldspars, iron oxides and hydroxides. An analysis of variance demonstrated that the soil properties of the several productive regions studied are different. The causes of these differences are essentially the geological substrata, in correspondence with pedological evolution. It was submitted to a mode R factor analysis. The soil variables may be grouped in four factors that account four 90% of the total variance: 1) genetic factors, 2) physico-chemical factors, and relationships between 3) mineral and 4) analytical properties.

RESUMEN

Se estudió el sustrato edáfico de tres principales comarcas productoras de vino de Málaga (Axarquía, Antequera-Mollina y costa occidental). Se aplicaron técnicas estadísticas multiparamétricas. Son suelos cambisoles vérticos, cambisoles eútricos, calcisoles háplicos y regosoles eútricos, bajo clima mediterráneo, ubicados en laderas y sobre sustratos geológicos de micasquistos y rocas sedimentarias carbonatadas. Son texturas francoarenosas, francas y francoarcillosas, esqueléticas; el nivel nutricional, en algunos de los principales macronutrientes, es relativamente bajo; el contenido de carbonatos es variable desde 0% hasta 67%; el pH, de neutro a ligeramente básico; y las reservas de agua son pequeñas o moderadas. Los principales componentes minerales son filosilicatos, cuarzo y, en algunos casos, carbonatos, feldespatos y óxidos e hidróxidos de hierro. Los suelos de las comarcas presentaron diferencias en sus propiedades, estadísticamente significativas, puestas de manifiesto mediante ANOVA, y relacionadas principalmente con el tipo de sustrato geológico, como corresponde a suelos de escaso a moderado desarrollo. El análisis factorial de modo R de las propiedades de los suelos, permitió definir el sistema edáfico con cuatro factores, que explicaron el 90% de la variancia total del sistema: factor genético, factor físico-químico, factores de relación entre el medio mineral (proporciones de especies minerales) y características analíticas.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de viñedo ocupa, en la provincia de Málaga (Andalucía, España), ligeramente más del 4% de la superficie cultivada; en épocas pasadas, antes de la invasión de la filoxera de la vid, llegó a ocupar hasta el 30 por ciento. De la producción total de uva, aproximadamente un 86.6% se destina a la fabricación de vino, preferentemente, y de pasas (Lasso de la Vega 1989).

El vino de Málaga (antiguamente de Moscatel) está acogido a la reglamentación de Denominación de Ori-

gen (España. Ministerio de Agricultura 1976). Es un producto de calidad y renombre, desde finales del siglo XV (Alejo 1966). Se fabrica con diversas variedades de vid, aunque las únicas permitidas por la reglamentación (España. Ministerio de Agricultura 1976) son Moscatel y Pedro Ximénez. Además de la variedad Moscatel, que se cultiva en el 81% del territorio, y de la Pedro Ximénez (7%), se cultivan también la Palomino Fino (3%) y otras que individualmente no alcanzan el 2% (Rodríguez 1983). Las variedades no aceptadas para la producción de vino se emplean como uva de mesa y pasa.

Los portainjertos empleados en el cultivo de la uva son Rupestrís de Lot, Conderec 161-49 y 3309, Castel 6736 y Millardet 41-B (Barceló 1949).

El objeto principal de este trabajo fue investigar las propiedades del sustrato edáfico de las principales comarcas productoras de vino de Málaga, como base para posteriores trabajos acerca de las relaciones suelo-vino y ampliar los conocimientos sobre este producto andaluz.

¹ Recibido para publicar el 23 de agosto de 1993.

* Departamento de Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia. Universidad de Granada. Campus Universitario de Cartuja. 18070. Granada. España

** Departamento de Suelos. Estación Experimental de Zaidín, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) C/ J. M. Albareda S/N. Granada, España

Algunos autores (Gutiérrez *et al.* 1987; Heras 1976; Navarro *et al.*; Ocio *et al.* 1987a; Ocio *et al.* 1987b, Ocio *et al.* 1987c) han estudiado los suelos de diversas comarcas españolas productoras de vinos de renombre, pero no se había intentado en los suelos de los viñedos productores de Málaga.

Puede considerarse, también, como objetivo de esta investigación del susstrato edáfico, la aplicación de técnicas estadísticas multiparamétricas, entre las que destaca el análisis factorial de modo R (Davis 1973; Joreskog *et al.* 1976). Ese análisis factorial es útil para el estudio de las relaciones entre variables, pues permite reducir la dimensionalidad de las variables, al sustituir las experimentales por un número menor de variables artificiales, formadas por la combinación lineal de las primeras, que contienen la misma información (análisis de componentes principales). Para obtener una solución sencilla de la matriz de cargas ("loading") de las variables en los factores, se utiliza frecuentemente la rotación ortogonal Varimax de Kaiser. La interpretación de este tipo de análisis consiste esencialmente en el examen y la valoración de las cargas o coeficientes de influencia sobre los factores rotados.

El análisis factorial se ha empleado con éxito en estudios edafológicos por la covariancia entre muchas de

las propiedades del suelo y sus fines han sido muy diversos, entre los que se destacan los genéticos y los clasificatorios o de evaluación de estatus de propiedades (Barahona *et al.* 1982; Brown *et al.* 1990; Lamontagne y Camire 1987; MacNeal *et al.* 1985; Mellor 1987; Ovalles y Collins 1988; Trujillo *et al.* 1987).

Por último, es importante señalar que un avance parcial de este estudio, referido a suelos de la Axarquía, se presentó en el III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo de España (Párraga *et al.* 1992).

Zona de estudio

Para un conocimiento exacto de las propiedades del medio edáfico es necesario proceder, en primer lugar, a la descripción del medio físico en el que se ubican los suelos.

Respecto a la localización geográfica, el estudio se centró en la provincia de Málaga, al sur de España, en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Se eligieron tres áreas de estudio representativas (Fig. 1) de las comarcas productoras de vino de Málaga más importantes: Axarquía (Montes de Málaga); llanos de Antequera-Mollina y costa occidental (Estepona-Manilva).

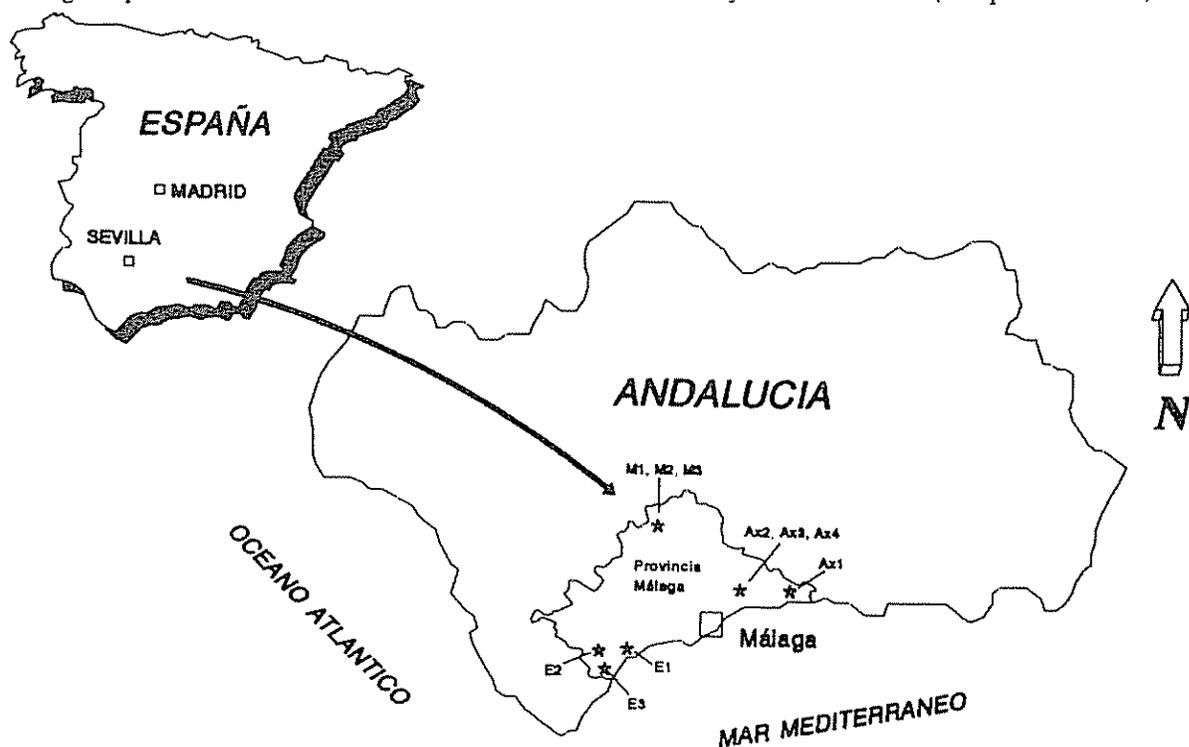


Fig. 1. Localización del área de estudio y de los puntos muestrales.

