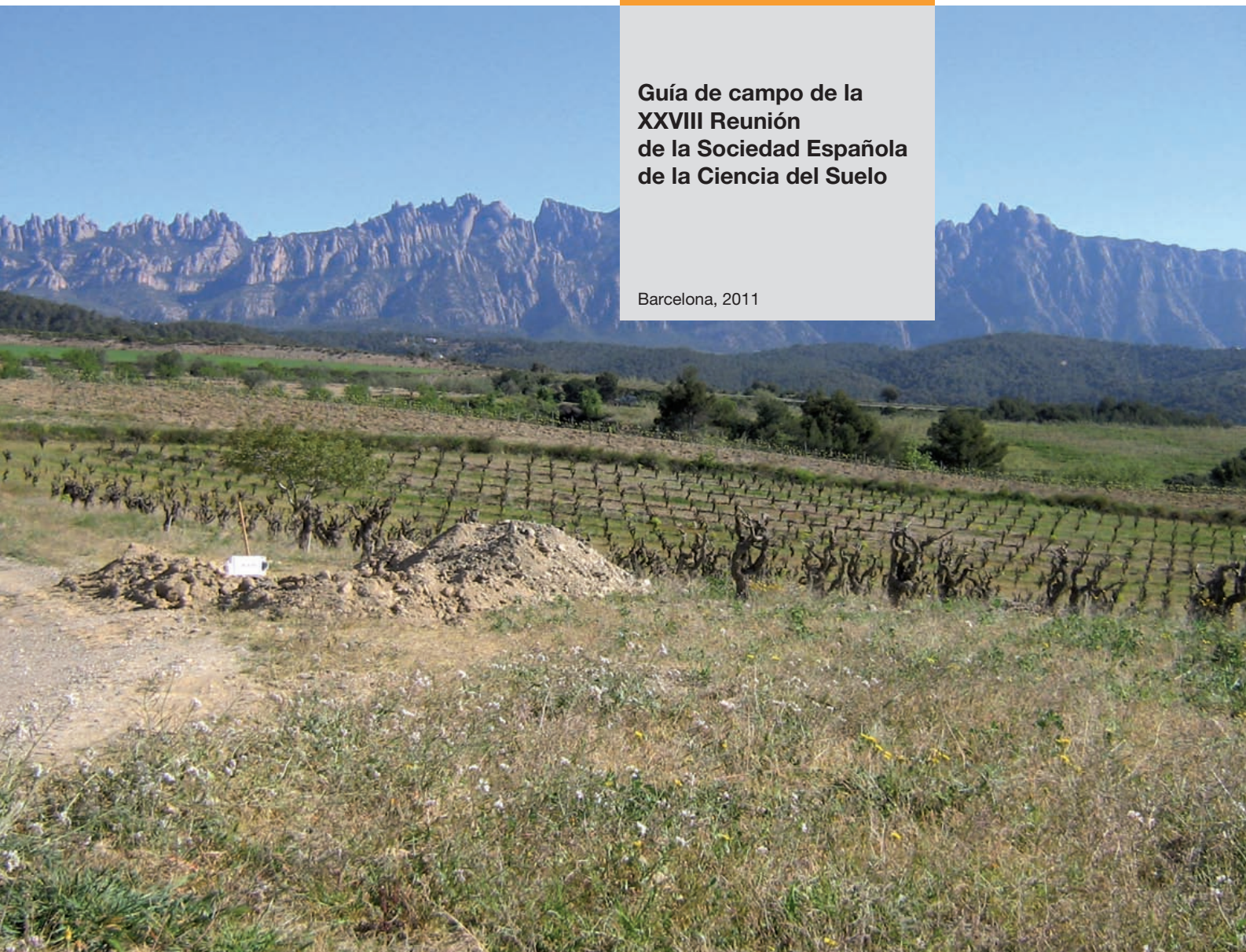


2 Monografies
tècniques

**Itineraris edàfics
por Catalunya:
el Priorat,
la Cerdanya
y el Penedès**

**Guía de campo de la
XXVIII Reunión
de la Sociedad Española
de la Ciencia del Suelo**

Barcelona, 2011



 **IGC**
Institut Geològic
de Catalunya

 Generalitat de Catalunya
**Departament de Territori
i Sostenibilitat**

Itinerarios edáficos por Cataluña: el Priorat, la Cerdanya y el Penedès

Reunión de Ciencia del Suelo

28ª Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Itinerarios edáficos por Cataluña: el Priorat, la Cerdanya y el Penedès

Reunión de Ciencia del Suelo

28ª Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo

Catalunya, 4-7 Septiembre 2011



Coordinación

J. M. Alcañiz

BARCELONA, 2011

Sociedad Española de la Ciencia del Suelo. Reunión (28a : 2011 : Barcelona, Catalunya)

Itinerarios edáficos por Cataluña : el Priorat, la Cerdanya y el Penedès : Reunión de Ciencia del Suelo, 28a Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo : Catalunya, 4-7 septiembre 2011. – (Monografies tècniques ; 2)

Bibliografia

ISBN 9788439387633

I. Alcañiz, Josep M. (Josep Maria), ed. II. Abellà, Andreu III. Institut Geològic de Catalunya IV. Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat V. Títol VI. Col·lecció: Monografies tècniques (Institut Geològic de Catalunya) ; 2

1. Sòls – Catalunya – Congressos 2. Edafologia – Catalunya – Congressos 631.4(467.1)(061.3)

Coordinació

Josep Maria Alcañiz

Autors

Andreu Abellà, Xiomara Abreu, Josep Maria Alcañiz, Emili Ascaso, Carme Audí, J. Carles Balasch, Jaume Boixadera, Angela D. Bosch, Vicenç Carabassa, Gustau Carrillo, Xavier Castelltort, Francisco Fonseca, Carmen Herrero, Mariona Losantos, Massimo Marchesi, José A. Martínez-Casanovas, Silvana Nacci, Oriol Ortiz, Neus Otero, Jordi Palau, Idefonso Pla, Rosa M. Poch, Marta Puiguriguer, M. Concepción Ramos, Esteve Serra, Iolanda Simó, Albert Soler, Xavier Sort, Josep M. Ubalde i Marc Vicens.

En cadascun dels capítols i imatges s'indiquen els autors i autores respectius.

Maquetació:

Institut Geològic de Catalunya

Impressió:

Fotoletra, S.A.

1a edició: setembre 2011

ISBN: 9788439387633

Dipòsit legal: B-28.955-2011

© Els autors dels capítols

© Institut Geològic de Catalunya, 2011, de la present edició
www.igc.cat

Imatge de la coberta: Paisatge de la Comarca de l'Anoia on s'ha realitzat un escandall.

AUTORES DE LOS CAPÍTULOS

Andreu Abellà

Xiomara Abreu

Josep Maria Alcañiz

Emili Ascaso

Carne Audí

Joan Carles Balasch

Jaume Boixadera

Angela D. Bosch

Vicenç Carabassa

Gustau Carrillo

Xavier Castelltort

Francisco Fonseca

Carmen Herrero

Mariona Losantos

Massimo Marchesi

José A. Martínez-Casasnovas

Silvana Nacci

Oriol Ortiz

Neus Otero

Jordi Palau

Idefonso Pla

Rosa Maria Poch

Marta Puiguriguer

Maria Concepción Ramos

Esteve Serra

Iolanda Simó

Albert Soler

Xavier Sort

Josep Miquel Ubalde

Marc Vicens



Índice

Prólogo	9
Presentación	11
1. Introducción	13
1.1. El medio natural de Cataluña	13
1.2. La cartografía de suelos en Cataluña	30
1.3. Descripción de los itinerarios	48
2. Itinerario por las comarcas del Priorat y la Ribera de l'Ebre	57
2.1. Itinerario edáfico por la comarca del Priorat	57
2.2. Abancalamientos de tierras para nuevas plantaciones de viña en la comarca del Priorat: efectos sobre el régimen hídrico de los suelos y sus consecuencias	82
2.3. Suelos sobre loess en el valle inferior del río Ebro	100
3. Itinerario por la comarca de la Cerdanya	124
3.1. Suelos del Pirineo Catalán: la Cerdanya	124
4. Itinerario por la comarca del Penedès y l'Anoia	159
4.1. Itinerario edáfico por la Denominación de Origen Penedès	159
4.2. Mapa y evaluación de los suelos del ámbito geográfico Denominación de Origen Penedès	194
4.3. Problemas de erosión en los suelos del Penedès	215
4.4. Aplicación de la cartografía de suelos muy detallada en la gestión de los viñedos	233
4.5. Nivelación de tierras en l'Alt Penedès: efectos sobre el régimen hídrico de los suelos y sus consecuencias	243
5. Casos de contaminación y rehabilitación de suelos	253
5.1. Investigación y recuperación de suelos y acuíferos contaminados: el caso de Hightex en Òdena	253
5.2. Rehabilitación de suelos en canteras de caliza: el caso de La Falconera (Garraf)	265

Pròleg

Celebrem que la 28a Reunió de la Societat Espanyola de la Ciència del Sòl (SECS) tingui lloc a Catalunya. L'Institut Geològic de Catalunya (IGC) ha tingut l'ocasió i la voluntat de col·laborar amb la SECS i amb les altres entitats organitzadores d'aquest esdeveniment, en particular encarregant-se de l'edició i publicació d'aquesta monografia, i participant en la preparació d'alguns dels itineraris que s'hi inclouen.

Aquest volum s'inclou dins de la col·lecció "Monografies Tècniques" de l'IGC, de les quals els dos primers números publicats es refereixen a la temàtica dels sòls, un dels camps d'activitat d'aquest organisme, tal com mana la Llei 19/2005 del Parlament de Catalunya, de 27 de desembre, de creació de l'Institut Geològic de Catalunya. És indiscutible la importància del sòl com a recurs natural no renovable a curt i a mitjà termini i l'interès per la seva conservació, tant per les seves funcions ecològiques (producció de biomassa, filtre, hàbitat i reserva biològica), com per les seves funcions vinculades a l'activitat humana (font de matèries primeres, patrimoni cultural i mitjà sobre el qual es desenvolupen moltes activitats socioeconòmiques).

Una de les principals missions de l'Institut és l'adquisició, l'anàlisi i la distribució de dades, la informació i el coneixement sobre el medi físic de Catalunya i els processos que hi tenen lloc, incloent diferents àmbits de les ciències de la terra i tractant informació geològica, edafològica i, en general, geotemàtica. En aquest sentit cal destacar el programa del mapa de sòls de Catalunya a escala 1:25.000 que estem desenvolupant en col·laboració amb el Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural i que s'integra dins del Pla de geotreballs, 6 programes concebuts no de manera aïllada sinó amb una òptica conjunta, potenciant sinergies entre els diferents grups de treball i tractant els aspectes necessàriament relacionats i interconnectats. Aquests són: I) el mapa geològic a escala 1:25.000; II) el mapa geològic dels processos actius i recents i de l'activitat antròpica – mapa geoantròpic 1:25.000; III) el mapa geològic de zones urbanes 1:5.000; IV) el mapa de sòls 1:25.000; V) el mapa hidrogeològic 1:25.000, i VI) el mapa per a la prevenció de riscos geològics 1:25.000.

Trobades científiques com aquesta permeten donar a conèixer els sòls d'un determinat territori, faciliten la transferència de resultats de treballs de recerca portats a terme pels tècnics i, sobretot, fomenten la trobada i el diàleg entre persones que estan elaborant treballs de recerca i d'informació tècnica en edafologia, permetent l'intercanvi d'opinions i l'activació de futures col·laboracions. Esperem que la monografia publicada serveixi d'instrument per a aquests objectius i aprofito per agrair i expressar el meu reconeixement al coordinador i als seus autors.

Antoni Roca Adrover
Director de l'Institut Geològic de Catalunya

Prólogo

Celebramos que la 28ª Reunión de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (SECS) tenga lugar en Cataluña. El Instituto Geológico de Cataluña (IGC) ha tenido la ocasión y la voluntad de colaborar con la SECS y con las otras entidades organizadoras de este evento, en particular encargándose de la edición y publicación de la monografía y participando en la preparación de algún itinerario incluida en ella.

Este volumen se incluye dentro de la colección de “Monografías Técnicas” del IGC, de las cuales los dos primeros números publicados se refieren a la temática de los suelos, uno de los campos de actividad de este organismo, por mandato de la Ley 19/2005 del Parlamento de Cataluña, de 27 de diciembre, de creación del *Institut Geològic de Catalunya*. Es indiscutible la importancia del suelo como recurso natural no renovable a corto y medio plazo y el interés de su conservación, por sus funciones ecológicas (producción de biomasa, filtro, hábitat y reserva biológica) y las ligadas a la actividad humana (fuente de materias primas, patrimonio cultural y medio sobre el que se desarrollan muchas de las actividades socio-económicas).

Una de las principales misiones del Instituto es la adquisición, análisis y distribución de datos, información y conocimiento sobre el medio físico de Cataluña y los procesos que en él tienen lugar, incluyendo diferentes ámbitos de las ciencias de la tierra y tratando información geológica, edafológica y, en general, geotemática. En este sentido cabe mencionar el programa del mapa de suelos de Cataluña a escala 1:25.000 que estamos desarrollando en colaboración con el Departamento de Agricultura, Ramadería, Pesca, Alimentación y Medio Natural, de la Generalitat de Catalunya, y que se integra dentro del Plan de Geotrabajos, 6 programas concebidos no de manera aislada sino con una óptica conjunta, potenciando sinergias entre los diversos grupos de trabajo y tratando los aspectos necesariamente relacionados e interconectados. Éstos son: I) el mapa geológico a escala 1:25.000; II) el mapa geológico de los procesos activos y recientes y de la actividad antrópica – mapa geoantrópico 1:25.000; III) el mapa geológico de zonas urbanas 1:5.000; IV) el mapa de suelos 1:25.000; V) el mapa hidrogeológico 1:25.000; y VI) el mapa para la prevención de riesgos geológicos 1:25.000.

Encuentros científicos como éste permiten dar a conocer los suelos de un determinado territorio, facilitan la transferencia de resultados de investigaciones llevadas a cabo por los técnicos y, en fin, fomentan el encuentro y diálogo entre personas que están llevando a cabo trabajos de investigación y de información técnica en edafología, dando lugar al contraste de opiniones y a la activación de futuras colaboraciones. Esperamos que la monografía publicada sirva de instrumento para estos objetivos y aprovecho para agradecer y expresar mi reconocimiento al coordinador y a los autores de la misma.

Antoni Roca Adrover
Director del Institut Geològic de Catalunya

Presentación

Querría empezar recordando el origen de las *Reuniones de Suelos de la SECS* que, como todas las iniciativas, tienen su origen en personas con creatividad. Unas personas con visión para intuir retos para la Ciencia del Suelo en un momento dado y que estuvieron dispuestas a aportar su esfuerzo para dar el impulso necesario para conseguir que la idea llegase a ser una realidad.

Las *Reuniones de Suelos de la SECS* se iniciaron a principios de la década de los años 1970 con la organización de la *I Reunión sobre suelos del NO de España*. Esta reunión fue posible gracias a dos jóvenes, entonces, entusiastas, siempre, prestigiosos edafólogos: Francisco Guitián, que fue el Presidente del Comité organizador y Tarsy Carballas, que fue Coordinadora Científica y Secretaria del Comité Organizador, y que contaron con la colaboración de jóvenes edafólogos de la siguiente generación.

El objetivo de aquella *I Reunión* era ofrecer a la comunidad científica y a los estudiantes de doctorado la posibilidad de conocer de forma directa en el campo suelos recientemente estudiados. El principal centro de interés en aquellos años era el estudio de las características y componentes de los suelos, su génesis y clasificación.

Los itinerarios de campo de aquella primera *Reunión* de Santiago de Compostela, celebrada en 1973, sirvieron para mostrar suelos representativos de Galicia, perspectiva que se ampliaría años más tarde en la *X Reunión de Suelos de la SECS*, organizada también en Santiago de Compostela en 1981. Los objetivos científicos de la *Reunión* de 1973, que han inspirado las *Reuniones* posteriores, se alcanzaron plenamente, habiendo servido para fomentar el interés por el estudio del suelo entre muchos de los participantes más jóvenes. Las discusiones científicas en el campo fueron relevantes, y las de clasificación fueron siempre especialmente animadas. Con los poskubienistas, los afrancesados afines a Aubert, Duchaufour y la CPCS, los defensores de la leyenda de suelos de FAO y los pro-Séptima Aproximación y siguientes de *Soil Taxonomy* no podía ser de otro modo. Las discusiones acerca de la clasificación seguirían siendo animadas por muchos años, dado que la Ciencia del Suelo no ha sido capaz de llegar a un sistema único de clasificación de aceptación general. No obstante, en la actualidad con la *WRB* y *Soil Taxonomy* como referencias, y mucha mayor información en la mano, aquellas discusiones han ido decayendo.

La concurrencia a aquella primera *Reunión* se correspondió con el interés de la oferta, asistencia que se ha mantenido siempre por encima de las cien personas en todas las reuniones, a veces con problemas de *overbooking* al superarse las previsiones de los organizadores. El acierto de aquella iniciativa se ha visto confirmado por las sucesivas ediciones de *Reuniones* a lo largo de los últimos cuarenta años. La antorcha ha podido ser pasada de mano en mano sin dificultad, habiéndose llegado en 2011 a la *XXVIII Reunión de Suelos de la SECS*, que coordina Josep M. Alcañiz, a quien agradecemos, junto a todas las personas que han colaborado en la organización, su trabajo, su entusiasmo y sus desvelos para que la *Reunión* sea el éxito que auguramos y que anuncia ya la presente *Guía*.