Desde el punto de vista geológico, la provincia de Málaga pertenece al dominio de la Cordillera Bética (IGME 1977). La litología de los materiales de la Axarquía es de esquistos micáceos grises y azulados con exudaciones lenticulares de cuarzo blanco. En el área de Antequera-Mollina, afloran dos complejos litológicos netamente diferenciados: inferior, de arcillas abigarradas de edad Triásica en facies Keuper, y superior, discordante, de calcarenitas de edad Tortonense-Messiniense (Serrano 1979). Por último, los materiales de la costa occidental pertenecen al Complejo del Campo de Gibraltar, "flysch" margoareniscoso, con afloramiento de rocas carbonatadas jurásicas y cretácicas.

El relieve difiere también entre comarcas. La Axarquía tiene altitudes entre 400 m - 1000 m, pendientes entre 25% y 60% y presenta una morfología general en grandes lomas alargadas, características de esquistos. La altitud media de la zona de Antequera-Mollina está en 500 m y las pendientes no superan el 25% - 30%; se trata de un llano con colinas correspondientes a los afloramientos de areniscas. La costa occidental presenta cotas entre 0 m y 400 m, pendientes inferiores al 30% y su paisaje general es el de un gran plano complejo, atrazado, y disectado por cárcavas perpendiculares a la costa, que generan lomas también groseramente alargadas.

En las tres comarcas, la vegetación actual está impuesta por el hombre en cuanto a cultivos. En las pequeñas extensiones que aún permanecen vírgenes, los estadios en degradación de las series de vegetación se encuentran muy alejados del óptimo potencial: matorrales dispersos, tomillares, estepas y otros, debido a la deforestación abusiva.

La vegetación natural (Rivas 1987) del área de la Axarquía, está dominada por la serie basófila de *Quercus rotundifolia*; los encinares se encuentran muy degradados y escasos. La vegetación de la zona de Antequera-Mollina pertenece a la serie mesomediterránea, con *Pistacia lentiscus*. La de la zona costera occidental pertenece a la serie silicícola de *Quercus suber*, piso termome-diterráneo.

El clima de la provincia de Málaga es mediterráneo (Capel 1981) con variantes, dependiendo de la comarca en estudio (Cuadro 1). La Axarquía presenta dos máximos pluviométricos en el año, el principal es el de primavera; la temperatura media anual es relativamente baja y el verano, cálido. En el área de Antequera-Mollina se destacan los veranos muy cálidos con sequía acentuada; también presenta dos máximos pluviométricos en otoño-invierno y primavera (Barceló *et al.* 1985). La zona costera tiene precipitaciones relativamente abundantes con dos máximos, uno al final del otoño-invierno y otro, en primavera; los veranos son secos y los inviernos cálidos. El régimen de humedad de los suelos, según la *Soil Taxonomy* (USDA 1975) es, en todos los casos, xérico y el de temperatura méxico en la Axarquía y térmico en las comarcas de Antequera-Mollina y de la costa occidental (Cuadro 1)

MATERIALES Y MÉTODOS

Fueron recogidas cuatro muestras de suelo en la zona de la Axarquía (AX), tres en los llanos de Antequera-Mollina (M) y tres en la zona costera occidental (E). Cada muestra corresponde a la capa enraizable media de una parcela de muestreo de 1 ha, aproximadamente.

Cuadro 1. Caracteres climáticos de las comarcas de muestreo.

Comarca	P anual (mm)	Temperatura media	Clima atmosférico (°C)	Temperatura suelo verano (°C)	Temperatura suelo invierno (°C)	Temperatura media suelo (°C)	Régimen humedad suelo*	Régimen temperatura suelo*
Axarquía	813	13.2	Continental mediterráneo	19.5	8.9	14.2	Xérico	Mésico
Antequera-Mollina	505	17.0	Mediterráneo continental	24.8	11.2	18.1	Xérico	Térmico
Costa occidental	649	18.5	Mediterráneo subtropical	23.3	15.7	19.5	Xérico	Térmico

Fuente: USDA 1975

Como capa enraizable se consideran los 30 cm superiores, por el porte arbustivo de la vid o espesores más pequeños si el suelo tiene un contacto lítico más somero.

Las características generales de los suelos modales, en donde se tomó la muestra de capa enraizable, se detallan en el Cuadro 2. Los suelos corresponden a las

Cuadro 2. Características generales de los puntos de muestreo.

Muestra	AX1	AX2	AX3	AX4	M1
Tipo de suelo*	CMel	RGecm	CMel	CMel	CLh
Perfil	Ap, Bw, C	Ap, Bw, C	Ap, Bw, 2C	Ap, Bw, C	Ap, ACk, Ckm
Espesor <i>solum</i> (cm)	35	24	31	28	40
Ubicación**	VF 1376	VF 9175	VF 9175	VF 9176	VG 5412
Fisiografía	Ladera	Ladera	Ladera	Ladera	Cima de colina
Altitud (m)	610	360	360	360	520
Pendiente (%)	35	49	56	50	< 2
Orientación	W	SW	NW	SW	N-NW
Drenaje***	Clase 4-5	Clase 4-5	Clase 4-5	Clase 4-5	Clase 4
Cond humedad	Seco	Secos 15 cm sup	Secos 10 cm sup	Secos 15 cm sup	Secos 25 cm sup
Pedregosidad superficial****	Clase 4	Clase 4	Clase 4	Clase 4	Clase 4
Rocosidad superficial****	Clase 4	Clase 2	Clase 2	Clase 2-3	Clase 4
Roca	Esquistos	Esquistos y cuarcitas	Esquistos	Esquistos	Areniscas calcáreas

(Cont. Cuadro 2).

Muestra	M2	M3	E1	E2	E3
Tipo de suelo*	CLh	CMvel	CLh	CLhvr	CLh
Perfil	Ap, ACk, CAk, 2Ckm	Ap, Bwk, 2BC, 3C	Ap, ACk, 2Ck, 2C	Ap1, Ap2, Ck	Ap1, Ap2, 2Ck
Espesor <i>solum</i> (cm)	60	102	38	30	32
Ubicación**	VG 5412	VG 5413	VF 1237	VF 9827	VF 0132
Fisiografía	Ladera	Pie de monte	Ladera	Ladera	Ladera
Altitud (m)	510	500	50	120	80
Pendiente (%)	5	2	6	17	28
Orientación	N	S-SE	S-SW	W	W-NW
Drenaje***	Clase 4	Clase 3	Clase 4	Clase 3	Clase 3
Cond humedad	Secos 20 cm sup.	Secos 10 cm sup	Secos 40 cm sup	Secos 10 cm sup	Secos 10 cm sup
Pedregosidad superficial****	Clase 4	Clase 3-4	Clase 1	Clase 3	Clase 4
Rocosidad superficial****	Clase 4	Clase 1	Clase 0	Clase 0	Clase 0
Roca	Areniscas calcáreas	Margas y areniscas	Conglomerados	Margas	Margas

Fuente: * Clases FAO 1977

** Coordenadas UTM.

*** FAO-UNESCO 1990: Cabisol calci-vértico CMvel; Cambisol lepti-útrico CMel; Calcisol háplico CLh; Calcisol verti-háplico CLhvr; Regosol cambi-eútrico RGecm.