Las sucesivas *Reuniones de Suelos de la SECS* han servido para que los equipos organizadores, de distintas partes de la geografía española, hayan podido dar a conocer los resultados de sus investigaciones, enriqueciéndose con los comentarios y sugerencias recibidas. Ello ha sido así, desde Canarias a Cataluña, pasando por Andalucía, Extremadura, Castilla-La Mancha, Madrid y Aragón; desde Murcia a Galicia, pasando por Valencia, Castilla y León, Navarra, País Vasco y Cantabria. No ha habido rincón de España que no haya sido objeto de una o más de una *Reunión*. Ello evidencia el ingente trabajo de investigación realizado en relación al suelo en España, no siendo las *Reuniones de Suelos de la SECS* el

producto principal de dicha actividad investigadora, evidentemente. Destacando puntos fuertes de las *Reuniones*, cabe indicar que han permitido un mejor conocimiento de los métodos de estudio, poner de relieve las funciones realizadas por los suelos, las aplicaciones de la información de suelos en agricultura, medio ambiente, ordenación y planificación territoriales.

Si bien en una primera etapa el interés de las *Reuniones* se centró en el estudio del suelo como cuerpo natural, aspecto que no se ha abandonado, con los años el centro de atención ha ido derivando hacia temas emergentes cada vez más transdisciplinares. Somos conscientes de que la SECS debe seguir intuyendo nuevos retos para la actividad en Ciencia del Suelo, para poder dar mejores respuestas a las demandas de la Sociedad. Unas demandas que en la actualidad derivan del papel del suelo en la biosfera, de las relaciones entre el suelo y el medioambiente, yendo más allá de la función del suelo en la producción de alimentos. Por ello las *Reuniones* adoptan cada vez más, enfoques innovadores, como el estudio de cambios de uso del territorio, el almacenamiento de carbono y cambio climático, la protección de los suelos y el medioambiente, la contaminación de suelos, la rehabilitación de suelos, el reciclado de residuos y seguridad alimentaria, la información espacial de suelos en los GIS, entre otros aspectos emergentes. Se presta igualmente mayor atención a la transferencia de conocimientos y tecnología, aspectos que deben seguir siendo enfatizados en las próximas *Reuniones*.

Cabe destacar que se viene observando que el estudio del suelo con un enfoque orientado al medio ambiente es el que más estudiantes atrae a cursos de suelos en la actualidad en las universidades y está permitiendo cambiar la tendencia en la demanda de cursos de suelos.

Por otro lado, en un momento como el actual, en que ha adquirido gran importancia el establecimiento de redes de equipos de investigadores para llevar a cabo proyectos conjuntos de investigación, las *Reuniones de Suelos de la SECS* se revalorizan. No hay duda que las *Reuniones* vienen siendo un foro en el que especialistas de distintas Secciones de la SECS se encuentran, se conocen personalmente, reducen fronteras entre los distintos ámbitos de la SECS. Ello sirve para establecer las bases de futuras colaboraciones en una investigación más transversal. Con poco menos de quinientos socios, la SECS agrupa a casi todos los especialistas españoles en suelos, por lo que constituye un buen instrumento para favorecer la relación y la comunicación científica y profesional entre ellos, y para estimular el interés por temas emergentes en los que el suelo desempeñe un papel central. Este es el enfoque que están aconsejando los estudios sobre tendencias en investigación, docencia y empleo en Ciencia del Suelo, para promover que el estudio del suelo adquiriera un papel más preeminente y atraiga a jóvenes científicos altamente cualificados.

Jaume Porta Casanellas
Presidente de la SECS

1. Introducción

1.1. El medio natural de Cataluña

Josep M. Alcañiz^{1,2}, Vicenç Carabassa¹, Mariona Losantos³, Marc Vicens³

(1) Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Edifici C, Campus UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, España.

(2) Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Dpto. Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Facultat de Biociències, Campus UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, España.

(3) Institut Geològic de Catalunya; c/ Balmes 209-211, 08006 Barcelona.

Resumen

Aquí se presenta una síntesis de la geografía física de Cataluña, especialmente de los factores que más influyen en la formación de los suelos. Se describen las grandes unidades del relieve, la geología, el clima, la vegetación y los usos del suelo.

1.1.1. Grandes unidades del relieve de Cataluña

Con una superficie de 32.107 km², Cataluña concentra una orografía muy variada y compartimentada. Una pequeña ojeada al mapa topográfico permite distinguir las principales unidades fisiográficas de Cataluña: los Pirineos, el Sistema Mediterráneo y la Depresión Central o Depresión del Ebro (figura 1).

Los Pirineos son una cordillera alineada de oeste a este, en la cual se localizan los macizos y las cimas más elevadas de Cataluña.

En sentido longitudinal los Pirineos se han dividido clásicamente en occidentales, centrales y orientales; en Cataluña tan sólo están presentes los dos últimos, con la Cerdanya actuando como límite entre ambos. Los Pirineos centrales concentran los macizos más elevados, con cumbres que superan los 3.100 m. Por su parte, los Pirineos orientales van decreciendo desde alturas próximas a los 3.000 m, en el sector oeste, hasta llegar al nivel del mar en el cabo de Creus.

En sentido transversal (norte-sur), la cordillera pirenaica ha sido dividida en Pirineos axiales y Prepireneos, estos últimos están formados por el conjunto de sierras que, también alineadas en dirección oeste-este, ocupan la franja meridional de los Pirineos. En los Prepireneos se suelen diferenciar dos grandes subunidades: las sierras interiores, conjunto de sierras situadas inmediatamente al sur de los Pirineos axiales con macizos que superan los 2.000 m, y las sierras exteriores, que sólo se encuentran en los Pirineos centrales y que presentan alturas máximas por debajo de los 1.700 m.

El conjunto de valles amplios y cuencas situadas entre las montañas de los Pirineos constituyen las cuencas intramontanas, entre las que destacan la Cerdanya, el Urgellet, la cuenca de Tremp y la cuenca de Àger.

El Sistema Mediterráneo es una unidad fisiográfica compleja formada por un conjunto de sierras y depresiones que transcurren paralelas a la línea de la costa, y por las sierras transversales.

Las sierras y depresiones costeras son un conjunto de cadenas montañosas de orientación NE-SO que delimitan grandes valles. Atendiendo a su posición respecto a la línea de costa, las sierras y las depresiones costeras se han denominado clásicamente sierras Prelitoral y Litoral.

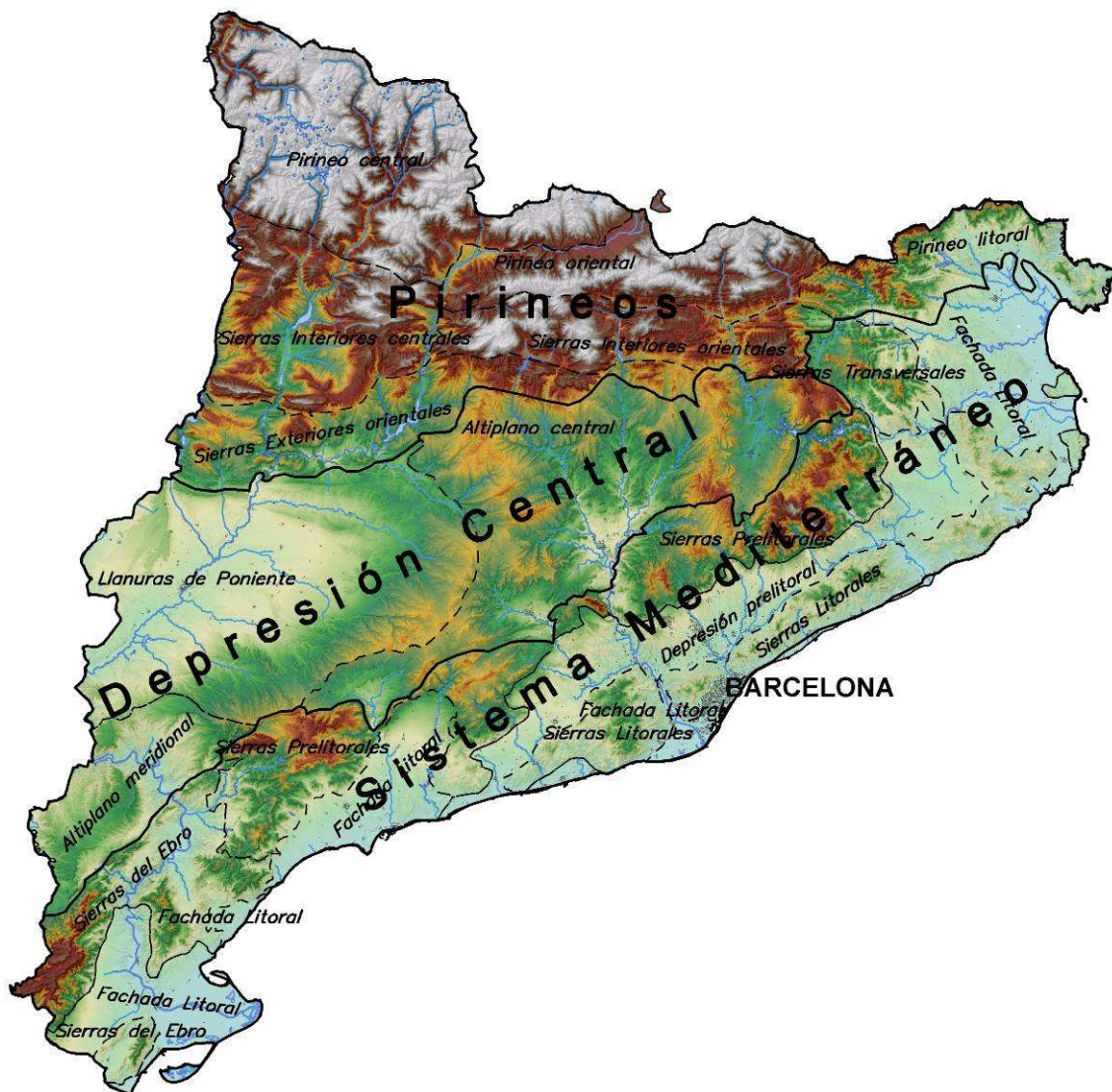


FIGURA 1. Grandes unidades del relieve de Cataluña.

La Sierra Prelitoral, adosada por su parte oeste a la Depresión del Ebro, es la más importante y presenta relieves que sobrepasan a menudo los 1.000 m. Destacan el Montseny (1.712 m), Montserrat (1.224 m), las montañas de Prades (1.201) y los Ports de Tortosa (1.447 m). La Sierra Litoral es más modesta; sus cotas se mantienen entre los 500 y 800 m y a ella pertenecen el Montnegre (758 m), Collcerola (448 m) o el Garraf (658 m). Entre ambas sierras quedan delimitados los valles que componen la Depresión Prelitoral (Vallés, Penedès).

Las sierras transversales, formadas por un conjunto de cadenas montañosas de orientación NO-SE, conectan el Prepirineo con el Sistema Mediterráneo y limitan las sierras y depresiones costeras por el Norte.

Las depresiones litorales del Empordà se extienden entre el extremo oriental de los Pirineos, las sierras transversales y el mar, ocupando las áreas distales de las cuencas hidrográficas de los ríos Muga, Fluvià, y Ter.

La Depresión Central es una gran unidad con forma triangular, alargada en dirección SO-NE. Está rodeada por las sierras antes descritas y forma unos relieves relativamente suaves. Se suele diferenciar en ella dos áreas: las Llanuras de Poniente y los Altiplanos Centrales.

Los altiplanos centrales ocupan la mitad oriental y forman el conjunto de sierras y llanuras generadas por la erosión de la red fluvial de las cuencas catalanas. Entre otras destacan la Plana de Vic, el Bages, la cuenca de Òdena y la de Barberà.

Las llanuras de poniente pertenecen a la cuenca hidrográfica del Ebro. Al tener el nivel de base en el delta del Ebro, más alejado que los altiplanos centrales, presentan menores efectos por la incisión de la red de drenaje.

1.1.2. Síntesis geológica

Cataluña está constituida, a grandes rasgos, por cuatro unidades geológicas mayores: los Pirineos, las Cadenas Ibérica y Costera catalana, la Cuenca del Ebro y las fosas y cuencas neógenas (figura 2).

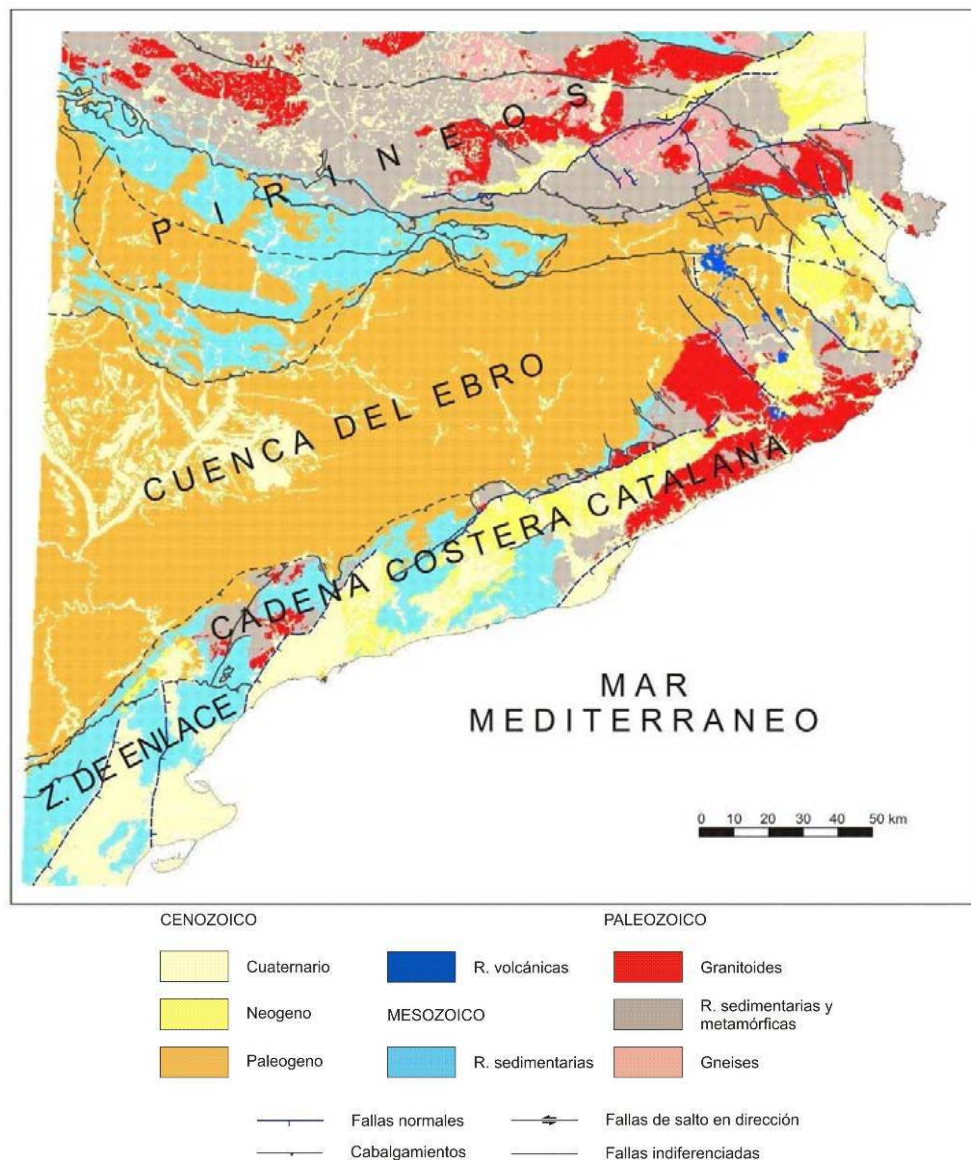


FIGURA 2. Mapa geológico del extremo NE de la Península Ibérica.

Los Pirineos

Los Pirineos son una extensa cadena montañosa dispuesta en dirección E-O, que discurre desde el litoral cantábrico hasta el Mediterráneo. Se formaron durante la orogenia alpina como consecuencia del acercamiento y la colisión entre la antigua Placa Ibérica y la Placa Euroasiática; este proceso se inició a finales del Mesozoico y culminó a finales del Paleógeno.

La estructura alpina de los Pirineos en Cataluña se caracteriza por el desplazamiento hacia el sur y el apilamiento de un conjunto de mantos de corrimiento. Estos mantos están formados por rocas del Paleozoico, del Mesozoico y del Paleógeno que, a su vez, reflejan la evolución geológica de éste sector de la cordillera con anterioridad y sincrónicamente a la orogenia alpina.

La posición respecto al eje de la cordillera pirenaica y la distribución de los diversos materiales permite definir varias unidades de menor rango. En sentido longitudinal se diferencian tres sectores, de los cuales en Cataluña afloran el central y el oriental. En sentido transversal los Pirineos se dividen según los materiales que lo forman. Así, los materiales del Paleozoico afloran en ambas vertientes del eje de la cordillera, coincidiendo con las cumbres más elevadas y formando la denominada Zona Axial. Al sur de la Zona Axial afloran los materiales sedimentarios del Mesozoico y del Paleógeno, con predominio de los primeros en el Pirineo central y de los segundos en el oriental.

La Zona Axial está formada por rocas sedimentarias, metamórficas e ígneas de edades comprendidas entre el Neoproterozoico y el Pérmico; éste conjunto ya había sido plegado durante la orogenia hercínica e intruido por numerosos cuerpos de granitoides. Entre los diversos materiales que afloran en la Zona Axial destacan por su extensión las alternancias de areniscas y pizarras, las calizas y las rocas graníticas y granodioríticas. La Zona Axial pirenaica está irregularmente cubierta por sedimentos detríticos cuaternarios, aunque actualmente toda ésta área está sometida a erosión intensa.



FIGURA 3. Sierra del Cadí. Pirineo Axial Oriental.

En el Pirineo Central, al sur de la Zona Axial, afloran los materiales del Mesozoico. Constituyen un conjunto de mantos de corrimiento desplazados hacia el sur e imbricados. Predominan las rocas carbonatadas del Jurásico y del Cretácico y, en menor proporción, rocas carbonatadas y detríticas del Paleógeno (Terciario). Localmente abundan los yesos y sales del Triásico. También se reconocen depósitos cuaternarios extensos, como la cuenca de Tremp, donde también predominan actualmente los procesos erosivos.