Nota: AX = Axarquía; M = Antequera-Mollina; E = Costa occidental

siguientes tipologías (FAO y UNESCO 1991): Cambisol lepti-eútrico (AX1, AX3 y AX4), Cambisol calci-vértico (M3), Calcisol háplico (M1, M2, E1, y E3), Calcisol verti-háplico (E2) y Regosol cambi-eútrico (AX2) (Lasso de la Vega 1989; Párraga *et al.* 1992).

Las descripciones simplificadas de las capas enraizables se realizaron siguiendo las normas de la FAO (1977). Los símbolos empleados en las descripciones se tomaron de Delgado *et al.* (1982).

Los análisis físicos, fisicoquímicos y químicos de la tierra fina (fracción < 2 mm) se realizaron esencialmente con los métodos oficiales del Ministerio de Agricultura de España (1982) y otros, cuya referencia bibliográfica se detalla a continuación: pH en agua y CIK (1:1); carbono orgánico por oxidación con dicromato; nitrógeno total por mineralización con ácido sulfúrico y destilación en Bouat Mikrokjeldakl; fósforo asimilable por el método de Olsen; hierro asimilable extraído en medio ácido y medio colorimétricamente; carbonato cálcico equivalente y caliza activa (extraída con oxalato amónico) con el calcímetro de Bernard; bases y capacidad de cambio de cationes (CEC) por percolaciones sucesivas de acetato amónico a pH 7 y

cloruro sódico (USDA 1972); conductividad del extracto de saturación (CE) (Richards 1954); retención de agua a 33 kPa y 1500 kPa, empleadas para el cálculo del agua útil, con la membrana de Richards; análisis granulométrico por el método de la pipeta de Robinson (USDA 1972); densidad aparente, empleada también para el cálculo de agua útil, calculada con las ecuaciones de correlación de Delgado (1980).

Los análisis mineralógicos se efectuaron por difracción de R-X (Difractómetro Phillips, Pw 1730) por la técnica del polvo en la fracción tierra fina (< 2 mm) y la de agregados orientados (secado de una suspensión en portanuestras de vidrio) en la fracción arcilla (< 2 µm). Se aplicaron sobre los agregados orientados tratamientos con etilenglicol, dimetilsulfóxido y térmico (Brindley y Brown 1980; González y Sánchez 1968). El estudio semicuantitativo fue realizado por el método de los poderes reflectantes (Delgado 1980).

Para la interpretación de los resultados se emplearon técnicas estadísticas multiparamétricas como: análisis de variancia, ensayo de diferencias de medias (t de Student), matriz de correlación, estudio de correlaciones y análisis factorial.

Cuadro 3. Descripción simplificada de las capas enraizables.

Muestra	Prof*	Color húmedo**	Color seco**	Textura	Estructura
AX1	30	3 5Y 2.5/2	3 5Y 4/2	fn, muG	bs/ba. me. de/mo-bs/gr. fi. de/mo
AX2	24	10YR 3 5/3	10YR 5/5	fn, muG	gr/ba. me. de-mi/gr. fi. de/mo
AX3	30	10YR 3/3	10YR 3 5/3	fn, muG	gr/ba. me. de-gr. me. de
AX4	28	10YR 3/4	10YR 5/4 5	fn, muG	gr/ba, me/fi. de-gr/mi. fi. de
M1	30	10YR 6/3	10YR 7/3	f	bs. gr/me. mde-gr. fi. de
M2	30	10YR 6/2	10YR 7/2	f	gr/ba, me. de-gr. fi. de
M3	30	8 7.5YR 4/2	8 7.5YR 5/5 2.5	fa	bs. me. de-gr.me. de
E1	30	5Y 5/3	5Y 5 5/3	fan	bs. me/gr de/mo-bs. fi. de/mo
E2	30	2 5Y 4/2	2 5Y 6/2	fa	bs. fi. mo/de
E3	30	2 5Y 4/2	2 5Y 4/2	fa	bs. fi/me. de/mo-bs.fi. mo

Muestra	Consistencia	Poros	RC***	Raíces	Límite
AX1	m/lad. m/pl, fb/fr. bl/ldn	7, fi	NC	7, fi	N, Od
AX2	l. ad. m/pl, fr. bl	7, fi/mfi	NC	7, fi	N, Pl/Od
AX3	lad. m/pl, fr, bl	7, fi	NC	7, fi/me	N, Pl/Od
AX4	m/lad. m/pl, m/fr. bl	7, fi/mfi	NC	5, fi/mfi	N, lr
M1	lad. l/pl, fr, bl	7, fi/mfi	FC	5, fi	N, Pl
M2	lad. l/pl, fr, bl	7, fi	FC	5, fi	N, Pl
M3	ad, pl, l/fr, du	3, fi	C	3, fi	Gr, Pl
E1	lad, lfi. ldn	7, me/fi	FC	3, me/fi	N, Pl
E2	lad, l/pl. lfi, lud	7, fi	FC	3, me/fi	N, pl
E3	ad/lad. l/pl, lfi/fr. ldu	5, me/fi	FC	3, me/fi	N, Pl

Nota: AX = Axarquía; M - Antequera-Mollina; E = Costa occidental.

* Profundidad de la base de la capa (cm)

** Código Munsell

*** Reacción calcárea

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estudio general

Las capas arables pertenecen a suelos con características morfológicas muy dispares (Cuadros 2 y 3). Algunos suelos están situados en laderas, muchas de ellas de fuertes pendientes; otros, en zonas montañosas, que los hacen susceptibles a la erosión. Son suelos, por lo tanto, de poco espesor y esqueléticos, correspondientes a tipología de escaso a moderado desarrollo edáfico. Sus colores dependen en gran medida del material original y su estructura es generalmente en bloques subangulares. Las texturas dominantes (Cuadros 3 y 4) son francoarenosas y francas, con altos contenidos de grava (AX1, AX3, AX4, M1 y M2), como corresponden a suelos de los caracteres morfogenéticos antes citados y desarrollados sobre materiales geológicos de importante compacidad (micasquistos, areniscas). Cuando el material de partida es de naturaleza margosa (M3, E2, E3.), aunque el suelo sigue siendo de escaso a moderado desarrollo, la textura es francoarcillosa no esquelética.

En relación con los caracteres analíticos (Cuadro 4) hay que destacar que el contenido de materia orgánica se aproximó al 1%, pues son suelos de cultivo donde los aportes de materia orgánica fresca son escasos y los procesos de mineralización están exaltados por las altas temperaturas, la aireación periódica, la xericidad y otros factores (Lelong *et al.* 1984). Las mismas causas podrían aducirse para la escasa cantidad de nitrógeno total. La razón C/N no es genéticamente indicativa, cuando se trata de suelos no vírgenes (Gaucher 1987; Kouonova 1982).

El fósforo asimilable presenta porcentajes de pequeños a medios (de acuerdo con el tipo de extractante) debido a factores como el pH de neutro a ligeramente básico, las texturas gruesas y la presencia de carbonatos o de óxidos e hidróxidos de hierro. En los casos donde hay mayor confluencia de estos factores adversos, se registraron niveles más bajos; como en los suelos de la Axarquía (Berger 1969; Russell y Russell 1968).

Cuadro 4. Caracteres analíticos de las capas enraizables.