En el Pirineo Oriental afloran los materiales sedimentarios del Paleógeno y, en menor proporción, los del Mesozoico. También constituyen un sistema de mantos de corrimiento, en el cual los materiales paleógenos se desplazaron hacia el sur llevando “a cuestras” a los mantos formados por rocas mesozoicas que forman a su vez un conjunto de mantos superpuestos. La serie paleógena está formada por calizas, margas y rocas detríticas entre las

que, localmente, abundan los conglomerados. Los materiales mesozoicos son predominantemente calizos y margosos. En esta zona los sedimentos cuaternarios son escasos excepto en las fosas neógenas.

El límite entre los Pirineos y la Cuenca del Ebro está definido a grandes rasgos por las estructuras frontales de los cabalgamientos pirenaicos en el sector central y por los depósitos paleógenos en el Pirineo oriental.

El extremo oriental de la Cordillera Ibérica y la Cadena Costera catalana

La Cordillera Ibérica es una cadena montañosa que se extiende en dirección NO-SE excepto en su extremo oriental, donde las estructuras se disponen en dirección E-O definiendo la llamada Zona de Enlace con la Cadena Costera catalana, que tiene una orientación SO-NE. Ambas Cadenas montañosas se formaron durante la orogenia alpina en el interior de la antigua Placa Ibérica. En Cataluña tan solo aflora una parte de la Zona de Enlace y toda la Cadena Costera. En ésta última, la estructura compresiva alpina está muy desdibujada debido a la compartimentación posterior en bloques hundidos y elevados (ver el apartado Fosas y Cuencas neógenas).

El extremo oriental de la Cordillera Ibérica, la Zona de Enlace, está formado exclusivamente por materiales del Mesozoico, que abarcan del Triásico medio al Cretácico. Predominan los carbonatos, calizas y dolomías, y en menor proporción, margas y rocas sedimentarias detríticas. La estructura está definida por un conjunto de láminas cabalgantes que se desplazaron hacia el norte. En las zonas próximas al margen de la Cuenca del Ebro, los depósitos Paleógenos también están involucrados en algunas estructuras.



FIGURA 4. "Els Ports", zona de enlace entre la Cordillera Ibérica y la Cadena Costera Catalana.

La Cadena Costera catalana se caracteriza por la orientación SO-NE de las estructuras tectónicas, fallas inversas y cabalgamientos con desplazamiento hacia el NO y fallas de salto en dirección siniestra. Estas estructuras involucran al conjunto de las rocas del Paleozoico y del Mesozoico y, en el margen de la Cuenca del Ebro, a los materiales sedimentarios Paleógenos anteriores y coetáneos a la deformación. Las rocas del Paleozoico afloran ampliamente en el sector septentrional y de forma más restringida al sur. Se trata mayoritariamente de granitoides y rocas sedimentarias paleozoicas que comprenden del Cámbrico al Carbonífero, entre las que predominan las alternancias de areniscas y lutitas, a menudo afectadas por metamorfismo de contacto. Las rocas sedimentarias mesozoicas ocupan la parte central y meridional de la Cadena Costera, donde están representados el Triásico, el Jurásico y buena parte del Cretácico. Predominan las rocas carbonatadas, calizas y dolomías, mientras que las rocas detríticas están irregularmente distribuidas; también se reconocen tramos con yeso abundante.

La Cuenca del Ebro

Esta unidad corresponde a una antigua cuenca sedimentaria que se desarrolló y rellenó durante el Paleógeno y principios del Neógeno. Está limitada al norte por los Pirineos, al suroeste por la cordillera Ibérica y al sureste por la Cadena Costera catalana. Los sedimentos más antiguos afloran en sus márgenes oriental y septentrional, son rocas detríticas y carbonatadas. Pero la mayor parte del relleno sedimentario de ésta cuenca está formado por rocas detríticas distribuidas a grandes rasgos según la granulometría; así abundan los conglomerados y areniscas adosados a los márgenes activos de la cuenca, mientras que en el área central predominan las arenisca y lutitas, con intercalaciones de calizas y niveles de yesos. Sobre éste conjunto se reconocen depósitos detríticos cuaternarios muy extensos.

La estructura interna de la cuenca es simple en la zona central, con los estratos horizontales o ligeramente inclinados hacia el oeste; en el sector NE muestran una estructura plegada, con sinclinales amplios y anticlinales estrechos. Pero en sus márgenes, donde éstos materiales se vieron involucrados en las estructuras compresivas alpinas, muestran estructuras y relaciones tectónico-sedimentarias muy complejas.

Las fosas y cuencas neógenas

Las fosas y cuencas neógenas se disponen a lo largo de la costa catalana en dirección SO-NE excepto en el extremo NE de Cataluña, donde se disponen en dirección NO-SE; son las fosas del Baix Ebre, del Camp, del Vallès-Penedès, de Barcelona y del Empordà; todas ellas están abiertas al mar. Existen además cuencas interiores, como la de la Selva, al norte de la Cadena Costera catalana, y la Cerdanya, en los Pirineos. Todas estas cuencas sedimentarias se formaron como consecuencia del desarrollo de un conjunto de fallas normales de edad neógena, relacionadas con la apertura del Mediterráneo occidental. Este sistema de fallas se superpone a todas las unidades geológicas descritas anteriormente. La mayoría de éstas fallas están orientadas en dirección SO-NE y tienen los bloques SE hundidos. Delimitan fosas y semifosas tectónicas donde se acumularon los sedimentos neógenos y cuaternarios. El relleno sedimentario es mayoritariamente detrítico -conglomerados, areniscas y lutitas- excepto en las áreas próximas al litoral, donde se depositaron carbonatos y margas. En el sector NE, a favor de las fallas en dirección NO-SE, se produjeron erupciones volcánicas que formaron conos de escorias y extensas coladas basálticas neógenas y cuaternarias.

Los sedimentos cuaternarios recubren buena parte de las rocas neógenas en la mayoría de las cuencas; se trata de depósitos detríticos que forman abanicos aluviales extensos, sistemas de terrazas fluviales y travertinos. Ya en la costa, se formaron durante el cuaternario reciente los deltas del Ebro y del Llobregat y las llanuras aluviales del Ter y la Muga.



FIGURA 5. Delta del Ebro.

1.1.3. Clima

La posición geográfica de Cataluña en el contexto de la circulación atmosférica general, la situación del mar y el continente, y la variada orografía permiten una diversidad climática muy elevada en relación a su extensión territorial. La situación latitudinal de Cataluña y su posición a occidente del continente europeo le confieren un clima general de tipo mediterráneo pero con muchos matices ya que participa de las influencias subtropicales, oceánicas y polares que generan unos contrastes estacionales muy marcados. La pluviometría es muy irregular, si bien el invierno suele ser una estación relativamente seca debido a que los frentes atlánticos, más frecuentes en esta época, llegan desgastados a la costa mediterránea. La barrera que ofrecen

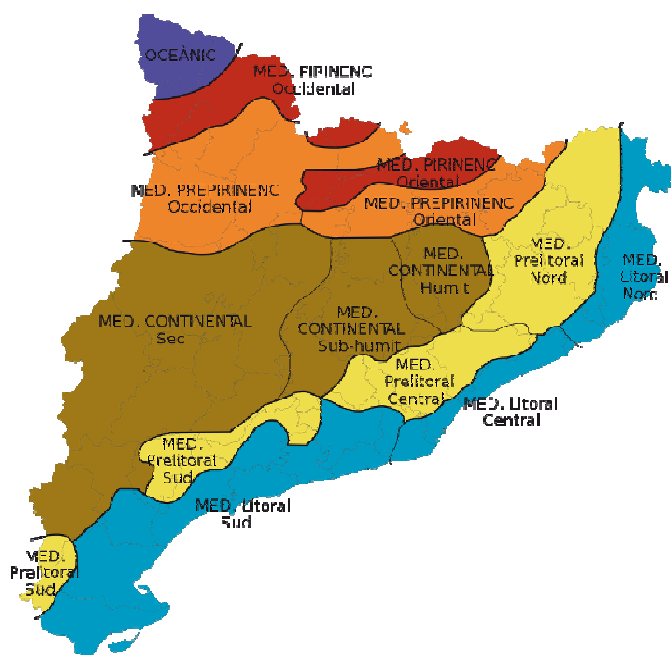


FIGURA 6. Diversidad climática de Cataluña basada en criterios termopluiométricos. Fuente: *Servei Meteorològic de Catalunya*, a partir de Martín-Vide, 1992b.

las sierras litorales y prelitorales a la influencia marítima induce un clima de carácter continental en la Depresión Central y en otras depresiones interiores. El Valle de Aran constituye una excepción a lo dicho al tratarse de un valle abierto a las influencias del Atlántico. El rango de temperaturas medias del aire es también muy amplio, de 0°C a 17°C, condicionado principalmente por el gradiente topográfico que abarca desde el nivel del mar hasta los 3.400 m. Todo ello proporciona una variedad muy notable de mesoclimas que ejercen su influencia en la formación de los suelos (figura 6).

Precipitación

La distribución de las lluvias es muy irregular en Cataluña, con un rango de precipitación media anual comprendido entre cerca de los 400 mm en las zonas más áridas de poniente localizadas en las proximidades de Lleida, hasta las mayores precipitaciones que superan los 1.200 mm y que se dan en el Pirineo, en las cabeceras de los ríos Noguera Pallaresa y Ribagorzana, Segre, Llobregat y Ter. La figura 7 muestra el mapa de distribución de las precipitaciones medias anuales donde se observa un claro gradiente N-S, con alguna excepción debido a las barreras montañosas paralelas a la costa. El área seca, con precipitaciones inferiores a los 600 mm, abarca aproximadamente el tercio SW de Cataluña.

El régimen pluviométrico estacional también presenta notables diferencias en las distintas zonas climáticas de Cataluña. Así, el otoño suele ser la estación más lluviosa en la franja costera y en las depresiones prelitorales, pero no en el Pirineo y Prepirineo donde suele ser el verano o la primavera. Esta particularidad difumina el carácter mediterráneo del clima en estas últimas zonas (falta de sequía estival marcada). En el caso del Valle de Aran, la distribución estacional de las precipitaciones está bastante equilibrada, atendiendo al carácter oceánico del clima en este valle. La intensidad de las precipitaciones también es muy irregular si bien suelen ser más intensas en verano en las zonas de montaña, y en otoño en la costa y zona prelitoral.

Temperatura

La distribución de las temperaturas sigue un patrón más simple que el de las precipitaciones, en primer lugar en función del gradiente de altitud y en segundo de la diferencia de radiación recibida en función de la latitud, aunque a la escala local es también muy importante el efecto orientación N o S de las laderas. La figura 8 muestra el mapa de distribución de las temperaturas medias anuales en el que se puede observar que la isoterma de 14 °C permite distinguir la zona costera y la SW como las más cálidas. Esta isoterma marca también el límite aproximado entre el régimen de temperaturas méxico y térmico del suelo (considerando $T_{\text{media suelo a 50cm}} = T_{\text{media aire}} + 1 \text{ °C}$). Las zonas más frías con temperaturas medias inferiores a los 8 °C corresponden a las partes altas del Pirineo, Prepirineo y cumbre del Montseny.

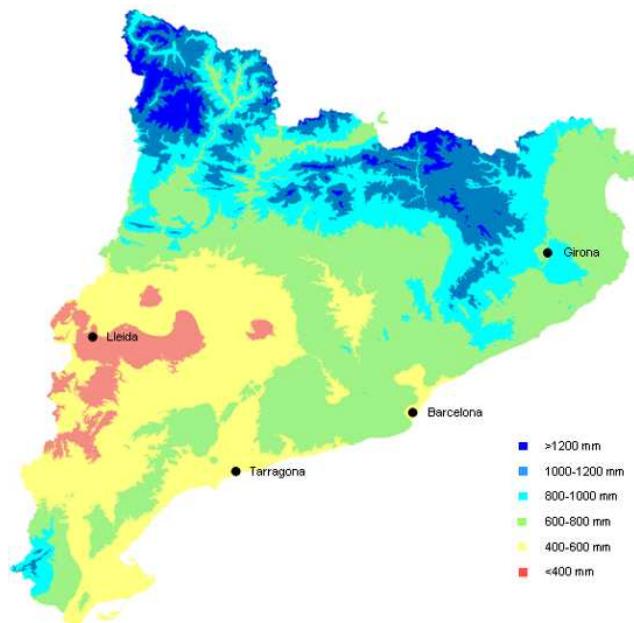


FIGURA 7. Mapa simplificado de distribución de las precipitaciones medias anuales en Cataluña. Fuente: a partir del *Atlas Climàtic Digital de Catalunya*, Ninyerola *et al.*, 2001.

La amplitud térmica alcanza los 20 °C en la Depresión Central catalana, valores que se pueden considerar elevados en el conjunto de la Península Ibérica. Incluso en la zona costera la amplitud térmica se acerca a los 15 °C, lo que indica una moderada influencia marítima.

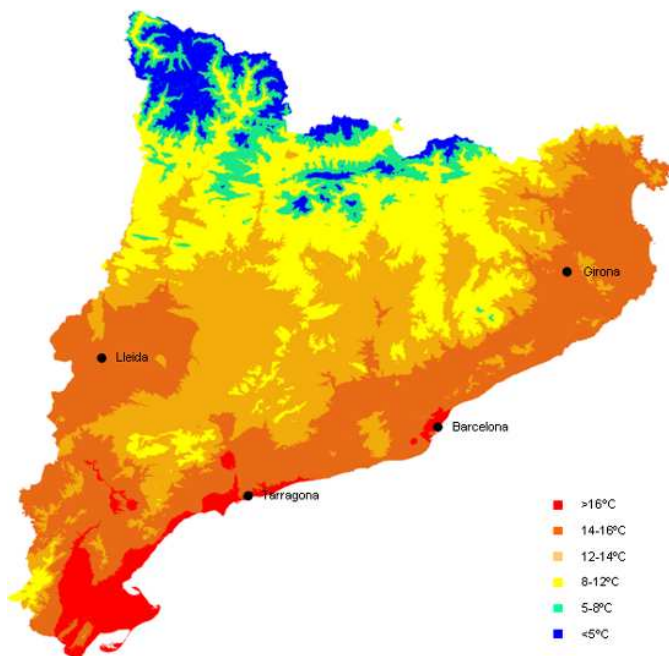


FIGURA 8: Mapa de distribución de las temperaturas medias anuales del aire en Cataluña. Fuente: a partir del *Atlas Climàtic Digital de Catalunya*, Ninyerola *et al.*, 2001.

La tendencia constatada de incremento de temperatura en las últimas décadas, atribuida al cambio climático, hará aumentar la superficie de zonas cálidas en el conjunto de Cataluña, según Martín-Vide *et al.* (2010). El incremento calculado a partir de las series de datos de temperaturas más consistentes (periodo 1950-2008) se ha cifrado en +0,21 °C/década, a partir de 1980, si bien con una considerable irregularidad en su distribución. El verano es la estación que ha sufrido un mayor incremento de temperatura (+0,35 °C/década).

Diagramas climáticos representativos y regímenes de humedad del suelo

La diversidad climática de Cataluña queda bien reflejada en la selección de climogramas que se muestran en la figura 9. El balance hídrico indica zonas de gran aridez climática en el centro y sur de la provincia de Lleida, y por el contrario, zonas húmedas en el Pirineo axial, buena parte del Prepirineo, Sierra Transversal y la cubeta de Olot.

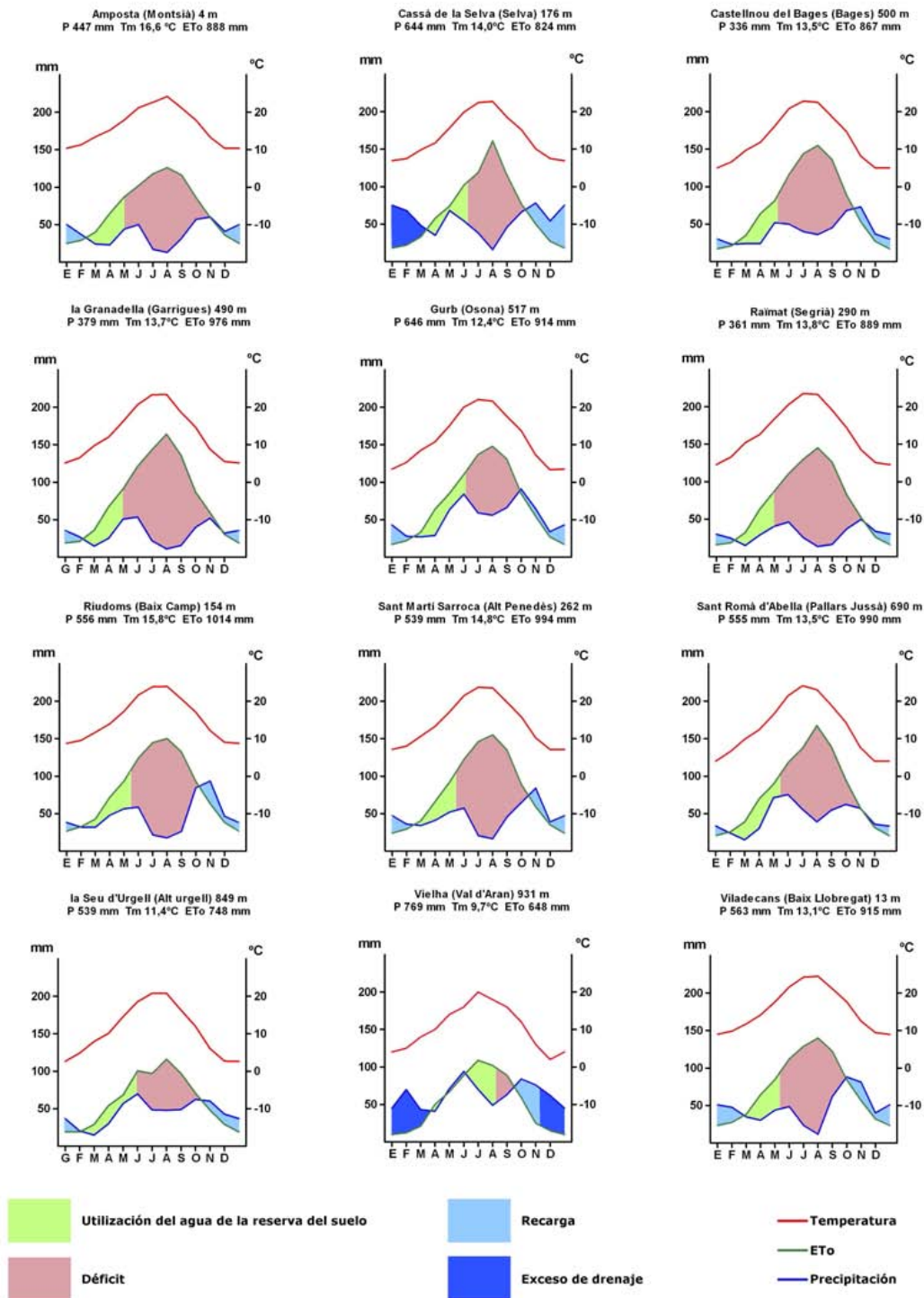


FIGURA 9. Climogramas (P mm, T °C, ETo mm) que muestran el balance hídrico de una selección de localidades correspondientes a diferentes zonas climáticas de Cataluña. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la *Xarxa Agrometeorològica de Catalunya*.