	AX1	AX2	AX3	AX4	M1	M2	M3	E1	E2	E3
Arena *	60.2	56.1	68.8	56.5	44.1	45.1	21.5	50.7	34.4	39.9
Limo *	29.0	29.2	17.7	28.5	41.7	37.9	40.2	25.3	29.6	24.5
Arcilla *	10.8	14.7	13.5	15.0	14.2	17.0	38.3	24.0	36.0	35.6
Grava *	7.4	6.9	7.0	7.9	5.4	6.4	1.5	2.7	2.1	4.5
Retención H ₂ O 33 KPa *	14.7	13.8	12.9	13.3	17.1	18.0	20.9	17.5	21.9	25.4
Retención H ₂ O 1500 KPa *	6.7	7.5	7.8	7.2	9.0	6.4	12.7	10.0	13.5	14.8
Agua útil (mm/cm)	0.45	0.53	0.31	0.30	0.71	0.65	1.11	1.0	1.10	1.10
C O *	0.81	0.60	0.75	0.71	1.12	1.23	1.14	1.0	1.13	0.82
N *	0.059	0.060	0.070	0.060	0.094	0.094	0.093	0.130	0.093	0.078
C/N	14	10	11	12	12	13	12	8	12	10
P asimilable (mg/100 g)	2.9	5.9	8.7	2.2	7.0	7.4	8.9	7.7	8.7	8.9
pH H ₂ O	6.8	7.0	6.9	6.8	8.1	8.2	8.0	8.2	8.2	8.4
pH ClK	6.1	6.3	6.1	6.0	7.3	7.4	7.4	7.4	7.6	7.3
Ca ²⁺ **	4.1	7.6	5.4	7.6	sat	sat	sat	sat	sat	sat
Mg ²⁺ **	1.3	2.2	1.9	1.8	1.5	1.7	3.9	3.1	5.5	4.9
Na ⁺ **	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4
K ⁺ **	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	0.7	0.7	0.9	1.1
S **	5.9	10.3	7.9	10.1	sat	sat	sat	sat	sat	sat
C E C **	7.0	10.6	8.1	10.9	8.7	10.9	20.1	14.1	24.2	21.5
Sat *	84.2	97.2	97.5	92.7	sat	sat	sat	sat	sat	sat
CO ₃ Ca equivalente	-	-	-	-	63.2	55.0	37.1	32.0	66.6	56.7
Caliza activa *	0.07	0.04	0.04	0.05	15.12	14.31	13.82	7.57	7.19	9.68
C E (mS/cm)	0.49	0.45	0.49	0.93	1.39	1.13	1.35	1.01	1.33	1.03
Fe asimilable *	0.13	0.04	0.16	0.18	0.55	0.32	0.05	0.35	0.26	0.12

Notas: AX = Axarquía; M = Antequera-Mollina; E = Costa occidental

* Cantidades en porcentajes

** cmol (+)/kg

Cuadro 5. Análisis mineralógico de la fracción arcilla de las capas enraizables.

	AX1	AX2	AX3	AX4	M1	M2	M3	E1	E2	E3
Ilita	65	38	46	40	91	82	67	2	28	10
Esmectita	5	16	7	7	6	8	15	95	63	85
Interstratificados	10	8	7	21	tr	5	12	tr	tr	tr
Caolinita	20	38	30	32	3	5	6	2	9	5
Clorita	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
Serpentina	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-

Notas: AX = Axarquía; M = Antequera-Mollina; E = Costa occidental.
Cantidades en porcentajes
tr = trazas.

Cuadro 6. Análisis mineralógico de la tierra fina de las capas enraizables.

	AX1	AX2	AX3	AX4	M1	M2	M3	E1	E2	E3
Luminares	65	76	78	79	35	46	64	65	51	43
Cuarzo	22	17	15	16	17	20	8	8	15	14
Calicita	-	-	-	-	46	29	27	17	31	43
Dolomita	-	-	-	-	2	5	1	7	-	-
Feldespató Na	6	3	2	2	-	-	-	3	3	-
Feldespató K	tr	1	1	1	tr	tr	tr	-	-	-
Goetita	5	2	4	2	-	-	-	-	-	-
Hematites	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	tr	-	tr	tr	-	-	-	-	-	-

Notas: AX = Axarquía; M = Antequera-Mollina; E = Costa occidental.
Cantidades en porcentajes
tr = trazas.

Los porcentajes de carbonato cálcico equivalente fueron muy variables dentro del conjunto y así los suelos de la Axarquía están decarbonatados y el resto presenta valores que oscilan entre 30% y 60%, aproximadamente. En el nivel del perfil del suelo se observan procesos de lavado-acumulación con encostramientos antiguos y formas actuales en los suelos de Antequera-Mollina (Párraga *et al.* 1985). Los contenidos de caliza activa no alcanzan el 1% en los suelos decarbonatados y en el resto son más altos, pero inferiores al 15 por ciento.

Los valores de la capacidad de cambio de cationes (CEC) son un reflejo de la textura de la tierra fina y de la mineralogía de la arcilla (Cuadro 5), con valores bajos en las capas franco-arenosas y medios, en las francoarcillosas. El complejo de cambio está dominado por el calcio al que siguen el magnesio, el potasio y el sodio. En los suelos carbonatados, el calcio satura completamente las posiciones de cambio y una parte, no conocida de las bases alcalinotérricas, corresponde a la disolución de los carbonatos por el acetato amónico a pH 7 (Chapman 1965). El magnesio de cambio presenta valores inferiores al calcio, siendo los suelos de la costa occi-

dental los que mayor valor medio tienen. El potasio de cambio, equivalente al potasio asimilable, no presenta valores muy altos a pesar del abonado, posiblemente debido, más que a las pérdidas por lixiviación, a la selectividad de los ilitas presentes en esos suelos (Cuadro 5) por este catión (Black 1975; Bohn *et al.* 1985); de ahí que las capas enraizables de los suelos de la Axarquía presenten los valores más bajos de potasio, comparados con las otras dos comarcas.

Los valores de agua utilizable por las plantas oscilan de moderados a bajos (0.30 mm/cm a 1.11 mm/cm). Son consecuencia de la textura del suelo, donde las mayores retenciones correspondieron a las granulometrías más finas. Las reservas de agua en el *solum* son, en la mayoría de los casos, pequeñas, pues salvo en M2 y M3, los suelos son muy someros (Cuadro 2).

La salinidad de los suelos resultó pequeña y alcanzó en algunos casos conductividades cercanas a 1.5 mS por centímetro.

Las principales fases minerales detectadas en la tierra fina de las capas enraizables (Cuadro 6) fueron la-

minares (las especies minerales se especifican en el estudio de la arcilla), cuarzo, carbonatos (calcita y dolomita), feldespatos (sódicos y potásicos), clorita y óxido, e hidróxido de hierro (hematites y goetita). Resaltan algunas diferencias entre las diferentes comarcas y, así, en los suelos de la Axarquía predominan los laminares, seguidos de cuarzo y escasa cantidad de feldespatos, goetita, hematites y trazas de clorita. En la tierra fina de los suelos de la costa occidental y de Antequera-Mollina, los laminares, aunque mayoritarios, se encontraron en menor proporción que en los suelos de la Axarquía, con abundante cantidad de calcita, menos de cuarzo, proporciones pequeñas de dolomita y ausencia de goetita, hematites y clorita.

Respecto a la fracción arcilla (Cuadro 5), está compuesta de illita, esmectita, caolinita, interestratificados

illita-esmectita (próximos a la mica) y clorita minoritaria. En los suelos de la Axarquía, se observó una mayor proporción de caolinita. La esmectita es el mineral mayoritario en los suelos de la costa occidental y la illita lo es en los de la Axarquía y Antequera-Mollina.

Comparación estadística entre comarcas productoras

Para comprobar rigurosamente las diferencias ya esbozadas en las propiedades de la capa enraizable de las tres comarcas de muestreo, se hizo un análisis de la variancia (ANOVA) apoyado por el ensayo de las diferencias de medias ("t" de Student). El Cuadro 7 presenta únicamente los resultados correspondientes a 27 variables, aquellas que resultaron significativas del total de las 37 que componen el estudio.

Cuadro 7. Resultados del análisis de variancia (ANOVA) y ensayos de diferencias de medias ("t" de Student).

VARIABLE	ANOVA VALOR F	SIGNIFICACION (F)	1-2	1-3	ENSAYO t 2-3
Limo *	11 786	xx	xx	-	x
Arena *	6 462	x	x	x	-
Grava *	6 660	x	-	x	-
C O *	15 654	xx	xx	x	-
N *	7 141	x	x	x	-
pH H ₂ O	195 835	xxx	xxx	xxx	-
pH ClK	135 655	xxx	xxx	xxx	-
C E (mS/cm)	12 913	xx	xx	x	-
CO ₂ Ca equivalente *	22 706	xx	xx	xx	-
Ca ²⁺ **	8246.033	xxx	xxx	xxx	-
Mg ²⁺ **	6.534	x	-	x	-
K ⁺ **	15 233	xx	x	xx	-
S **	5441 523	xxx	xxx	xxx	-
C E C **	5 045	x	-	x	-
Fe asimilable *	5.854	x	x	-	-
Retención H ₂ O 33 KPa *	9 639	x	x	xx	-
Retención H ₂ O 1500 KPa *	5 119	x	-	x	-
Laminares *	6.095	x	x	x	-
Feldespato K *	24 500	xx	x	xxx	x
Goetita *	13 144	xx	xx	xx	-
Clorita *	6.300	x	x	x	-
Calcita *	15 740	xx	xx	xx	-
Esmectita *	58.089	xxx	-	xxx	xxx
Interestract *	6 407	x	-	x	-
Illita *	21 149	xx	x	x	xx
Caolinita *	26 617	xxx	xx	xx	-
Caliza activa *	283 771	xxx	xxx	xxx	xxx

Notas: * Porcentajes
** cmol (+)/Kg.

Criterio de agrupación: -Comarcas: 1-Axarquía (AX), 2-Antequera-Mollina (M), 3-Costa occidental (E) Significación: X = 5 (X), xx = 1 (X), xxx = 1 (0/00)

El ANOVA corroboró la exposición y discusión de los resultados realizados del apartado anterior y, con ello, las diferencias existentes entre los suelos de las tres comarcas vinícolas.

Con niveles de significación en la F de Snedecor de un 5%, hubo desigualdades en los contenidos en grava, arena, nitrógeno total, capacidad de cambio de cationes, hierro asimilable, retenciones de agua, contenido en laminares, clorita e interestratificados. Diferencias mucho más significativas entre zonas (1% y 10/100) se apreciaron en las proporciones de CO, CaCO₃ equivalente, pH, caliza activa, bases de cambio y esmectita y caolinita en arcilla.

Los ensayos de diferencias de medias de la "t" de Student confirmaron de manera pormenorizada esas tendencias. Se pudo apreciar que las mayores diferencias se establecieron entre el grupo 1 (Axarquía) y los grupos 2 y 3 (Antequera-Mollina y costa occidental). Por el contrario, no existieron desigualdades significativas entre los grupos 2 y 3, excepto en los porcentajes en esmectitas, ilita, caliza activa, feldespato potásico y limo.

La causa principal de estas tendencias se debe, en primer lugar, a la distinta litología del material de partida de los suelos, que establece dos ámbitos marcadamente diferentes: uno correspondiente a las capas enraizables de los suelos del grupo 1 (Axarquía), procedentes de materiales de partida metamórficos ácidos (esencialmente micasquistos), y otro, constituido por las capas enraizables de los grupos 2 y 3 (Antequera-Mollina y costa occidental) sobre materiales sedimentarios carbonatados y, por lo tanto, más semejantes entre sí.

Como consecuencia, en el grupo 1 (Cuadro 4) los suelos carecen de carbonato cálcico libre, presentan muy poca caliza activa, textura francoarenosa y esqueletal y pH inferior a 7. Además, en las capas arables de la comarca 1, con relación al resto, el complejo de cambio está más empobrecido en las bases, la conductividad en el extracto de saturación es menor y hay menos cantidad de hierro asimilable. También el carbono orgánico y el nitrógeno total son exigüos por la ausencia del papel estabilizador, que ejerce el carbonato cálcico sobre el humus (Bottner 1971).

Otro factor que confirma lo expuesto anteriormente es la composición mineralógica de la tierra fina, puesto que se presentaron diferencias significativas en los contenidos de todas las fases minerales, entre los suelos de la Axarquía y los de las otras dos comarcas.

Así mismo, las diferencias entre las zonas podrían explicarse por cierta diversidad de los modelos de me-

dios edafocímicos relacionados más o menos con la evolución edáfica. Por esta causa, se originan también diferencias en la composición mineralógica (principalmente tipos de minerales de la arcilla) que afectan, en última instancia, la fertilidad de los suelos.

Las capas enraizables de la Axarquía, que provienen de suelos con mayor evolución edáfica, resultaron estadísticamente distintas a las otras, con proporciones superiores de goetita y de caolinita (Cuadros 5 y 6); a lo que contribuyó también el pH más ácido y la menor concentración de bases (Cuadro 4).

En la costa occidental, las capas enraizables son más ricas en esmectita y diferentes estadísticamente para esta variable. A pesar de ello, no se detectó con el ANOVA una respuesta paralela en otros parámetros del medio edafocímico, como podrían ser las bases de cambio. Si bien es un hecho conocido que las esmectitas caracterizan los medios edáficos con mayor actividad de bases que, por ejemplo, los de caolinita (Okumura 1990); sin embargo, se afirmó anteriormente que los valores medios de magnesio de cambio correspondientes a los suelos de la costa occidental son los mayores. Más adelante, mediante el análisis de correlaciones, se demostrará la funcionalidad que existe entre estas variables y los porcentajes de esmectita.

Por último, no se detectaron mediante el ANOVA diferencias entre las zonas en cuanto al contenido de fósforo asimilable, porcentaje de saturación de bases y contenidos en cuarzo y hematitas. Para explicarlo, se puede aducir diversidad de causas, entre las que cabe citar el abonado, la xericidad del clima o que los materiales de partida de todos los suelos pertenecen a la Cordillera Bética.

Análisis de correlaciones

La matriz de correlación fue calculada inicialmente con 37 variables de la capa enraizable, con lo que se obtuvo una matriz de 1296 términos. Con base en ella, se realizó el Cuadro 8, donde se exponen las variables correlacionadas y los coeficientes de correlación, con significaciones del 1% o menores. Existe una alta funcionalidad entre las distintas variables. Un número importante de ellas, tales como, arcilla, arena, C.O., pH, CaCO₃, fases minerales (esmectita, caolinita, interestratificados, feldespatos) entre otros, están muy correlacionados con el resto, lo que afirma la idoneidad de los análisis efectuados para calificar el medio edáfico.

Algunas relaciones interesantes se destacaron y cuantificaron con el cálculo de las ecuaciones de corre-

Cuadro 8. Correlaciones significativas entre variables.