Todos los regímenes de humedad del suelo están presentes en Cataluña, aunque, dadas sus características climáticas es fácil comprender la dificultad de establecer límites precisos para las áreas de distribución. En la figura 10 se presenta una primera aproximación a la distribución de los regímenes de humedad en Cataluña. Esta distribución se ha estimado a partir de los datos que presenta el Atlas Climático Digital de Cataluña (Ninyerola *et al.*, 2000). La evapotranspiración del cultivo de referencia se ha calculado utilizando la ecuación de Hargreaves (FAO, 2006).

El régimen xérico es el que ocupa mayor extensión, pero también existe una considerable proporción del territorio con suelos en régimen ústico (incluyendo el pérudico). Entre ambos se sitúa una franja de ústico en aquellas zonas del Prepirineo donde la estación más lluviosa es el verano o incluso la primavera. Aunque todavía no está definida con total precisión, la superficie con régimen arídico se supone reducida a las partes más áridas de la provincia de Lleida.

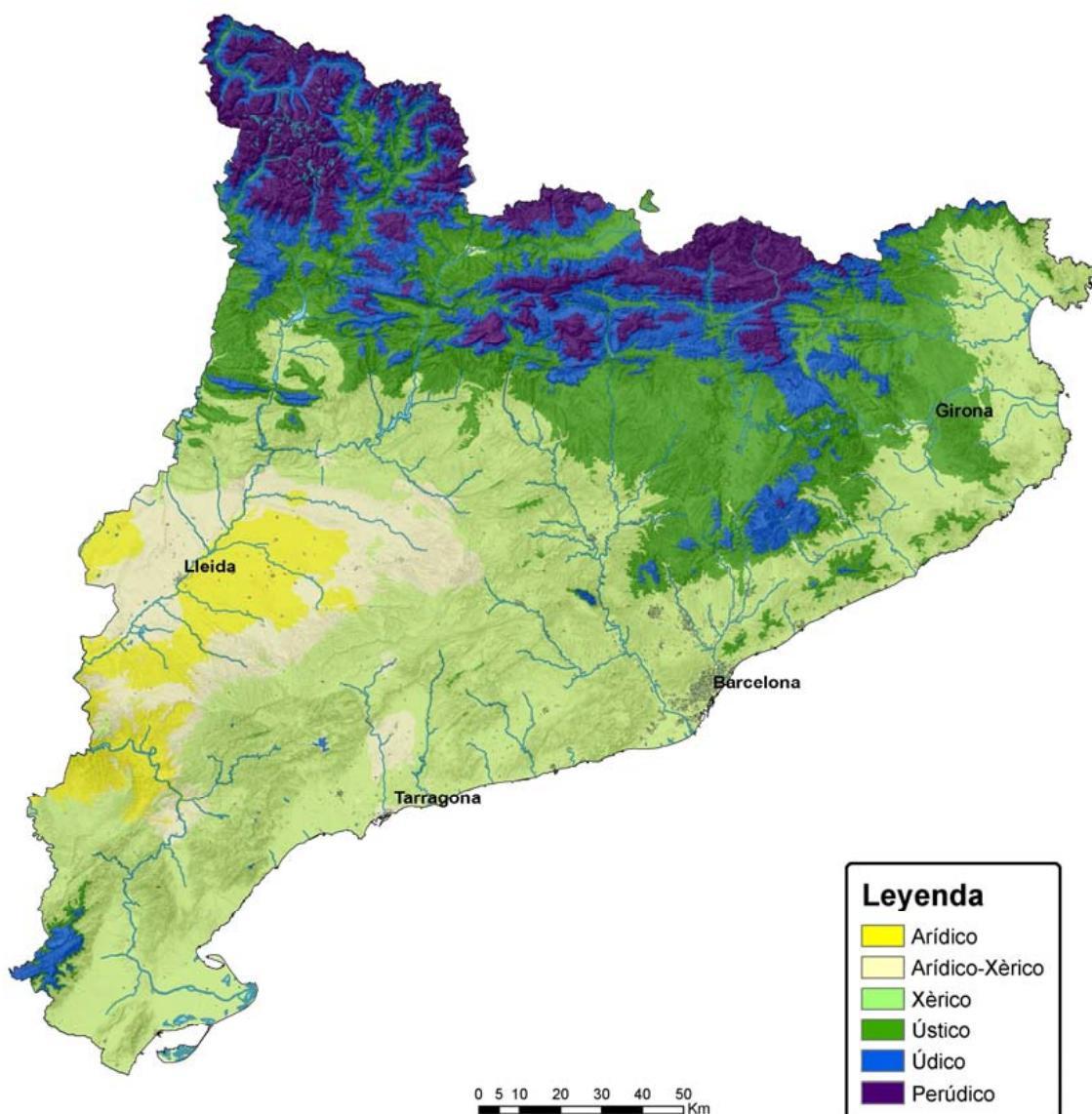


FIGURA 10. Distribución aproximada de los regímenes de humedad del suelo en Cataluña, obtenida a partir de los datos del Atlas Climático Digital de Cataluña (Ninyerola *et al.*, 2001) y la evapotranspiración del cultivo de referencia calculada según la ecuación de Hargreaves (FAO, 2006). Fuente: IGC.

1.1.4. Principales formaciones vegetales

La variedad de condiciones meso y microclimáticas que origina la orografía catalana, en combinación con la de litologías, permite una elevada diversidad de tipos de vegetación. Desde un punto de vista biogeográfico, que integra criterios ecológicos, geográficos y florísticos, en Cataluña podemos diferenciar tres grandes regiones en cuanto a la vegetación predominante: la mediterránea, la eurosiberiana y la boreoalpina. La primera es la más extensa y se sitúa en las áreas de altitud relativamente baja o en los litorales, y se caracteriza por una vegetación perennifolia más o menos xerófila; la segunda comprende las áreas húmedas de influencia atlántica y zonas de montaña ocupadas por una vegetación caducifolia (hayas, robles) o bien bosques de abetos, pino negro de montaña o pino silvestre; la tercera ocupa las áreas culminares de los Pirineos por encima de los 2.200 m, altura que ya no permite el desarrollo de árboles, por lo que la vegetación está dominada por prados de alta montaña y arbustos rasos. La figura 11 muestra la distribución de las formaciones vegetales más características de Cataluña.

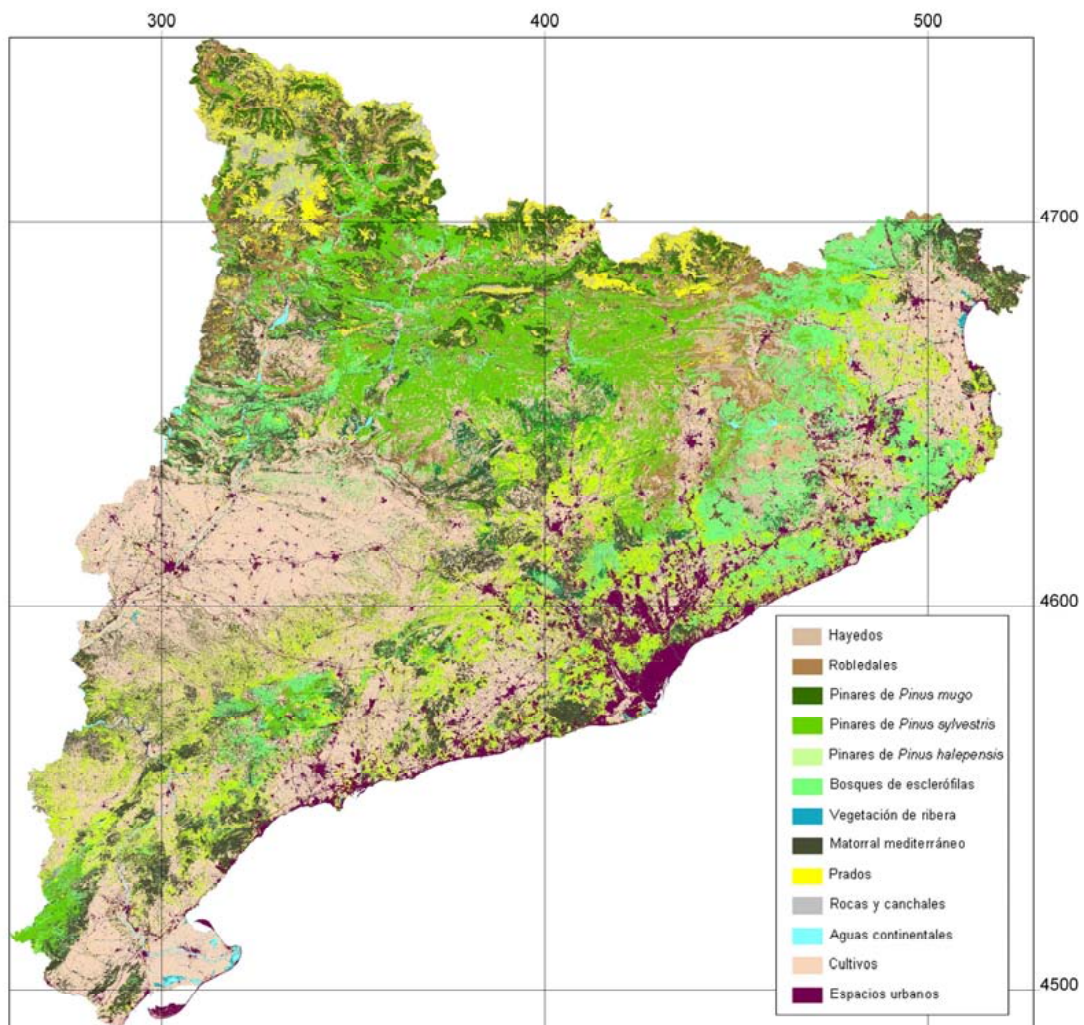


FIGURA 11. Distribución de las principales formaciones vegetales en Cataluña. Los bosques se designan por la especie de árbol dominante. Los robledales corresponden a bosques dominados por *Quercus humilis=pubescens*; los pinares de *Pinus sylvestris* incluyen también bosques de *Pinus nigra*; los de *Pinus halepensis* contienen también *Pinus pinea*; los bosques de esclerófilas incluyen los encinares montanos, los litorales y los carrascales. La categoría de matorrales mediterráneos incluye las máquias, garrigas y las diversas formas de matorral. (Reelaborado a partir del MCSC; <http://www.creaf.uab.es/mcsc/>).

Piso alpino

A efectos descriptivos resulta más práctico definir zonas y pisos de vegetación. Así la vegetación de la región borealpina en Cataluña comprende el piso alpino (y el nival), con formaciones de prados dominados por gramíneas y un conjunto de plantas de origen ártico que llegaron a esta latitud en pasadas glaciaciones y que han quedado refugiadas y aisladas en las zonas altas de los Pirineos que suponen el límite sur de su área de distribución. La diversidad de estos prados es muy notable y contiene bastantes especies raras o endémicas. La diferenciación de los suelos en el piso alpino está muy ligada al desarrollo de un denso sistema radicular de las plantas pratenses (*Festuca sp.* y *Carex sp.*), muy eficiente para retener el suelo y que permite la formación de horizontes A ricos en materia orgánica. El piso alpino contiene también una variedad considerable de hábitats que permiten el desarrollo de comunidades alpinas especializadas; así por ejemplo, encontramos especies características en los canchales, humedales (ibones, turberas) y en la vegetación rupícola alpina.

Piso subalpino

Descendiendo de altitud, entre 1.600 y 2.300 m aproximadamente, encontramos el piso subalpino, dominado en Cataluña por los bosques de pino negro de montaña (*Pinus uncinata* = *Pinus mugo*) y, más localmente, de abetos (*Abies alba*), más frecuentes en la parte atlántica de los Pirineos (Val d'Aran). En las zonas más húmedas, el sotobosque está ocupado entre muchas otras especies por el rododendro, *neret* (*Rhododendron ferrugineum*) y el arándano *nabiu* (*Vaccinium sp.*), en las zonas más secas domina el enebro rastrero (*Juniperus communis ssp. nana*), el piorno, *bàlec* (*Cytisus purgans*) o la gayuba, *boixerola* (*Arctostaphylos*). La degradación de este bosque, por ejemplo por pastoreo, conduce a formaciones pratenses de aspecto similar a las alpinas o a formaciones arbustivas bajas (landas) con las mismas especies de sotobosque antes mencionadas. Los abedules, *bedolls* (*Betula pendula*) aparecen localmente en zonas batidas por aludes.

Zona de vegetación caducifolia atlántica y submediterránea

A menor altura que el piso subalpino aparece, en zonas más húmedas, el dominio de la vegetación caducifolia de influencia atlántica, constituida por hayedos y bosques de robles de hoja ancha (*Quercus robur*), y en zonas menos húmedas, los bosques de roble pubescente (*Quercus humilis*) que nos indican ya unas características submediterráneas. Los pinares de *Pinus sylvestris* ocupan también amplias extensiones en la zona de montaña media subhúmeda catalana, solapándose con los hayedos y robledales. Los bosques caducifolios de condiciones atlánticas se sitúan preferentemente a media ladera en los Pirineos, y en umbrías del Prepirineo; también ocupan una parte de las montañas de la Serralada Transversal y algunos valles de la Garrotxa (Fageda d'en Jordà, Vall de Bianya, Vall d'en Bas) y del Montseny-Guilleries. Corresponden a zonas de régimen de humedad del suelo údico.

En cuanto a los bosques caducifolios submediterráneos, representados por *Quercus humilis (pubescens)*, se sitúan preferentemente en las solanas del Prepirineo, Serralada Transversal y las comarcas del Berguedà y Osona, en unas condiciones de disponibilidad hídrica bastante próximas a las del régimen ústico. Este tipo de bosque submediterráneo, al ser ya más abierto, es bastante rico en especies arbustivas caducifolias, incluso perennes como el boj (*Buxus sempervirens*). *Pinus sylvestris* es un árbol muy presente también en este tipo de vegetación, donde forma bosques muy extensos. *Pinus nigra* ocupa una posición similar al anterior pero en zonas más continentales de Cataluña (por ejemplo, en la comarca del Solsonès).

Todo este dominio de vegetación potencial ha sido muy intervenido por el hombre, por lo que grandes extensiones están ocupadas por cultivos.

Zona de vegetación mediterránea

Exceptuando las áreas antes mencionadas del Pirineo y Prepirineo, la mayor parte de Cataluña presenta una vegetación de características mediterráneas que ocupa la franja litoral, las tierras bajas interiores y la mayor parte de las montañas meridionales. Podemos diferenciar una subregión mediterránea septentrional caracterizada por formaciones de bosques esclerófilos bien desarrollados, una meridional mucho más arbustiva (máquias), y una subregión continental con formaciones arbóreo-arbustivas abiertas y matorrales.

El dominio de la vegetación mediterránea en las tierras bajas (por debajo de los 800 m aproximadamente) es casi completo y se manifiesta en las múltiples variantes de la esclerofilia y otras adaptaciones a la sequía estival. Se trata de un paisaje profundamente explotado y modificado por el hombre desde hace más de 2.000 años. La vegetación de las montañas del centro y sur de Cataluña, principalmente calizas, se caracteriza por una mejor conservación que en las tierras bajas y por adaptaciones extremas a la sequía y al herbivorismo, como son la pérdida de hojas y las formas de plantas en almohadillas espinosas.

En las montañas de la franja litoral y prelitoral del centro y norte de Cataluña destacan los densos bosques del encinar mediterráneo, dominados por la encina (*Quercus ilex ssp. ilex*), que ocupa unas 185.000 ha. (CREAF, 2004), y una numerosa serie de arbustos (*Viburnum tinus*, *Rhamnus alaternus*, *Phillyrea latifolia*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus unedo*, etc.) y lianas (*Clematis flammula*, *Smilax aspera*, *Hedera helix*, etc.). Se desarrolla en todo tipo de suelos aunque prefiere los profundos y desarrollados sobre rocas silíceas. En la provincia de Girona, sobre granodioritas y esquistos, se encuentra una variante del encinar con alcornocos (*Quercus suber*) tradicionalmente explotados para la obtención del corcho. Cuando la influencia marítima se atenúa hacia el interior de Cataluña aparecen los carrascales de *Quercus rotundifolia*. Se trata de formaciones arbóreas bastante abiertas, relativamente pobres en arbustos y plantas herbáceas que denotan una mayor dureza de las condiciones climáticas (frío invernal y sequía estival).

Los pinares de pino carrasco (*Pinus halepensis*) ocupan una gran extensión en toda el área mediterránea de Cataluña. De hecho es la especie arbórea que ocupa más superficie, unas 239.000 ha. (CREAF, 2004). Tiene una gran capacidad de colonización de terrenos abandonados y afectados por incendios forestales por lo que está en expansión. Acompaña a la mayoría de formaciones vegetales mediterráneas por lo que bajo su copa se pueden encontrar representadas las comunidades típicas de esta región. Menor extensión (36.000 ha; CREAF, 2004) ocupan los pinares de pino piñonero (*Pinus pinea*), especialmente situados en la costa norte (Maresme, Costa Brava) y en la depresión Prelitoral.

Las formaciones arbustivas más o menos desarrolladas (máquias, garrigas, matorrales, etc.) son también bastante extensas en Cataluña al sur del río Llobregat y hacia el interior, aunque aparecen como comunidades de degradación en todas partes. La máquia litoral de lentisco (*Pistacea lentiscus*), coscoja (*Quercus coccifera*), palmito (*Chamaerops humilis*), acebuche (*Olea europea*) y el espino negro (*Rhamnus lycioides*) está bien representada en la costa meridional catalana. En la parte continental (Segrià, Garrigues) la máquia se empobrece y en ella predomina la coscoja y el espino negro, con alguna sabina y algún lentisco. La garriga se puede considerar una comunidad secundaria que deriva de la degradación del encinar o carrascal, en la que la coscoja representa la especie dominante. Se desarrolla mayoritariamente sobre calizas y suele estar acompañada de romero (*Rosmarinus officinalis*) y otras especies de porte menor.

Los matorrales, ocupan las zonas más áridas de Cataluña y también representan comunidades de degradación de otras formaciones vegetales mediterráneas. En sustratos calizos degradados de la zona litoral son frecuentes los matorrales de romero y bruguera (*Erica multiflora*), acompañados de tomillo (*Thymus vulgaris*) y otras especies. Sobre sustratos silíceos los matorrales están formados por jaras, estepas y brezos diversos, comunidades muy propensas a los incendios.

Durante los recorridos programados tendremos ocasión de observar una parte de las formaciones vegetales descritas; si se desea ampliar la información se puede consultar alguna de las publicaciones del tema que se relacionan en la bibliografía (Riba *et al.*, 1976; Folch *et al.*, 1984).

1.1.5. Usos del suelo en Cataluña

En la última década se ha progresado en el conocimiento detallado de la ocupación del suelo mediante procedimientos estandarizados, lo cual es fundamental para el desarrollo de políticas territoriales. En este sentido, durante los últimos años han surgido diferentes normativas que pretenden establecer las bases para el desarrollo de proyectos para la determinación de la ocupación del suelo y el control de sus cambios. Así, el año pasado se aprobó el decreto autonómico 63/2010, de 18 de mayo, por el que se establece el Plan Cartográfico de Cataluña que determina los objetivos y la coordinación de las actividades de este ámbito que desarrolla la Generalitat. Este decreto señala las cubiertas del suelo como un elemento a cartografiar, con una periodicidad recomendada de 4 años. En la ejecución de esta cartografía interviene el CREAM. Este Centro ha creado las tres versiones existentes del Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña (MCSC), correspondientes a los años 1993, 2000-2003 y 2005-2007. De la generalización de este mapa se obtiene el Sistema de Ocupación del Suelo en España (SIOSE) correspondiente a Cataluña. Las cubiertas del suelo también forman parte del anexo II de la directiva INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe), desarrollada en colaboración con los estados miembros con el objetivo de poner a disposición de la administración y público en general información relevante, concertada y de calidad para evaluar, implementar y monitorizar las políticas de impacto o de planificación territorial de la Comunidad Europea.

En la figura 12 se muestra una panorámica general de los principales usos o cubiertas actuales del suelo en Cataluña. Según datos del MCSC (2005), la mayor parte del suelo catalán (63,4%) está ocupado por bosques o formaciones asimiladas a forestales (matorrales, prados naturales, suelo desnudo natural). Concretamente, dominan los bosques densos de coníferas (692.608 ha) y los matorrales (481.103 ha), seguidos de los bosques de esclerófilas (265.649 ha). Dentro de los bosques de coníferas predominan los bosques de *Pinus halepensis* (301.886 ha), seguidos por los de *Pinus sylvestris* (212.227 ha). En los bosques de esclerófilas existe un predominio claro de los dominados por *Quercus ilex* (226.467 ha).

Este claro predominio de los terrenos forestales en Cataluña contrasta con la media europea obtenida de la base CORINE, que indica que en el año 2005 existían en Europa 130 millones de hectáreas forestales, lo que representa el 36% de su superficie. Este dominio de los terrenos forestales en Cataluña es principalmente fruto de los procesos de abandono de terrenos agrícolas y despoblamiento rural, proceso que se da de forma generalizada en todo el Mediterráneo y que sólo se ve contrarrestado, parcialmente, por los dramáticos incendios forestales. Según datos de la Generalitat, la superficie arbolada de Cataluña aumentó casi un 20% entre 1970 y 1990. Esta tendencia es vigente en la actualidad ya que los datos procedentes de las diferentes ediciones del MCSC permiten afirmar que la superficie forestal ha crecido en un 5,2% entre 1993 y 2005. Como se ha comentado, el principal contribuyente a este crecimiento ha sido el abandono de campos de cultivo, que ha reducido un 12% su

superficie durante dicho período, lo que corresponde a unas 10.000 ha/año. De hecho, es el único tipo de cubierta del suelo que ha disminuido su superficie durante el período 1993-2005 (figura 13).

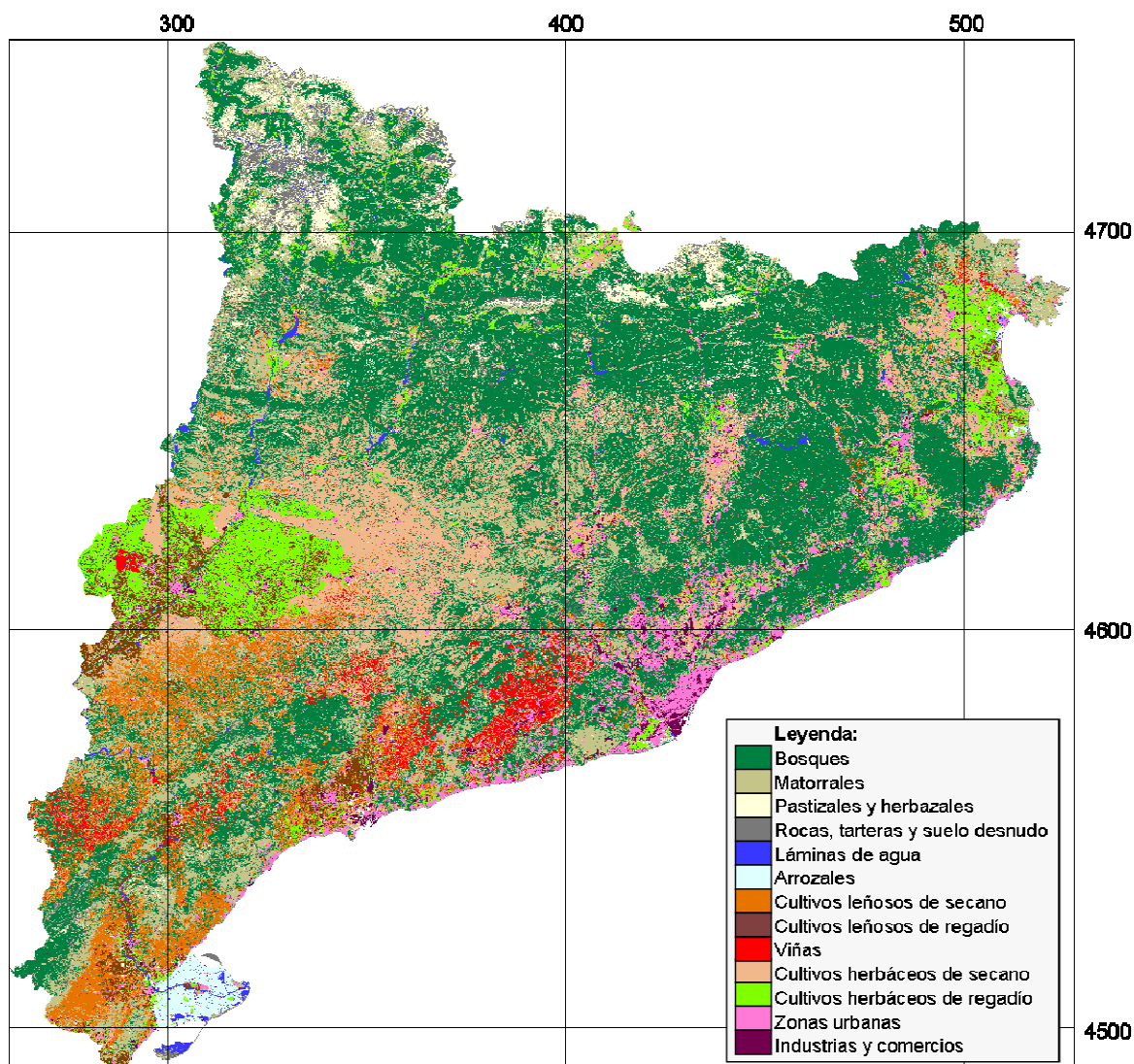


FIGURA 12. Selección del mapa de cubiertas del suelo de Cataluña, 3ª edición, que refleja los principales usos del territorio y permite distinguir la ubicación de los principales cultivos de secano y de regadío Fuente: J. Ibáñez, CREAM, a partir del MCSC 2005 y el SIG MiraMon®.

Sin embargo, el incremento de la superficie forestal no es la única consecuencia del abandono de los campos de cultivo. Una parte relevante de esta superficie también ha sido transformada en otros tipos de cubiertas artificiales: ensanches de pueblos y ciudades, polígonos industriales, infraestructuras, etc. De hecho en Cataluña la superficie urbanizada ha incrementado de forma importante durante el período 1993-2005, ocupando 186.735 ha en 2005, es decir, un 5,8% del territorio.

Otro de los aspectos que merece ser destacado de la evolución de las cubiertas del suelo en Cataluña es el importante incremento de los terrenos desnudos por acción antrópica. En la primera edición del MCSC-1 (1993) la superficie total ocupada por suelo desnudo en Cataluña era de 93.625 ha, mientras que en la tercera edición del MCSC (2005) había aumentado hasta las 108.134 ha. Dentro de esta categoría se puede diferenciar entre suelo

desnudo natural (zonas erosionadas por causas naturales, canchales, afloramientos rocosos, cauces de ríos, etc.) y suelo desnudo por acción antrópica (desnudo urbano no edificado, zonas urbanas en construcción, movimientos de tierras, zonas de extracción minera, etc.). Comparando las dos ediciones del MCSC ambas tipologías aumentan, aunque la que incrementa en mayor medida es la referente a suelo desnudo por acción antrópica que pasa de las 17.433 ha, en 1993, a las 28.847 ha, en 2005.

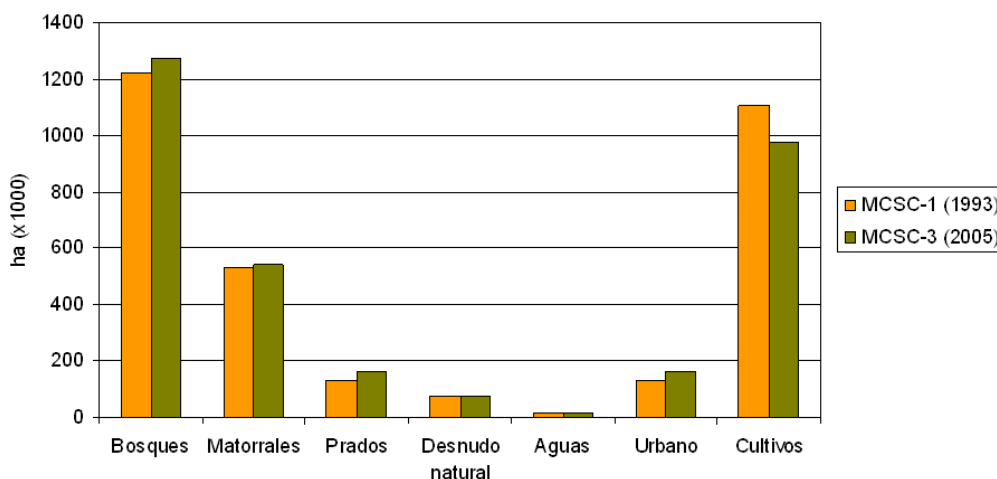


FIGURA 13. Principales cambios en el uso del suelo en Cataluña durante el período 1993-2005. Fuente: elaboración propia a partir de datos del MCSC-1 (1993) y MCSC-3 (2005), <http://www.creaf.uab.es/mcsc/>.

1.1.6. Referencias bibliográficas

- CLAVERO, P., MARTÍN VIDE, J. I RASO NADAL, J.M. 1997. Atlas climàtic de Catalunya. Institut Cartogràfic de Catalunya i Departament de Medi Ambient, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- CREAF (2004) Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya, Sistema d'Informació de boscos de Catalunya. Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals, Barcelona, vol 10, 184 p.
- DOÑATE, I. (1999) Normativa: els arbres que no deixen veure el bosc. Medi Ambient. Tecnologia i cultura. Núm. 23.
- FAO (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudios FAO: Riego y drenaje n° 56.
- FOLCH, R., FRANQUESA, T., CAMARASA, J.M. (1984) Vegetació, vol. 7, En: Història Natural dels Països Catalans, Enciclopèdia Catalana, Barcelona, 442 p.
- GRACIA., C; BURRIEL, JA; IBÁÑEZ, JJ; MATA, T; VAYREDA, J (2000-2004) Inventari Ecològic i Forestal de Catalunya. Obra completa. CREAF. Bellaterra.
- INSTITUT GEOLÒGIC DE CATALUNYA - INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA. (2010). Atlas geològic de Catalunya
- MARTÍN-VIDE, J. (1992a) El Clima, p: 44-67. En: Bosque, J., Vilà, J. (ed) Geografía de España, vol 9: Cataluña y Baleares. Ed. Planeta, Barcelona.
- MARTÍN-VIDE, J. (1992b): El Clima. Geografía General dels Països Catalans, Barcelona, Enciclopèdia Catalana.

- MARTÍN-VIDE, J., RASO, J.M. (2003) Atlas Climàtic de Catalunya. Període 1961-1990. Termopluiometria, Escala 1:750.000, Institut Cartogràfic de Catalunya i Servei Meteorològic de Catalunya, Barcelona.
- MARTIN-VIDE, J., (2010) Cap. 2. Els climes de Catalunya. Present i tendències recents Javier Martín-Vide, Manola Brunet, Marc Prohom i Anna Rius. En : Segon Informe sobre el Canvi Climàtic a Catalunya, Llebot, J.E. (editor), Consell Assessor Desenvolupament Sostenible, Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans, Barcelona, 1152 p.
- MCSC (2009) Mapa de Cubiertas del Suelo de Cataluña. URL:
<http://www.creaf.uab.es/mcsc/esp/index.htm> (consultada el 14 de mayo de 2011)
- NINYEROLA, M., PONS, X., ROURE, J. (2001) Atlas climático digital de Cataluña. Servei Meteorològic de Catalunya, Barcelona. URL:
http://www.opengis.uab.cat/acdc/espanol/es_presentacio.htm (consultado el 22 de febrero de 2011)
- NINYEROLA, M., PONS, X., ROURE, J.M. (2000) "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques", International Journal of Climatology, 20, 1823-1841.
- PORTA, J., ALCAÑIZ, J.M., CASTELLS, E., CRUAÑAS R., DANES R., FELIPÓ, M.T., SÁNCHEZ J., TEIXIDOR, N. (1985) Història Natural dels Països Catalans, Vol 3, Recursos Geològics i sols. Enciclopedia Catalana, Barcelona.
- RIBA, O., BOLÓS, O., PANAREDA, J.M., NUET, J., GOSÁLBEZ, J. (1976) Geografia Física del Països Catalans. Ketres Editora, Barcelona, 226 p.
- SERRANO, D. (2009) Les Muntanyes d'Ordal. Estudi de paisatge. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona, Facultat de Geografia i Història.
- VERA, J.A. (editor) (2004): Geología de España. SGE-IGME, Madrid, 890 pp

1.2. La cartografía de suelos en Cataluña

Emilio Ascaso¹, Carmen Herrero², Jaume Boixadera^{2,3}

(1) Institut Geològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. c/ Balmes, 209-211. 08006 Barcelona.

(2) Servei de Producció Agrícola. DAAM, Generalitat de Catalunya, Lleida. Campus ETSEA. 25198 Lleida.

(3) Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida. Campus ETSEA. 25198 Lleida.

1.2.1. Introducción

Como consecuencia del cambio de énfasis –que no de paradigma– que se ha producido en la Ciencia del Suelo en los últimos años, donde del enfoque agrario se ha pasado a otro, de tipo más medioambiental, hoy es muy común hacer referencia a las llamadas funciones del suelo, popularizadas por Blum (1998), aunque también se podría hablar de servicios del ecosistema tal y como ponen de relieve Daily *et al.* (1997). A pesar de la notable confusión que estos cambios de enfoque han producido en muchos ámbitos del uso de la información espacial de suelos (De la Rosa, 2008) es innegable que este nuevo enfoque ha generado unas demandas de información que van mucho más allá de la cartografía de suelos convencional (i.e. mapas de parcelas disjuntas, mostrando clases de suelos a cualquier escala). En lo que sigue de este trabajo, cuando se hable de cartografía de suelos nos referiremos a cartografía de suelos convencional mientras que otra información, con un componente espacial y/o temporal de suelos, será referida aquí como información espacial de suelos.

La cartografía de suelos puede definirse como el estudio de suelos en el campo y, posteriormente, en el laboratorio, basado en la agrupación de individuos-suelo en unidades definidas por sus características, propiedades y evolución, elementos que permiten la expresión de su especificidad, el papel que juegan en los ecosistemas y las posibilidades para su utilización. La cartografía se lleva a cabo para conocer la distribución espacial de estas unidades así definidas y poder manejar y utilizar esta información para usos diversos.