Variabes	Correlaciones significativas (< 1X).
4	1 (0.81)
8	3 (-0.85)
9	3 (-0.87); 4 (-0.83); 5 (0.82); 8 (0.98)
10	3 (-0.84); 5 (0.80); 8 (0.80); 9 (0.82)
11	2 (0.91); 3 (-0.91); 5 (0.82); 8 (0.93); 9 (0.94); 10 (0.89)
12	3 (-0.85); 5 (0.82); 6 (0.80); 8 (0.99); 9 (0.98); 10 (0.86); 11 (0.94)
13	1 (0.98)
14	1 (0.87); 13 (0.83)
15	1 (0.85); 3 (-0.88); 8 (0.90); 9 (0.85); 11 (0.88); 12 (0.87); 14 (0.79)
16	3 (-0.85); 5 (0.81); 6 (0.80); 8 (0.99); 9 (0.98); 10 (0.86); 11 (0.94); 15 (0.87)
17	1 (0.98); 13 (0.98); 14 (0.84)
18	7 (0.82)
20	1 (0.90); 3 (-0.85); 8 (0.83); 11 (0.81); 13 (0.82); 14 (0.80); 15 (0.96); 17 (0.85)
21	1 (0.93); 13 (0.93); 14 (0.80); 17 (0.90); 20 (0.86)
24	3 (0.79); 8 (-0.82); 9 (-0.80); 11 (-0.92); 12 (-0.84); 16 (-0.84)
25	23 (0.89)
27	4 (0.86); 8 (-0.82); 9 (-0.82); 15 (-0.80); 16 (-0.81); 20 (-0.85)
28	3 (0.85); 8 (-0.88); 9 (-0.88); 10 (-0.84); 11 (-0.83); 12 (-0.89); 15 (-0.80); 16 (-0.89); 18 (-0.82)
29	18 (-0.82)
30	8 (-0.82); 9 (-0.84); 12 (-0.79); 16 (-0.79); 28 (0.85)
31	3 (-0.85); 9 (0.86); 10 (0.84); 11 (0.95); 12 (0.90); 15 (0.86); 16 (0.90); 20 (0.80); 24 (-0.95); 28 (-0.79)
32	6 (0.84)
33	1 (0.84); 4 (-0.84); 13 (0.80); 21 (0.80); 27 (-0.82)
34	8 (-0.87); 9 (-0.89); 11 (-0.81); 12 (-0.85); 16 (-0.85); 27 (0.83); 30 (0.87)
35	33 (-0.82)
36	5 (-0.83); 8 (-0.90); 9 (-0.89); 11 (-0.86); 12 (-0.93); 16 (-0.92); 24 (0.84); 27 (0.85); 31 (-0.84); 34 (0.81)
37	5 (0.85); 8 (0.88); 9 (0.86); 10 (0.83); 11 (0.90); 12 (0.91); 16 (0.91); 24 (-0.92); 28 (-0.80); 31 (0.91); 36 (0.87)

Notas: Los números sin paréntesis, en ambas columnas, simbolizan las distintas variables; 1 -Arcilla (%); 2 -Limo (%); 3 -Arena (%); 4 -Grava (%); 5 -C O (%); 6 -N (%); 7 -P asim (%); 8 -pH H₂O; 9 -pH ClK; 10 -C E (mS/cm); 11 -CO₂Ca equivalente (%); 12 -Ca²⁺ (cmol (+)/kg); 13 -Mg²⁺ (cmol (+)/kg); 14 -Na⁺ (cmol(+)/kg); 15 -K⁺ (cmol(+)/kg); 16 -S (cmol(+)/kg); 16 -C E C (cmol(+)/kg); 18 -Sat (%); 19 Fe asimilable (%); 20 -Retención H₂O (33 KPa); 21 -Ret H₂O (1500 KPa); 22 -Agua útil (mm/cm); 23 -C/N; 24 -Laminares (%); 25 -Cuarzo (%); 26 -Feldespato Na (%); 27 -Feldespato K (%); 28 -Goetita (%); 29 -Hematites (%); 30 -Clorita (%); 31 -Calcita (%); 32 Dolomita (%); 33 -Esmectita (%); 34 -Interestratificados (%); 35 -Ilita (%); 36 -Caolinita (%); 37 -Caliza activa (%) Los números entre paréntesis son los coeficientes de correlación.

lación (Cuadro 9). Como se indicó el porcentaje de esmectita en la fracción arcilla y el magnesio de cambio están correlacionados positivamente. En otros términos, la formación de esmectita o la composición de la interlámina de este mineral hinchable se relacionan con la base alcalinotérrica. También Delgado *et al.* (1983) señalan la correspondencia del ión magnesio con la esmectita, a partir del estudio de equilibrios minerales en otras tipologías de suelos de Andalucía (mollisoles, inceptisoles y entisoles de Sierra Nevada).

Las proporciones de fracción de arcilla están altamente correlacionadas con las bases de cambio (Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺) y presentan una correlación positiva de coeficiente cercano a 1, con la capacidad de cambio de cationes, al ser la fracción menor de 2 micras la mayor responsable del complejo adsorbente de esos suelos, relativamente pobres en carbono orgánico (Cuadro 8).

Drake y Motto (1982) encontraron que el 59% de la variancia de la CEC de los suelos de New Jersey (EE.UU.) puede explicarse con las proporciones de arcilla y de C.O., además debe influir en esta propiedad, el tipo de mineral de la arcilla y la composición de la materia orgánica. A conclusiones similares llegaron Wright y Foss (1972) para suelos de Maryland (EE.UU.).

En el Cuadro 9 se evidencia la coherencia interna en las diferentes medidas realizadas en el perfil calcáreo (porcentaje de CaCO₃ equivalente y porcentaje de calcita medida en DRX) o propiedades relacionadas, como las proporciones de caliza activa. Por la alta correlación existente, cualquiera de ellas sirve para predecir las restantes. Por otra parte, la caliza activa presenta con el pH del suelo la relación esperada: ambas variables tienen tendencias paralelas y positivas. El resto de las correlaciones del Cuadro 9 responden a hechos ya explicados.

Cuadro 9. Ecuaciones de correlación.

Y	X	Ecuación	r	Términos (núm.)	Significación
Mg ²⁺ **	Esmectita *	Y = 1 8382 + 0 0307 x	0 73	10	5 %
Calcita *	CO ₃ Ca equivalente *	Y = 0 2359 + 0 6138 x	0 95	10	1 (°/∞)
CEC *	Arcilla *	Y = 1 4332 + 0 5558 x	0 97	10	1 (°/∞)
CO *	CO ₃ Ca equivalente *	Y = 0 7414 + 0 0061 x	0 80	10	1 %
Caolinita *	pH H ₂ O	Y = 154 4541 - 18 2055 x	-0 91	10	1 (°/∞)
Fe asimilable *	CO *	Y = -0 2723 + 0 5578 x	0 79	9	5 %
Fe asimilable *	N *	Y = -0 1374 + 4 5281 x	0 68	9	5 %
CO *	Caliza activa *	Y = 0 7296 + 0 0297 x	0 86	10	1 %
pH H ₂ O	Caliza activa *	Y = 7 0287 + 0 0931 x	0 87	10	1 %
Calcita *	Caliza activa *	Y = 1 8508 + 2 5702 x	0 89	10	1 (°/∞)
Caolinita *	Caliza activa *	Y = 27 6912 - 1 8694 x	-0 87	10	1 %

* Variables expresadas en porcentajes

** Variables expresadas en cmol (+)/kg

Análisis factorial

El análisis factorial (Cuadro 10) se realizó partiendo de la estructura de la matriz de correlación y constituyó una fase de interpretación más completa y sintética. Las 37 variables estudiadas pueden sustituirse por cuatro factores que explicarían el 90% (89,796%) de la variancia acumulada o total. La variación explicada por los factores Varimax cae desde 39%, en el primer factor, a 10% en el último.

Estos porcentajes aislada y acumulativamente se consideraron un resultado óptimo de acuerdo con la bibliografía consultada sobre la aplicación del análisis factorial al medio edáfico. En un estudio genético de los suelos de la alta montaña mediterránea, Barahona *et al.* (1982) realizaron un análisis factorial de modo R y explicaron con diez factores un 81% de la variancia del sistema. En este mismo tipo de análisis, McNeal *et al.* (1985), sobre suelos de las grandes llanuras (EE.UU.) y con el objetivo de investigar los elementos químicos extractables, obtienen cuatro factores en los horizontes A (74% de variancia) y siete factores en las capas C (77,2%). Al estudiar suelos del noroeste de Florida, Ovalles y Collins (1988) explicaron con cinco factores del análisis de componentes principales más del 73% de la variancia. Por último, Brown *et al.* (1990), en un análisis similar al anterior sobre suelos orgánicos del sur de Canadá, justificaron con tres factores el 62,9% de la variancia. En conclusión, el soporte edáfico de las viñas productoras de vino de Málaga puede describirse con cuatro factores en forma completa.