Según Beckett *et al.* (1967) la cartografía de suelos es un ejercicio subjetivo, comúnmente laborioso y costoso. Las bases teóricas de esta actividad con gran tradición dentro de la Ciencia del Suelo han recibido con frecuencia poca atención (Butler, 1980). Según este autor, aunque el *Soil Survey Manual* (SSS, 1951, SSDS, 1993) ha sido y sigue siendo el texto de referencia, es olvidado a la hora de definir clases, técnicas de cartografía, etc. por lo que la cartografía adquiere los caracteres de una actividad excesivamente empírica. No deja de ser sorprendente que hasta la época reciente no se haya profundizado en la formalización de las bases de la cartografía de suelos, tarea en la que Hudson (1992) ha realizado una contribución decisiva al explicitar el modelo suelo-paisaje en que se fundamenta la cartografía de suelos.

Toda cartografía de suelos debe tener un propósito, que puede ser muy diverso, de lo contrario corre el riesgo, en el mejor de los casos, de acabar permanentemente en los anaqueles de una biblioteca. Una cartografía de suelos, una vez cumplidos los requisitos de calidad exigibles (Western, 1978; Nieves *et al.*, 1985), no alcanzará sus objetivos de utilidad si el usuario potencial no puede disponer fácilmente de ella, si la información no es presentada de modo claro y comprensible, o si no se desarrollan las interpretaciones pertinentes. Para alcanzar estos objetivos, es preciso que la cartografía sea publicada en un formato conveniente, con una adecuada base cartográfica y sea puesta a disposición de los usuarios en formatos de base de datos digitales georreferenciadas en un entorno adecuado. Western (1978) afirma que la cartografía de suelos es la rama de la Ciencia del Suelo que proporciona las bases para realizar afirmaciones acerca de la naturaleza y distribución de los suelos dentro de un área. Es el proceso donde se distinguen, definen, describen y cartografían clases de suelos.

La cartografía de suelos consiste, básicamente, en un ejercicio de modelización. El edafólogo construye en su mente, en base a la información disponible, un modelo sobre la

génesis del paisaje y de los suelos, y sobre las propiedades y distribución de los mismos. De acuerdo con dicho modelo procede a cartografiar los suelos, al tiempo que va modificando el modelo inicial, de acuerdo con los conocimientos que va adquiriendo mientras realiza la cartografía.

El desarrollo conceptual y tecnológico de la cartografía de suelos ha conducido a la aparición de poderosos instrumentos que podemos agrupar bajo la denominación de cartografía digital de suelos (*digital soil mapping*) (MacBratney *et al.*, 2000, 2003; Lagacherie *et al.*, 2007) que, en base al paradigma suelo-paisaje presentado por Hudson (1992) y desarrollado por Bui (2004), posibilitan una cuantificación de la distribución de las propiedades del suelo, que antes era imposible mediante el modelo conceptual anterior.

Este trabajo tiene por objeto analizar la cartografía actual de suelos en Cataluña, entendida en sentido amplio, y describir las perspectivas de futuro. Para facilitar el relato se ha dividido en varios periodos con más énfasis desde los años ochenta.

No es objeto de este trabajo una revisión exhaustiva de los antecedentes históricos de la cartografía de suelos, ni una relación de todos los trabajos llevados a cabo en esta y en otras materias relacionadas. Se hace hincapié en las actividades llevadas a cabo por el Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca (DARP) de la *Generalitat de Catalunya*, actualmente Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio natural (DAAM), acrónimo que se utilizará a lo largo de este trabajo y en el Mapa de Suelos 1: 25.000 de Cataluña. A nivel histórico sí es importante mencionar el Mapa de Suelos de la Península Luso-Ibérica (Huguet del Villar, 1937) como el primero. Luego siguieron durante muchos años mapas de pequeña escala, donde en todo o en parte estaba recogida Cataluña (Albareda *et al.*, 1966, Ontañón, 1966); todos estos mapas son de tipo exploratorio (Porta *et al.*, 2008).

No es hasta la década de 1980 que se plantea en Cataluña la realización de un inventario detallado de suelos. Hitos importantes lo constituyen el SINEDARES (CBDSA, 1983) y el Mapa de Suelos de la demarcación de Barcelona, impulsado por la Diputación de Barcelona. De este último proyecto se cartografiaron un cierto número de municipios a una escala 1:20.000, con leyenda Soil Taxonomy, una parte de los cuales se publicó (Danés *et al.*, 1984; Villar *et al.*, 1986) mientras otra jamás llegó a publicarse íntegramente y en el formato de los primeros (p.e. Aran *et al.*, 1987; Bech *et al.*, 1989, 1990 y 1991). Dicho proyecto tuvo desigual continuidad y evolucionó hacia aplicaciones pragmáticas orientadas a demandas locales. Para el desarrollo de este proyecto fueron básicas las sinergias establecidas con el grupo de edafólogos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria (ETSIA) de Lleida que trabajaba en estos momentos, entre otras cosas, en la descripción codificada de suelos. La experiencia ganada en este periodo fue básica para abordar más adelante el proyecto del Mapa de Suelos de Cataluña 1:25.000.

1.2.2. El mapa de suelos de Cataluña 1:25.000

A partir de 1983 el DAAM de la *Generalitat de Catalunya* inició un proyecto cuyo objetivo era, y sigue siendo, obtener un mapa de suelos 1:25.000, inicialmente, en aquellas áreas de mayor interés agrícola y que con el paso de los años ha venido a denominarse *Mapa de Sòls (1:25.000) de Catalunya* (Herrero *et al.*, 1993). Las fortalezas y debilidades que había en el planteamiento de este proyecto se mantuvieron a lo largo del mismo y han condicionado su desarrollo hasta el año 2007 en que, con la Ley 19/2005, del Parlamento de Cataluña, se creó el *Institut Geològic de Catalunya* y se dispone, en su artículo 3.2, que este organismo ha de “impulsar y llevar a cabo actuaciones relativas al conocimiento, la prospección y la información sobre el suelo y subsuelos, dentro del ámbito de las competencias de la Generalitat” y, en particular, ha de asesorar y prestar asistencia técnica en este ámbito al Gobierno de Cataluña.

Periodo 1983-2007

El primer trabajo, de envergadura que inició el DAAM, a través de la Sección de Suelos y Fertilizantes, fue la cartografía del área regable de los Canales de Urgell. En el momento de su inicio muy pocas cosas estaban decididas y así lo recogió el proyecto inicial (Danés, 1985):

- La escala final del mapa: 1:25.000
- El sistema de clasificación a emplear: Soil Taxonomy (SSS, 1975)
- Los métodos de análisis: Métodos Oficiales de Análisis (MAPA, 1986)

El modelo elegido, que posteriormente se desarrollaría y consolidaría, parte de la experiencia que sobre cartografía de suelos existía en EEUU; salvando las distancias naturales y culturales, y teniendo en cuenta que en este momento en EEUU gran parte de la cartografía de las áreas agrícolas ya se había realizado; no en balde habían iniciado las tareas en 1898. Con la tecnología disponible en aquel momento, la escala de trabajo y presentación elegida eran las que permitían la mayor transferencia de tecnología (USDA, 1983) al sector agrario (técnicos y agricultores), finalidad básica del DAAM al iniciar la cartografía.

La elección del sistema de clasificación fue concordante con el planteamiento antes descrito (Porta, 1985), por más que otros sistemas taxonómicos fueran más populares o, aparentemente, más atractivos en aquel momento.

Por lo que se refiere a la metodología de análisis elegidos, la opción fue óptima, por cuanto los Métodos Oficiales de Análisis, posteriormente publicados por el MAPA (1986), están particularmente adaptados a los suelos calizos, mayoritarios en las áreas cartografiadas, así como a los suelos afectados por salinidad (USSSL, 1954). Eran además los métodos empleados por el Laboratorio Agrario de la Generalitat, que desde un principio fue piedra angular del proyecto de cartografía detallada de suelos en Cataluña.

Simultáneamente al proyecto de los Canales de Urgell, se pusieron en marcha otros (DARP 1987; Salamero y Olarieta, 1989) que permitieron completar las metodologías necesarias (Danés *et al.*, 1989; Boixadera *et al.*, 1989) y cuantificar los recursos humanos, materiales y tecnológicos que se requerían para obtener el tipo de cartografía detallada deseada. Las opciones elegidas fueron:

- Series, en el sentido de Boulaire (1989), como unidad taxonómica básica
- Consociaciones y sus fases (USDA, 1983), como unidad cartográfica fundamental
- Elevada intensidad de prospección en campo ($\cong 0,5$ observación/cm² de mapa final o superior siguiendo estándares internacionales (FAO, 1979)), con un elevado peso de las calicatas completamente descritas y analizadas sobre los sondeos.
- Mapas base sobre (orto)fotos 1:10.000 o más detalladas.
- Mapa final sobre ortofotomapas 1:25.000.

Si bien al principio se cartografiaron áreas agrícolas casi en un 100%, posteriormente se ha trabajado en zonas donde el uso forestal tiene un cierto peso. Para mantener una unidad de presentación y ajustar los costes sin alterar sensiblemente la utilidad del mapa, en las áreas forestales, o similares, se optó por utilizar una intensidad de prospección correspondiente a una escala semidetallada, manteniendo la escala final y adaptando convenientemente la leyenda.

La justificación de estas decisiones es consecuente con el tipo de cartografía elegida inicialmente y con las finalidades perseguidas con la misma.

Desde un principio, la necesidad de disponer de un potente laboratorio se hizo evidente, cosa que, como ya se ha mencionado anteriormente, se pudo conseguir a través del Laboratorio Agrario. Éste ha sido uno de los puntos fuertes del proyecto, aunque las deficiencias de estructura administrativa y organizativa y las carencias históricas, que como país existían en cartografía de suelos, han lastrado el proyecto.

Una cartografía de suelos de detalle a escala 1:25.000 sólo era –y es– posible llevarla a cabo aplicando el paradigma suelo-paisaje expuesto por Hudson (1992). Sin embargo, las diversas escuelas de Ciencia del Suelo españolas han estado preocupadas por otros aspectos de la edafología y sus practicantes nunca han llegado, de manera general, a interiorizar dicho paradigma como lo hacen, por ejemplo, la escuela anglosajona u holandesa. Los trabajos de Porta y Julià (1983) y Herrero (1991), representaron un impulso importante en esta dirección, pero aún resultan insuficientes.

Un segundo aspecto es el organizativo. La naturaleza cooperativa (trabajos del DAAM con ayuntamientos, comunidades de regantes, empresas públicas, etc.) y la limitación (periódica) de recursos económicos han obligado a trabajar de manera discontinua en el espacio y en el tiempo. En el espacio, con la cartografía de áreas de límites diversos que forman un puzzle alrededor de 4 grandes puntos: Empordà, regadíes de Lleida, Bajo Ebro y Penedès (figura 1). En el tiempo, impidiendo la continuidad de los especialistas, formados, que han buscado su salida profesional en otros ámbitos más estables. Ello ha conducido a que, en el período 1983-2007, y sin contar el personal de los laboratorios, más de 60 cartógrafos hayan trabajado en el proyecto, consolidando el modelo italiano de cartografía de suelos (Boixadera, 1999) en el que pequeñas empresas de consultores especializados llevan a cabo los trabajos, incrementado hasta límites difícilmente gestionables los costes de formación y correlación. La riqueza humana de este grupo permite retratar en él todos los perfiles de cartógrafos de suelos que, no sin un cierto humor, describe McCracken (1993).

Para la formación de tan amplio grupo de personas se contó con los cursos específicos sobre cartografía, clasificación y evaluación de suelos, en principio como formación reglada y, posteriormente, mediante cursos de especialización durante estos años en la *Universitat de Lleida*.

También a nivel organizativo, el pequeño tamaño del núcleo responsable, integrado en la administración, ha condicionado fuertemente al proyecto. Ello se ha reflejado en la correlación de los diversos trabajos, en la difusión y en la disponibilidad de la información.

En lo que se refiere a la correlación –y entendida ésta en un sentido más amplio que si dos perfiles pertenecen a un mismo taxón, que incluya todo el proceso de control de calidad del proyecto– se sistematizaron los principales criterios bajo el término CatSIS; partiendo de la codificación SINEDARES (CBDSA, 1983). Esto ha permitido una descripción muy precisa y objetiva de todos los puntos de muestreo (calicatas, sondeos, etc.), y que se hayan ido añadiendo otros estándares y aspectos imprescindibles para el desarrollo de la cartografía, (*Grup de Treball 'Nomenclatura d'horitzons de sòls'*, 1993; DARP, 1995). Los criterios para definir series recogidos por Boixadera *et al.*, (1989), han lastrado la correlación, y ello en dos sentidos: la excesiva dependencia de Soil Taxonomy y el peso del material original como base para la definición de la serie. Una posición más equilibrada en el sentido de serie de Bouline (1989), pero sin caer en los excesos de la escuela holandesa de ultramar, hubieran sido decisiones más juiciosas. En este sentido hubiera sido más adecuado utilizar la serie ligada al subgrupo de Soil Taxonomy en lugar de ser una subdivisión de la familia, nivel taxonómico creado con fines interpretativos, que produce límites indeseables en los mapas y que tiene una complejidad analítica creciente en el tiempo a medida que las nuevas ediciones de Soil Taxonomy se van publicando. En todo caso, la metodología general empleada ha permitido, que la posterior digitalización y publicación de la información, resolviera buena parte de la problemática existente sin caer en la dramática situación descrita por Western (1978) de la correlación nunca resuelta, con la pérdida de información y recursos que ello representa.

La difusión y disponibilidad de la información se ha visto limitada –al menos para el gran público– durante muchos años. La publicación de la hoja 1:25.000 de Bellvís (Herrero *et al.*, 1993) conserva desafortunadamente demasiados paralelismos con la misma hoja 1:50.000 del

Mapa Geológico (Solé Sabarís, 1946); su tardía aparición se vio condicionada, entre otras cosas, por la falta de disponibilidad de ortofotomapas y por el carácter exhaustivo que se quiso dar a la publicación. Visto desde la época digital hubiera sido preferible una publicación más sencilla.

La era digital ha permitido paliar el problema de la disponibilidad de información. Así parte de la información disponible es consultable en la página web del *Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural* (<http://www.gencat.cat/daam/mapasols/>) y en la del *Institut d'Estudis Catalans* (<http://www.iec.cat/mapasols/>), así como en *Institut Geològic de Catalunya* (http://www.igc.cat/web/ca/igc_cataleg.html#geotreb4).

A pesar de todas estas limitaciones, la cartografía 1:25.000 abarca en este momento (figura 1) unas 600.000 hectáreas, de las cuales 380.000 son cultivadas, lo que representa el 46 % de las tierras cultivadas y el 60% de las regadas de Cataluña.

1.2.3. Las actuaciones del IGC

1.2.3.1. Introducción

La Ley 19/2005 del Parlamento de Cataluña, de 27 de diciembre, de creación del *Institut Geològic de Catalunya* (IGC), dispone, en su artículo 3.2, que este organismo ha de llevar a cabo actividades directamente relacionadas con el conocimiento de los suelos de Cataluña y, en particular, ha de asesorar y prestar asistencia técnica en este ámbito al Gobierno de Cataluña. Para poder llevar a cabo estas funciones, el IGC debe hacer, en colaboración con otros organismos cuando sea necesario, trabajos edafológicos, cartografías de suelos, estudios y evaluaciones del riesgo de erosión de los suelos, y otros trabajos relacionados con los suelos y su protección.

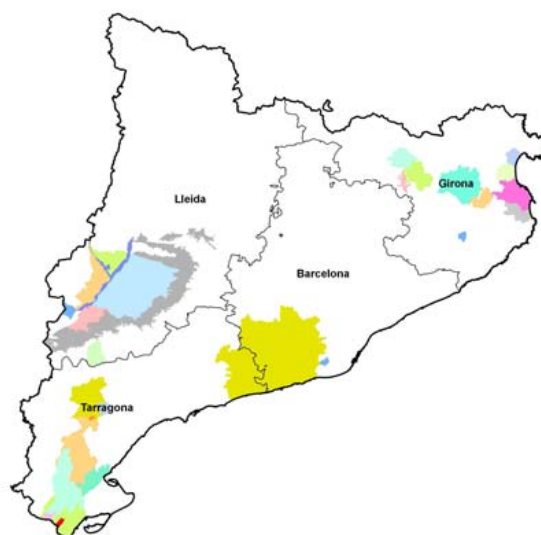


FIGURA 1. Cartografías, a escala 1:25.000, ejecutadas por el DAAM desde 1984.

La propuesta inicial para el proyecto de mapa de suelos de Cataluña (Porta y Tasia, 2006), abalada por diversos comités de expertos, fue incorporada en la estrategia establecida por el IGC para generar, almacenar y procesar la información edafológica de Cataluña de forma que, junto a otra información de tipo geológico, pueda ser fácilmente consultada por la Administración y el público en general. Esta estrategia, a la que se le ha dado el nombre de Geotrabajos, consta de las siguientes líneas de actuación:

- Geotrabajo I: Mapa geológico 1:25.000 de Cataluña
- Geotrabajo II: Mapa geológico de los procesos activos y recientes, y de la actividad antrópica 1:25.000
- Geotrabajo III: Mapa geológico de zonas urbanas 1:5.000
- Geotrabajo IV: Mapa de suelos 1:25.000
- Geotrabajo V: Mapa hidrogeológico 1:25.000
- Geotrabajo VI: Mapa para la prevención de riesgos geológicos 1:25.000

La información recogida, a medida que van desarrollándose estos Geotrabajos, va conformando el Sistema de Información Geográfica del IGC.

El Geotrabajo IV: Mapa de suelos 1:25.000 constituye el núcleo del programa de cartografía de suelos del IGC. Otros aspectos que se incluyen actualmente en este programa son:

- Mapa de suelos 1:250 000 de Cataluña
- Publicación de la información de suelos
- Diseño del sistema de información geográfica de los suelos de Cataluña
- Protección de suelos
- Investigación (cartografía digital, determinación de los regímenes de temperatura y humedad del suelo, contenido de carbono orgánico en el suelo...)
- Divulgación

1.2.3.2. Geotrabajo IV: Mapa de suelos de Cataluña a escala 1:25.000

El programa de cartografía de suelos del IGC tiene, como principal objetivo, la obtención del mapa de suelos de Cataluña a escala 1:25.000, escala que se considera adecuada a nivel de planificación. Este mapa será distribuido en una serie de 304 hojas, según la malla oficial a esa escala (figura 2).

El programa de cartografía de suelos del IGC quiere ser una continuación y, a su vez, suponer un nuevo impulso al programa de cartografía de suelos que en su momento emprendió el DAAM de la *Generalitat de Catalunya*.

Los primeros trabajos efectuados en esta nueva etapa han consistido en la revisión, la informatización y la homogenización de toda la información cartográfica disponible por el DAAM. Esta información consiste en más de 30 trabajos sobre una superficie de unas 600.000 ha a escala 1:25.000 (figura 1). También hay que tener en cuenta que, si bien siempre se ha trabajado con una metodología bien sistematizada, los trabajos han sido llevados a cabo por distintos equipos, con distinta experiencia, y con unos medios tecnológicos que han ido evolucionando con los años.

El pliego de condiciones técnicas del IGC exige, para los mapas de suelos a escala 1:25.000, una densidad de observaciones en campo (perfiles y otro tipos de observación: sondeos, mini-perfiles, cortes del terreno,...) de 0,5 por cm² de mapa final en áreas agrícolas, y

de 0,25 por cm² de mapa final en terrenos forestales. La relación de perfiles respecto al total de observaciones es de 2:5 en áreas agrícolas y de 2:10 en terrenos forestales.

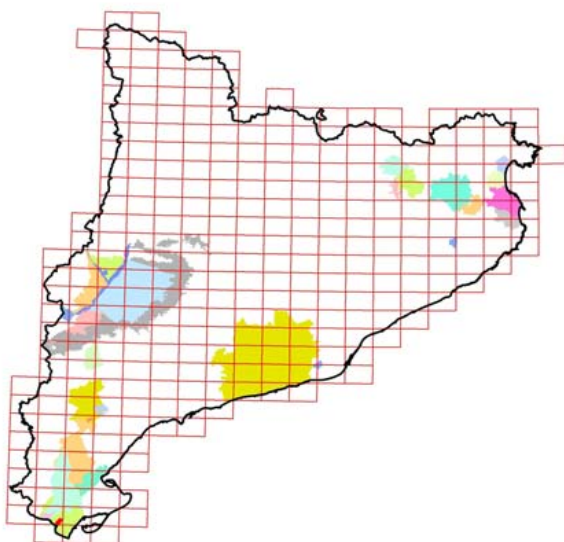


FIGURA 2. Malla oficial de las hojas a escala 1:25.000 en Cataluña.

La metodología de referencia que se aplica en la cartografía de suelos es la recogida en el "Soil Survey Manual" (SSS, 1993). La nomenclatura utilizada es, básicamente, la recogida por CBDSA, 1983. La descripción de los perfiles y la toma de muestras se realiza según las normas establecidas en el "*Plec de prescripcions tècniques per a l'execució de la cartografia detallada de sòls (escala 1:25.000) de Catalunya*", basado en "*Manual per a la descripció i estudi de Sòls*" elaborado en su día por

el DAAM (DARP, 1995), el cual ha sido ampliado y actualizado en el marco del convenio de colaboración IGC-DAAM.

Con el fin de caracterizar los suelos, las muestras se analizan según los métodos oficiales de análisis de suelos del Ministerio de Agricultura (MAPA, 1986); los análisis efectuados de forma rutinaria se resumen en la tabla 1.

TABLA 1. Caracterización analítica de los suelos (métodos de análisis)

Determinación	Método
pH	Suspensión suelo:agua (1:2,5)
Carbonato cálcico equivalente	Calcímetro de Bernard
Prueba previa de salinidad	Extracto suelo:agua (1:5)
Materia orgánica	Método Walkley-Black
Textura (USDA)	Método de la pipeta, 5 fracciones
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Lavados sucesivos con acetato sódico 1N a pH=8,2 y desplazamiento del sodio con acetato amónico 1N.
Cationes de cambio (K, Mg, Ca, Na)	Extracción con solución 1N de acetato amónico a pH=7
Agua retenida (-33 i -1500 kPa)	Cámara de presión sobre membrana cerámica porosa
P asimilable	Método Olsen-Watanabe
Caliza activa	Método de Nijelsohn (calcímetro de Bernard a partir de una solución de suelo y oxalato amónico 0,2N filtrada)
Yeso	Diferencia de sulfatos entre extractos de agua y de saturación
Salinidad	A partir del extracto de pasta saturada

La unidad taxonómica de trabajo es la serie (SSS, 1999), pues se considera la más apropiada para este tipo de cartografía detallada. En este sentido, el IGC y el DAAM están llevando a cabo la actualización del Catálogo de Series de los suelos de Cataluña (figura 3), que se basa en el catálogo desarrollado e implementado por el DAAM. Se utiliza como sistema de clasificación Soil Taxonomy; asimismo, se clasifican todas las series según las Unidades de Suelos del segundo nivel del sistema de clasificación de la Word Reference Base (IUSS, 2006).

Siguiendo la metodología de referencia, el mapa de suelos se elabora a partir de la interpretación de fotografías aéreas, del trabajo de campo y del examen de los resultados analíticos de las muestras recogidas. La unidad cartográfica básica es la consociación de fases de series, si bien también se admiten complejos de suelos cuando queda justificado por el patrón de distribución de los mismos. Todas las unidades cartográficas son comprobadas en campo.

La leyenda del mapa de suelos se organiza por unidades fisiográficas y, dentro de estas, por unidades geomorfológicas. En cada unidad geomorfológica, las unidades cartográficas están organizadas según su pureza (consociaciones, complejos, grupos indiferenciados,...), las limitaciones para su uso, y su desarrollo edáfico. Las diferentes fases también se organizan en función de su limitación de uso.

IGC Institut Geològic de Catalunya

XERORTHENTS LÍTICS SOBRE CALCÀRIES, SOM CATALÈG DE SÈRIES 2009

Sèrie **CALÉS** Última revisió: Març 2009.

El sòl de la sèrie Calés són sòls molt nous, ben drenats i de textura mitjana amb poca matèria orgànica. Es troben a les vessants fortes de la Serra de l'Escadell i del sector oriental del Massís del Garraf. S'han desenvolupat sobre roca calcària amb materials procedents de la seva pròpia meteorització.

La seqüència típica d'horitzons és A-R (calcària).

Aquests sòls es classifiquen com a Xerorthent lític, frànc, mesclada (calcària), sèrnic, superficial (SSS, 1999) i com Haplo Leptosol (entric., calcària) (WRB, 2006).

I. Perfil representatiu
El perfil representatiu és el 70CE-234. Mapa de sòls (1:25.000) de l'àmbit geogràfic de la DO Penedès.


II. Interval de característiques
L'horitzó A té un espessor de fins a 20 cm. El color (humit) és de vermell pal (d 2,5 YR 7/3) a vermell groguenc (7,5 YR 5/6). La textura és frànc i presenta freqüents elements grossos. El pH és de moderadament bàsic a lleugerament àcid i el contingut de carbonat càlcic equivalent de matja a moderadament alt. El contingut de matèria orgànica és mitja o abundant.

Per una aporosa la roca calcària. Aquesta, pot estar recoberta a una fina capa de carbonat cementat que provenen de la meteorització de la roca.

III. Usos del sòl i vegetació
Aquests sòls són d'ús forestal.

IV. Origen de la sèrie
Calés, N.º d'escadell: 22. Mapa de sòls (1:25.000) de l'àmbit geogràfic de la DO Penedès.
Llanorades, N.º d'escadell: 19. Mapa de sòls (1:25.000) de l'àmbit geogràfic de la DO Penedès.

V. Distribució i extensió
Depressió del Penedès.



VI. Epígraf
AVK

VII. Dades generals

Símbol i unitat	Bornat	Horitzó	profunditat (cm)	Salinitat	Materia orgànica	Carbonat càlcic equivalent	Calcària activa	Gols	Argils	Elim	CRAD	E.G.		
AVK	A	0-30	7,8-8,8	0,16-0,41	-2	2,6-6,7	6-27	1,0	0	11-19	18-55	34-60	188,242	5-13

VIII. Terminals identificatives
Epípeda Ochrà.
Contacte lític a matja de 40 cm de la superfície.

IX. Sèries afins
Bonaire, sobre calcària i carbonatosa. Cançanals, sobre granodiorita i mesclada (no àcida). Aguilera, sobre pissars i mesclada (no àcida). Pombrosa, sobre conglomerat i mesclada (calcària).

Pàgina 7 de 290

IGC Institut Geològic de Catalunya

XERORTHENTS LÍTICS SOBRE CALCÀRIES, SOM CATALÈG DE SÈRIES 2009



Perfil 70CE-234: Seqüència d'horitzons: A-R (calcària)

Pàgina 8 de 290

IGC Institut Geològic de Catalunya

XERORTHENTS LÍTICS SOBRE CALCÀRIES, SOM CATALÈG DE SÈRIES 2009

Perfil: 70CE-234

Data descripció: 7/10/2009

Descripció: Entillo

Validació: Jordi Llorens

Paratge: No descrita

Municipi: La Llacuna

CARTOGRAFIA
Full: 274-123
Coordenada X (m): 377343
Coordenada Y (m): 459256
Z (m): 775

TITULARITAT
Tipus: Aïrat, blanc i negre
Propietari: Institut Geogràfic de Catalunya
Escala aproximada: 1:22.000
Data de veï: 1992-93

GEOMORFOLOGIA
Escala d'observació: Desconeguda
Modificació de la forma: No descrita
Dinàmica de la forma: No descrita
Intensitat dels processos: No descrita
Tipus de pendents: Simple
Morfologia local: Situat en una àrea recollida
Situació en el perfil: Terc superior de la forma
Profund general (%): 10-15
Profund local (%): 5-10
Orientació: E
Llargitud (m): 30

MATERIAL ORIGINAL
Dèrmica terrigena fina

MATERIAL SUBJACENT
Calcària

Descripció (nomenclatura SNTDARE)

0000-012 cm A
EST. HUMITAT: Lligament humit. COLOR DE LA MASTRE: 10YR 5/10 (humit). EST. OXIDOREDUCCIÓ: En estat d'oxidació.
TEXTURA: Frànc. ELEMENTS GROSSOS (percentatge total) (15-35) %: (0,2-4) cm. Angular: calcària. Calcària. ESTRUCTURA: Forta. Granular compacta. Fina. CONSISTÈNCIA: Poca compacta. Fribilitat: ACUMULACIONS: Inestables. SERTIMA: RADICULAR: Limita per contacte lític. ACTIVITAT BIOLÒGICA: No observada. ACTIVITAT HUMANA: No observada. ASSAIGS DE CAMP: (Resposta a HCl 1%) Mitjana. LÍMIT INFERIOR: Absorbe (0,5-2) cm. Plo. EPÍPEDA OCHRÀ: -

0012-032 cm R1 (calcària)
LÍMIT INFERIOR: Absorbe (0,5-2) cm. Plo. OBSERVACIONS: Calcària laminar fragmentada

0032-054 cm R2 (calcària)
OBSERVACIONS: Calcària laminar

Pàgina 9 de 290

IGC Institut Geològic de Catalunya

XERORTHENTS LÍTICS SOBRE CALCÀRIES, SOM CATALÈG DE SÈRIES 2009

RESULTATS ANALÍTICS 70CE-234

Indicador	Horitzó	Profunditat (cm)	pH	pH			pH a 25°C	pH a 15°C	pH a 5°C	Materia orgànica (%)	Carbonat càlcic eq. (%)	Calcària activa (%)	Cals (%)
				0,25	0,75	1,25							
70CE-234	A	000-012	7,50	6,1			6,30	6,2	11	1			

FERTILITAT

p	K	Amino cillants en mmol				Llms cillants en mmol				Argila	Classe Fertilitat UNFA		
		0,05	0,02	0,01	0,005	0,05	0,02	0,01	0,005				
0,36	0,25	0,18	0,18	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

CONSUM DE CANS

CIC	Càmbil de canvi (mmol/kg)				ESP	Biomètric generalitzat (%)				Alçada (mm)	Profunditat (mm)	
	C ₁	C ₂	N ₁	K		K _{P1}	K _{P2}	K _{P3}	K _{P4}			
0,36	4,2	3,2	2,4	1,6	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Pàgina 10 de 290

FIGURA 3. Ejemplo de descripción de una serie del Catálogo de Series de Suelos de Cataluña.

1.2.3.3. El mapa de suelos de Cataluña a escala 1:250.000

De forma paralela a la cartografía de suelos a escala 1:25.000, se está trabajando en la recogida de los datos necesarios para la obtención del mapa de suelos 1:250.000 de Cataluña. A parte del objetivo que supone en sí mismo la obtención de este mapa, se considera que ha de servir de guía para agilizar el reconocimiento y el inventario de los suelos que aparecen en las diferentes áreas de Cataluña, de muchas de las cuales, hasta el momento, no se dispone de información edafológica suficiente. Asimismo, el mapa 1:250.000 ha de permitir ajustar el proceso de cartografía a escala 1:25.000.

Para la ejecución del mapa de suelos 1:250.000, se ha establecido una densidad de observación de 1 por cm² de mapa final en terrenos agrícolas, y de 0,5 por cm² en terrenos forestales. La unidad taxonómica de trabajo es el subgrupo, considerada la más apropiada para esta escala. La unidad cartográfica utilizada será la asociación de subgrupos. La leyenda del mapa de suelos 250.000 también se organiza por unidades fisiográficas y, dentro de éstas, por unidades geomorfológicas. Dentro de las unidades geomorfológicas, las unidades cartográficas también estarán organizadas según sus limitaciones y su desarrollo edáfico.

Con el fin de adaptar la ejecución de esta cartografía a los medios técnicos y humanos disponibles, el territorio de Cataluña se ha dividido en función de las comarcas oficialmente establecidas. El estado actual de ejecución del mapa 250.000 de Cataluña se aprecia en la figura 4.

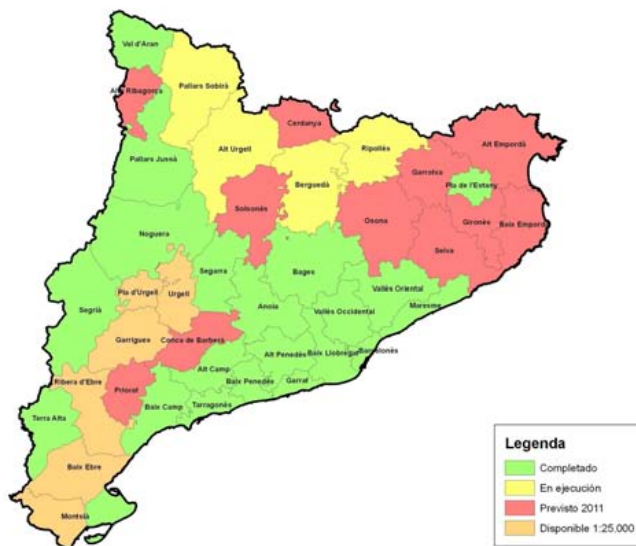


FIGURA 4. Estado actual de la cartografía de suelos 1:250.000 de Cataluña.

1.2.3.4. El sistema de información de suelos del IGC

Toda la información generada durante la ejecución de la cartografía de suelos (gabinete, trabajo de campo, análisis de laboratorio) se ha incorporado a un soporte digital. Esto facilita enormemente el almacenamiento, el tratamiento, el análisis, la edición, la recuperación y la presentación de la información de suelos.

Los datos temáticos se almacenan en las bases de datos que ha ido desarrollando, actualizando e implementando el DAAM en sus últimas cartografías, y que están basadas en el modelo SOTER (World SOils and TERrain Digital Database) (ISSS, 1986). Estas bases de datos contienen unas tablas relacionadas con toda la información referente a los perfiles, las observaciones, los análisis de laboratorio y las características de los suelos que se consideran de interés. Asimismo, a medida que avanza la cartografía, se van recogiendo las principales características de las unidades taxonómicas y cartográficas que se van generando.

TABLA 2. Tablas que componen el sistema de información de suelos del IGC

Tabla	Descripción
Delineaciones	Identifica los polígonos que forman parte de la cartografía. Identificador, proyecto, características del polígono (perímetro, superficie)
Leyenda	Presenta la información de las unidades cartográficas: unidad fisiográfica, unidad geomorfológica, pendiente, textura superficial, pedregosidad, salinidad, sodicidad, rasgos de erosión, inclusiones...
Series	Resume la información de las series de suelos a medida que se va generando la cartografía: clasificación, profundidad efectiva del suelo, material original, material subyacente, familia textural, clase de drenaje, capacidad de retención de agua, velocidad de infiltración...
Datos generales	Recoge la información general de los perfiles excavados: referencia, coordenadas, localización, fecha de descripción, descriptores, vegetación, formas de terreno, pendiente, orientación, situación del perfil, afloramientos, pedregosidad superficial, grietas, salinidad, nivel freático, clasificación...
Descripción perfil	Incluye todos los datos referentes a la descripción de los perfiles: profundidad, horizonte genético, color, manchas, textura, contenido de elementos gruesos, estructura, compacidad, consistencia, acumulaciones, cementaciones, sistema radicular, actividad de la fauna, actividad humana, cutanes, límites, densidad aparente, conductividad hidráulica, referencia de las muestras, horizonte diagnóstico...
Análisis generales	Comprende los resultados analíticos correspondiente a la caracterización básica de los suelos: pH, conductividad eléctrica, contenidos en materia orgánica, carbonato cálcico equivalente, yeso, arena, limo, arcilla..., textura general, retención de agua a -33 i -1500 kPa, capacidad de intercambio catiónico...
Análisis fertilidad	Engloba los resultados analíticos disponibles y específicos de la fertilidad, N, P, K, caliza activa, micronutrientes, cationes extraíbles...
Análisis salinidad	Contiene el pH, la conductividad eléctrica, los cationes y los aniones de la pasta saturada de algunos de los perfiles que presentan salinidad.
Metales pesados	Reúne los resultados disponibles de Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Cr y Hg de algunos suelos donde se analizaron
Fotografías	Consiste en unos listados con las referencias de las fotografías disponibles, tanto de los perfiles como de los paisajes donde se han excavado
Sondeos	Almacena toda la información referente a los sondeos y observaciones que se efectúan con el fin de comprobar los límites de las unidades cartográficas: referencia del sondeo, coordenadas, unidad fisiográfica y geomorfológica

La información geográfica, consistente en los mapas de suelos y en la localización de los perfiles y de las observaciones, se digitalizan en formato *shapefile* de ESRI y también se introducen en las correspondientes geodatabases (Zeiler, 1999).