El factor 1 recoge un total de 18 variables de diversa índole física, fisicoquímica, química y de composición

(incluyendo las fases minerales), para explicar una gran proporción de variancia del sistema (39,242%). Algunas de las relaciones parciales entre variables puestas en evidencia, ya se discutieron. Se interpretó como un factor genético, por ser los procesos de formación del suelo, en última instancia, los que permiten establecer un nexo entre las diversas variables y el signo de sus cargas. El incremento de carbonato en el medio (variables porcentaje de CaCO₃ equivalente, porcentaje de calcita, porcentaje de dolomita) supone una acumulación de carbono orgánico y nitrógeno total, interpretable como una acentuación paralela de los procesos de calcificación y humificación para producir formas de tipo mull carbonatado (Bottner 1971). Paralelamente, el complejo de cambio de cationes (variables Ca²⁺ de cambio, suma de bases) y la solución del suelo (variable pH en H₂O, pH en CIK y conductividad), se basifican. Por otra parte, en ese medio más carbonatado y básico está desfavorecida (carga negativa) la caolinita, que requiere para su formación soluciones relativamente más ácidas y pobres en bases; tal como puede ser entendido a través del estudio de diagramas de equilibrios de fases aplicables al medio edáfico (Okumura 1990).

El segundo factor explica casi el 30% de la variancia (27,778%) y se consideró como un factor fisicoquímico, porque hace referencia al complejo de cambio y específicamente a la capacidad de cambio de cationes. Todas las variables implicadas se relacionan con ella, más o menos, directamente. Así, cuando la capacidad de cambio creció, el porcentaje de arcilla también aumentó y, además, se presentó más rica en esmectita (mineral de la arcilla de mayor capacidad de cambio de cationes de todos los encontrados en estos suelos). Paralelamente, se incrementaron los cationes de cambio no

Cuadro 10. Análisis factorial de modo R.

Variable	Cargas			
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
C O *	0.943			
Caliza activa *	0.939			
Caolinita *	-0.899			
Laminares *	-0.876			
Ca ²⁺ **	0.864			
S **	0.863			
C ₂ O ₃ Ca equivalente *	0.860			
Fe asimilable *	0.855			
C E (mS/cm)	0.849			
pH CIK	0.831			
Calcita *	0.820			
pH H ₂ O	0.804			
Liño *	0.731			
Interestratificados	-0.707			
Arena *	-0.704			
Goetita *	-0.690			
Mg ²⁺ **		0.948		
Arcilla **		0.936		
C E C **		0.931		
Retención H ₂ O (1500 KPa) *		0.923		
Na ⁺ **		0.911		
Retención H ₂ O (33 KPa) *		0.830		
K ⁺ **		0.734		
Esmectita *		0.725		
Ilita *		-0.659		
Feldespatos K *		-0.637		
Grava *		-0.603		
P asimilable (mg/100 g)		0.463		
Cuarzo *			0.862	
C/N			0.831	
N *			-0.714	
Dolomita *			-0.667	
Agua útil (mm/cm)				0.927
Feldespatos Na *				0.809
Hematitas *				0.804
Saturación				-0.677
Variancia explicada	39.249	27.778	12.841	9.935
Variancia explicada acumulada	39.242	67.020	79.861	89.796

Notas:

* Variables expresadas en porcentajes

** Variables expresadas en cmol (+)/kg

ligados específicamente al complejo carbonatado (Na⁺ y K⁺) y el Mg⁺⁺, que —como ya se demostró— se relaciona con la esmectita. Secuencialmente, y como era de esperar, se incrementó la retención de agua y hubo menos grava.

Los factores 3 y 4 son de más difícil interpretación, pues recogen un número pequeño de variables y explican aproximadamente sólo el 10% de variancia, cada uno. Ambos hechos refuerzan la evidencia que por diversas vías se ha presentado en este estudio: acerca de las estrechas relaciones entre el medio mineral, entendido como proporciones de los distintos minerales, y las

propiedades del suelo medidas rutinariamente para su calificación, como la saturación de bases de cambio, la retención de agua utilizable por las plantas, el nitrógeno total y otras.

CONCLUSIONES

Del estudio del sustrato edáfico de los cultivos de vid utilizados en la fabricación del vino de Málaga (denominación de origen), en las principales comarcas productoras (Axarquía, llanos de Antequera-Mollina y costa occidental), se puede concluir lo siguiente:

- Respecto al medio físico, los suelos están desarrollados en laderas, a veces de paisajes montañosos, bajo clima mediterráneo y sobre sustratos geológicos de micasquistos (materiales metamórficos ácidos) y sedimentos carbonatados.
- Los suelos, de los tipos Cambisol, Calcisol y Regosol, presentan una evolución edafogenética de pequeña a moderada. La calificación analítica y mineralógica de las capas enraizables permite afirmar que son medios de texturas francoarenosas, francas y francoarcillosas, esqueléticas; con niveles de carbono, nitrógeno y algunos de los principales macronutrientes, relativamente bajos; reservas de agua de escasas a moderadas; pH desde el campo neutro al ligeramente básico y contenidos de carbonatos muy variables, existiendo suelos decarbonatados y otros fuertemente calcáreos. Las principales fases minerales presentes son filosilicatos (ilita, esmectita, caolinita, interstratificados y clorita) cuarzo y, en algunos casos, carbonatos, feldespatos y óxidos e hidróxidos de hierro.
- Existen importantes diferencias entre el sustrato edáfico de algunas de las comarcas productoras de vino de Málaga, que se manifestaron con ANOVA, además de diferencias entre las medias de la "t" de Student. Como suelos de escaso a moderado desarrollo, estas diferencias se relacionan principalmente con el tipo de sustrato geológico (ácido o carbonatado), aunque también influyen la diversidad de modelos de medios edafocímicos y la evolución edafogenética, inclusive.
- El análisis factorial de modo R, con rotación Varimax, explica el 90% de la variancia del sistema. Por tanto permite definir los sustratos edáficos estudiados con los factores establecidos: factor genético, factor fisicoquímico y factores de relación entre el medio mineral (proporciones de especies minerales) y las características analíticas empleadas para calificar los suelos.

LITERATURA CITADA

- ALEJO, M. 1966. Vinos y viñas de España. Madrid, Mundi-Prensa p. 109-126
- BARAHONA, E.; DELGADO, R.; LINARES, J. 1982. Estudio de las características del sistema edáfico de Sierra Nevada mediante análisis factorial. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 41(3-4):427-446.
- BARCELO, E. 1949. Proyectos de repoblación de viñedos: Pasificación y vinificación. Tesis doctoral. Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. 218 p.
- BARCELO, G.; PARRAGA, J.; RUIZ, C.; DELGADO, R. 1985. Efectos de la deforestación sobre los suelos de la Comarca de Antequera (Málaga). I. Caracteres generales del área y morfología de los perfiles. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 44(56):681-698.
- BERGER, J. 1969. *Introductory soils*. London, Mc Millan. 371 p.
- BOHN, H.; Mc NEAL, B.; O'CONNOR, G. 1985. *Soil chemistry*. Chichester, Wiley-Interscience. 329 p.
- BOTTNER, P. 1971. La pédogenese sur roches mères calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du Sud de la France. Tesis doctoral. Montpellier, Francia, Universidad de Montpellier. 278 p.
- BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. 1980. *Crystal structures of minerals and their X-ray identifications*. London, Mineralogical Society Monograph no. 5. 495 p.
- BROWN, D. A.; MATHUR, S. P.; BROWN, A.; KUSHNER, D. 1990. Relationships between some properties of organic soils from the southern Canadian shield. *Canadian Journal of Soil Science* 9:363-377.
- CAPEL M., J. 1981. Los climas de España. Barcelona, Oikos-Tau. 429 p.
- CHAPMAN, H. D. 1965. Cation exchange capacity. In *Methods of soil analysis*. C. A. Black *et al* (Eds.) *Agronomy (EE UU)* 9:891-901.
- DAVIS, J. C. 1973. *Statistics and data analysis in geology*. New York, John Wiley. 550 p.
- DELGADO, R. 1980. Edafología y geoquímica de las alteraciones superficiales en la cuenca alta del río Dilar. Tesis doctoral. Sierra Nevada, España, Universidad de Granada. 668 p.
- DELGADO, R.; BARAHONA, E.; HUERTAS, F.; LINARES, J. 1992. Los mollisoles de la cuenca alta del río Dilar. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 41:59-82.
- DELGADO, R.; BARAHONA, E.; HUERTAS, F.; LINARES, J. 1993. Alteraciones superficiales en Sierra Nevada, España: Geoquímica de las soluciones naturales. *Estudios Geológicos* 39:319-328.
- DRAKE, E.; MOTTO, H. 1982. An analysis of the effect of clay and organic matter content on the cation exchange capacity of New Jersey soils. *Soil Science (USA)* 133(5):281-288.
- DUCHAUFOR, Ph. 1984. Edafología I. Edafogénesis y clasificación. Barcelona, Masson. 493 p.
- ESPAÑA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1976. Orden Ministerial de 16-11-1976 por la que se regula el Reglamento de la Denominación de Origen Málaga y de su Consejo Regulador. Madrid. Boletín Oficial del Estado Español.
- ESPAÑA. MINISTERIO DE AGRICULTURA. 1982. Métodos oficiales de análisis de suelos y aguas. Madrid. 182 p.
- FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA) 1977. *Gúfas para la descripción de perfiles de suelos*. Roma, FAO. 60 p.

- FAO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION Y LA AGRICULTURA); UNESCO (ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACION LA CIENCIA Y LA CULTURA) 1991 Mapa mundial de suelos. Leyenda revisada. Versión española. Roma 142 p.
- GAUCHER, G. 1981. *Traité de pédologie agricole. II. Les facteurs de la pédogenèse*. París. Lelotte 730 p.
- GLACK, C.A. 1975. *Relaciones suelo-planta*. Buenos Aires, Arg. Hemisferio Sur 866 p.
- GONZALEZ G. S.; SANCHEZ, C.M. 1968. Differentiation of kaolinite from chlorite by treatment with dimethylsulfoxide. *Clay Minerals (U.K.)* 7:446-451.
- GUTIERREZ, F.; TRUJILLO, M.; FIGUERUELO, M.; CURBELO, C. 1987. Viñedos canarios: Zona de Acentejo. II. Características físicas del suelo. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 46(78):964-1004.
- HERAS, I. 1976. La fertilidad de los suelos de la provincia de Logroño, dedicados a viñedo en las zonas Rioja alta y baja acogidos a la denominación de origen. Zaragoza, INIA. 52 p.
- IGME (INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA) 1977. Mapa tectónico y memoria explicativa del mismo, de la Península Ibérica y Baleares. Madrid, Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria. (Esc. 1:1 000 000).
- JOESKOG, K.; KLOVAN, J.; REYMENT. 1976. *Geological factor analysis*. New York Elsevier. 178 p.
- KNONOVA M.M. 1982. *Materia orgánica del suelo*. Barcelona, Oikos-Tau 365 p.
- LAMONTAGNE, L.; CAMIRE, C. 1987. Soil analysis and numerical classification of the Lonaraie delta, Quebec. *Canadian Journal of Soil Science* 67:417-432.
- LASSO DE LA VEGA, B. 1989. *Influencia edáfica en vinos con denominación de origen "Málaga"*. Tesis de Licenciatura. España, Universidad de Málaga 821 p.
- LELONG, R.; ROOSE, E.; AUBERT, G.; FRANK, R.; PEDRO, G. 1984. *Geodynamique actuelle de différents sols à végétation naturelle ou cultivés d'Afrique de l'Ouest*. *Catena (Alemania)* 11:343-376.
- McNEAL, J.M.; SEVERSON, R.; GOUGH, L. 1985. The occurrence of extractable elements in soils from the northern Great Plains. *Soil Science Society of America Journal (EE UU)* 49:873-881.
- MELLOR, A. 1987. A pedogenic investigation of some soil chronosequences on neoglacial moraine ridges, southern Norway: Examination of soil chemical data using principal components analysis. *Catena (Alemania)* 14:369-381.
- NAVARRO, G.; MENDEZ, C.; ZUÑEL, C.; NAVARRO, S. 1987. Vites vinífera en el Campo de Cartagena. I. Aspectos edafoclimáticos y del desarrollo de fruto. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 46(1-2):201-209.
- OCIO, A.; GUERRA, A.; JIMENEZ, R.; BATLLE, J. 1987a. Suelos de la Rioja Alavesa. I. Entisoles y Aridisoles. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 46(7-8):813-833.
- OCIO, A.; GUERRA, A.; JIMENEZ, R.; BAILLE, J. 1987b. Suelos de La Rioja Alavesa. II. Inceptisoles. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 46(7-8):835-852.
- OCIO, A.; GUERRA, A.; JIMENEZ, R.; BATLLE, J. 1987c. Suelos de La Rioja Alavesa. III. Mollisoles, alfisoles y síntesis final. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 46(9-10):1059-1075.
- OKUMURA, S. 1990. Geochemistry of plagioclase weathering in the Nabari gabbroic body, southwest Japan, and a kinetic model of neof ormation mechanism in an open system. *In International Clay Conference (9., 1989, Strasbourg) Proceedings*. V. Farmer, Y. Tardy (Eds). *Sciences Geologiques Mémoires (Francia)* 85:129-38.
- OVALLES, F.A.; COLLINS, M.E. 1988. Variability of northwest Florida soils by principal component analysis. *Soil Science Society of America Journal (EE UU)* 52:1430-1435.
- PARRAGA, J.; BARCELÓ, G.; DELGADO, R. 1985. Efectos de la deforestación sobre los suelos de la comarca de Antequera (Málaga). II. Propiedades y clasificación de los perfiles. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 44(5-6):699-715.
- PARRAGA, J.; BARCELÓ, G.; SORIANO, M.; SANCHEZ, M. 1992. Los suelos de la comarca vinícola de la Axarquía (Málaga). *In Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo (3., Pamplona, España)* p 381-386.
- RICHARDS, L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. U.S. Salinity Laboratory. USDA Handbook no. 60.
- RIVAS M., S. 1987. *Memoria del mapa de series de vegetación de España*. Ministerio de Agricultura. Monografías ICONA 268 p.
- RODRIGUEZ, J. 1983. *Análisis metodológico de técnicas de marketing en la comercialización de los vinos de Málaga*. Tesis doctoral. España, Universidad de Málaga 258 p.
- RUSSELL, E.J.; RUSSEL, E.W. 1968. *Condiciones del suelo y crecimiento de las plantas*. Madrid, Aguilar 801 p.
- SERRANO, F. 1979. *Los foraminíferos planctónicos del Mioceno de la cuenca de Ronda y su comparación con los de otras áreas de las cordilleras béticas*. Tesis doctoral, Málaga, Universidad de Málaga. 272 p.
- TRUJILLO, I.; FIGUERUELO, E.; GUTIERREZ, F.; TRUJILLO, J. 1987. Viñedos canarios: Zona de Acentejo. IV. Estudio estadístico de regresión y contraste de hipótesis de las propiedades físicas y químicas de los suelos. *Anales de Edafología y Agrobiología (España)* 44(11-12):1457-1475.
- USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1972. *Methods and procedures for collecting soil samples*. Soil Survey Laboratory, Soil Conservation Service (EE UU) 63 p.
- USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE). 1975. *Soil taxonomy*. Soil Survey Staff, Soil Conservation Service. USDA Handbook no 436. 754 p.
- WRIGHT, W.R.; FOSS, J.E. 1972. Contributions of clay and organic matter to the cation exchange capacity of Maryland soils. *Soil Science Society of America Proceedings (EE UU)* 36:115-118.