El sistema de información de suelos permite, gracias a su diseño, que cualquier usuario pueda ejecutar fácilmente consultas sobre la información de suelos existente y que pueda obtener algunos informes que le permiten, de forma rápida, hacerse una idea de las características de los suelos (figura 5).

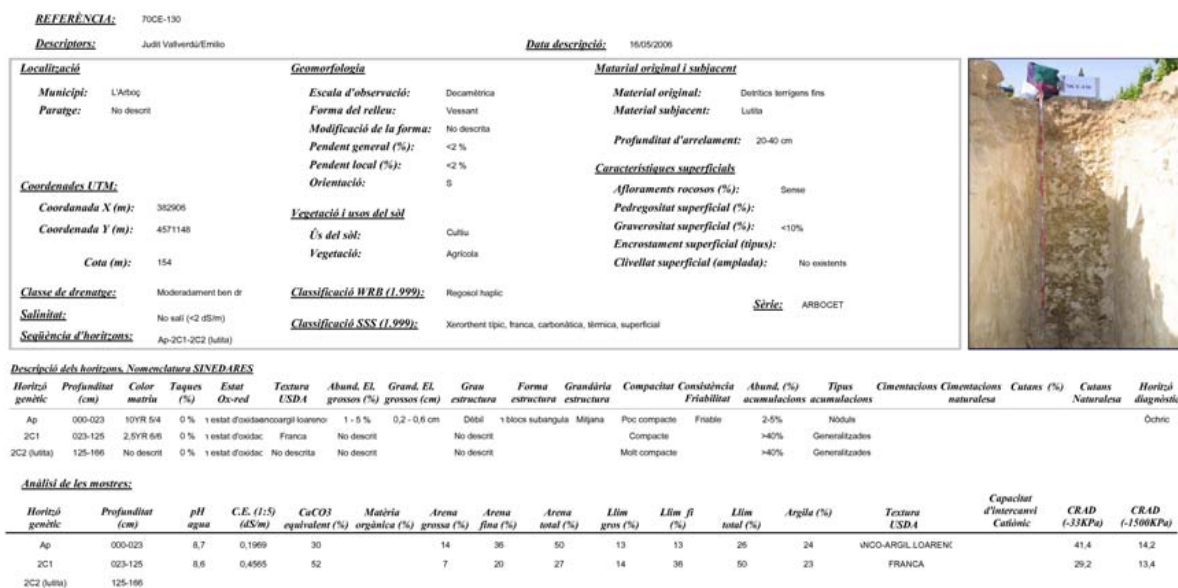


FIGURA 5. Ejemplo de informe que se puede obtener a partir de la base de datos

1.2.3.5. La publicación del mapa de suelos de Cataluña a escala 1:25.000

El mapa de suelos 1:25.000 de Cataluña se distribuye al público en una serie de hojas, adaptadas a la malla oficial del *Institut Cartogràfic de Catalunya* a esta escala. Las hojas se publican a medida que se completa y organiza la información mínima que se considera necesaria en una cartografía de suelos a esta escala (figura 6). Estas hojas también están disponibles, en formato pdf, en la página web del IGC

En el mapa se representan un conjunto de unidades cartográficas definidas según los conceptos de Van Wambeke *et al.*, (1986). Cada una de las unidades representadas en el mapa consta de un suelo o suelos principales y de las inclusiones, que suponen pequeñas superficies dentro de la unidad cartográfica. La aplicación de estos criterios da lugar a dos tipos diferentes de unidades cartográficas:

- **Consociaciones**, cuando una única fase de series de suelo forma la mayor parte de los suelos dentro de la unidad
- **Complejos**, cuando dos o más fases de series de suelos forman la mayor parte de los suelos de la unidad, si bien están repartidas de una forma tan complicada que no podrían ser separadas ni con cartografías más detalladas.



FIGURA 6. Hoja publicada del Mapa de suelos 1:25.000 de Tèrmens (hoja 359-2-2).

Con el fin de aligerar la leyenda del mapa, ésta no recoge explícitamente las fases de las series, aunque su información queda recogida en los esquemas periféricos que presenta este mapa.

1.2.4. Aspectos no convencionales de la cartografía. Otra información de suelos

El cambio en las necesidades de información sobre los suelos ha provocado un incremento y una ampliación de la tipología de la misma. Así ha aparecido la necesidad de hacer el seguimiento de las propiedades del suelo (calidad, para algunos).

Las preguntas acerca del cambio global han llevado a trabajos sobre temas nuevos, como el contenido de materia orgánica de los suelos, o antiguos, como las llamadas amenazas del suelo (erosión, salinización, etc). Diversas actuaciones en este sentido han afectado a Cataluña en los últimos años: LUCAS-Soil (EUROSTAT, 2010); BioSoil (EC, 2010) o el proyecto INIA sobre metales pesados, materia orgánica y otros parámetros (Lopez Arias y Grau Corbí, 2004). Proyectos como el Inventario Nacional de Erosión 2002-2012 (Ministerio de Medio Ambiente, 2004) también han cubierto buena parte de Cataluña y han aportado información que queda por valorar (tabla 3).

El DAAM, en un programa paralelo al de cartografía convencional, y partiendo de una idea seminal de cartografía por malla cuadrada (Forn, 1987) focalizado inicialmente en la fertilidad agrícola del suelo (Virgili, 1994), ha ido evolucionando para responder a nuevos retos, especialmente de cartografía relacionada con la materia orgánica (Costa, 2004; Grañana, 2009; Alcañiz *et al.*, 2010; 2005a; 2005b; Herrero, 2011) y con la salinidad (Simó *et al.*, 2008).

Mención aparte merecen los trabajos llevados a cabo por la Agencia de Residuos de Cataluña para determinar los niveles de fondo de metales pesados en Cataluña y que han permitido obtener una información importante (Bech *et al.*, 1993) en relación a los suelos y las áreas contaminadas.

TABLA 3. Información de suelos recogida en proyectos de monitorización (seguimiento)

Proyecto	Parámetros recogidos	Muestreo/número de puntos muestreados	Período de muestreo	Cobertura	Observaciones
DAAM-seguimiento	CE 1:5, pH 1:2,5, fertilidad (P, K), m.o., carbonato cálcico eq., entre otros	Aleatorio sobre malla/ 8.300 puntos	1983-2011	Todo el territorio cultivado, incluyendo pastos en el periodo 2008-2010	Se deben añadir más de 10.500 perfiles descritos y analizados de cartografía de suelos.
LUCAS-Soil (EUROSTAT, 2010)	pH, C org, textura, CIC, carbonato cálcico eq, P,K	Unos 150 puntos	2009	Áreas agrícolas y forestales	EUROSTAT
Materia orgánica y metales pesados de España	m.o., textura, pH, carbonato cálcico eq., c og., metales pesados	193 puntos	2002-2003	Áreas agrícolas y pastos	INIA-MAPA-MMA
BioSoil EC 2007	Densidad aparente, e. gruesos, m.o., N., textura, CIC	16x16km suelos forestales (unos 80 puntos)	2005-2006	Suelos forestales	FORESTFOCUS

1.2.5. Los desafíos futuros

La situación del IGC como organismo que lidera el proyecto del Mapa de Suelos 1:25.000 de Cataluña significa situar el tema en un entorno organizativo, administrativo y técnico-científico que ha de permitir superar algunas de las carencias que ha sufrido el proyecto mientras el DAAM ha actuado como principal impulsor.

Ello se ha traducido ya en mejoras considerables, como es la publicación de diversas hojas 1:25.000 (Mollerussa, Bell-lloc d'Urgell, Artesa de Lleida y Tèrmens), o la construcción de

bases de datos bien estructuradas (ver apartado 1.2.3.4) que han de permitir responder a las demandas de información cada vez más complejas.

Ello no es óbice para que no haya que afrontar una serie de amenazas al proyecto que siguen latentes y que requieren especial atención. Actualmente asistimos a una fase de transición en la que el DAAM está pasando de subministrador de información de suelos a principal usuario y demandante de información básica y aplicada de los mismos, donde, con los horizontes presupuestarios –que no edáficos– actuales, requerirá continuar con el modelo cooperativo existente y con la aplicación del principio de subsidiariedad, como se hace en otros temas. Entre los retos cabe citar también la recogida de nuevos tipos de información, poner toda la información generada y el desarrollo de diversas aplicaciones.

No se debe olvidar también que el uso del suelo no urbano está sufriendo una fuerte dicotomía, lo que genera fuertes tensiones y afecta a la calidad del suelo. Hay un creciente abandono de las tierras de cultivo –entre 1996 y 2010 se ha pasado de 1.600.000 ha a 2.011.000 ha– con una expansión de la vegetación “natural” y por ende, del bosque. Muchas de estas áreas están abancaladas y, durante este proceso de abandono pasan por diferentes etapas: acarcavamiento, incendios, pérdida de suelo e insuficiente cubierta vegetal.

Por otro lado, la creciente reducción de la superficie agrícola no se ve acompañada de una menor presión sobre ella sino, en muchos casos, al contrario. La importante carga ganadera genera problemas que algunos autores han denominado, erróneamente, eutrofización del suelo. El DAAM en colaboración con distintas universidades y centros de investigación de experimentación básica, ha realizado grandes esfuerzos de investigación ligados a un modelo de fertilización orgánico-mineral que es la dominante en Cataluña (Bosch *et al.*, 2007; Domingo *et al.*, 2006; Teira *et al.*, 2009; Casas y Serra, 2009; Berenguer *et al.*, 2008).

Estos trabajos, establecidos a medio-largo plazo (más de 10 años), han de permitir conocer los efectos sobre la calidad del suelo y han de facultar la transferencia la tecnología desarrollada por la técnica de los suelos de referencia o *benchmark*.

El crecimiento de la agricultura ecológica y las técnicas de conservación de suelos (Cantero *et al.*, 1996) parecen marcar cambios en el manejo de los suelos y en las técnicas de fertilización que habrá que evaluar a medio plazo. En la línea anterior son muy importantes los trabajos de Angas *et al.* (2006) y Cantero *et al.* (2007).

La obtención de información sobre el funcionamiento hidrológico de los principales tipos de suelos es otro de los retos al que el IGC debe hacer frente.

Está pendiente una adecuada caracterización de los suelos fuertemente antropizados, tanto en la antropización más clásica, como son los suelos de bancales (Boixadera, 2006) como en la más reciente (Pla y Nacci, 2003; Ramos *et al.*, 2007; Alcañiz y Ortiz, 2003).

La parte más sólida del proyecto es la generación de aplicaciones en base a la información de suelos y no de forma directa como se ha hecho en determinados casos con los mapas de clases agrológicas obtenidos (Ministerio de Agricultura, 1978). Sin embargo, no hay que olvidar, que la incapacidad de dar respuesta ágil y rápida a nuevas demandas de información de suelos, generadas por ejemplo por la planificación territorial, puede poner en peligro todo el proyecto.

Finalmente, hay que señalar el elevado potencial que posee la base de datos generada a lo largo de estos años. Si bien su distribución es desigual y debe ser completada en algunas áreas, especialmente en zonas forestales, sobre ella pueden aplicarse las técnicas de cartografía digital para la obtención de mapas funcionales (Finke *et al.*, 1998, Pásztor, 2007), delimitar áreas de riesgo o evaluar los contenidos de materia orgánica (Kempen *et al.*, 2010).

1.2.6. Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los que, directa o indirectamente, han trabajado en el proyecto del Mapa de Suelos de Cataluña 1:25.000, y a un anónimo revisor que ha contribuido a enriquecer sustancialmente el primer texto.

1.2.7. Referencias bibliográficas

- ALBAREDA, J.M. "Mapa de suelos de España. Península y Baleares" E :1.000.000. Instituto nacional de Edafología y Agrobiología (CSIC). Ed: Instituto geográfico y catastral. Madrid (1966).
- ALCAÑIZ, J.M.; ORTIZ, O. "Avaluació dels treballs de rehabilitació de sòls en àrees afectades per activitats extractives a Catalunya: criteris de qualitat de la restauració". ORSIS, núm. 18, p. 63-75. (2003).
- ALCAÑIZ, J.M.; BOIXADERA, J.; FELIPÓ, M.T.; ORTIZ, O. y POCH, R.M. "El paper dels sòls de Catalunya en el canvi climàtic" a Llebot, E.: "Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya". Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible. Generalitat de Catalunya. .pp. 555 - 608. (2005a).
- ALCAÑIZ, J.M.; BOIXADERA, J.; FELIPÓ, M.T.; ORTIZ, O. y POCH, R.M. "Els sòls" A: L'estat del Medi Ambient a Catalunya" UAB (2005b)
- ALCAÑIZ, J.M; BOIXADERA, J; FELIPÓ, M.T; ORTIZ, J.O; POCH, R.M. "Sistemes naturals i diversitat biològica: sòls". A: Llebot, J.E. "Segon informe sobre el canvi climàtic a Catalunya". Institut d'Estudis Catalans i Generalitat de Catalunya, Departament de la Vicepresidència, Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible de Catalunya. Barcelona, (2010). p. 409-468.
- ANGÁS, P.; LAMPURLANÉS, J.; CANTERO-MARTÍNEZ, C. "Tillage and N fertilization. Effects on N dynamics and Barley yield under semiarid Mediterranean conditions". Soil & Tillage Research, 87 (2006), p.59-71.
- ARAN, M. (Ed.) "Catàleg de sòls de la circumscripció de Barcelona. Terme municipal Abrera de Llobregat". (1987).
- BECH, J., GARRIGÓ, J., RUSTULLET, J., MARTÍNEZ, R., QUÍLEZ, D. "Estudi dels sòls del terme municipal de Castelldefels". Memòria i mapa de sòls i d'avaluació de sòls 1:20.000. Diputació de Barcelona. (1989).
- BECH, J., GARRIGÓ, J., RUSTULLET, J., MARTÍNEZ, R., QUÍLEZ, D. "Estudi dels sòls del terme municipal de Gavà". Memòria i mapa de sòls i d'avaluació de sòls 1:20.000. Diputació de Barcelona. (1990).
- BECH, J., GARRIGÓ, J., RUSTULLET, J., MARTÍNEZ, R., QUÍLEZ, D. "Estudi dels sòls del terme municipal de Viladecans". Memòria i mapa de sòls i d'avaluació de sòls 1:20.000. Diputació de Barcelona. (1991).
- BECH, J., TOBÍAS, F.J., QUÍLEZ, D. "Estudi del background en metalls pesants als sòls de Catalunya: Fulls 363-Manresa i 473-Tarragona". 2 vol. Projecte de recerca núm. 1631. Generalitat de Catalunya. Conselleria de Medi Ambient (1993).
- BECKETT P.H.T., WEBSTER, R. "The cost of soil survey in relation to the classification criteria employed" J. Indian Soc. Soil Sci. 15, (1967), p.187-192.
- BERENQUER P, F. SANTIVERI, J. BOIXADERA, J. LLOVERAS. "Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen". European Journal of Agronomy 28:635-645. (2008). ISSN 1161-0301.

- BLUM, W.E.H. "Soil degradation caused by industrialization and urbanization". *Advances in Geocology*, 31: 755-766. H.P. Blume et al. (eds.).
- BOIXADERA J; HERRERO C; DANÉS R; ROCA J. "Cartografía de suelos semiáridos de regadío: Área regable de los Canales de Urgel (Lérida)". *Guía de las excursiones. XVI Reunión de la SECS*. (1989).
- BOIXADERA J. "The future of soil survey in Italy: some thoughts about its context". 200592 - *Bollettino della Società Italiana della Scienza del Suolo*. 48, pp. 675-685. Italia. (1999).
- BOIXADERA, J. "Els sòls de les terrasses de conreu". Ponència del congrés: "Les terrasses de conreu: modelació de paisatges culturals i eina de planificació territorial". (No publicat). Vilafranca del Penedès. (2006).
- BOSCH, A.D., IGLESIAS, N., AMAT, M. y BOIXADERA, J. "Efficiency of nitrogen in slurry and mineral fertilization under rain-fed Mediterranean agricultura. Towards a better efficiency in N use". *Editorial Milenio*. (2007) pp. 164-166. ISBN: 978-84-9743-247-4.
- BOULAIN, J. "Histoire des Pédologues et de la Science des Sols". INRA. 297. París (1989).
- BUI, E.N. "Soil survey as a knowledge system" *Geoderma* 120 (2004) p. 17-26.
- BUTLER, B.E. "Soil Classification for Soil Survey". *Monographs on Soil Survey*. Clarendon Press. Oxford, (1980), 129p.
- CANTERO-MARTÍNEZ, C., LAMPURLANÉS, J., ANGÁS, P. "Cultiu de conservació a Catalunya". *Catalunya Rural i Agrària*, 22: 5-13. (1996).
- CANTERO-MARTÍNEZ, C.; ANGÁS, P.; LAMPURLANÉS, J. "Long-term yield and water use efficiency under various tillage systems in Mediterranean rainfed conditions". *Annals of Applied Biology* 150 (2007), p.293-305.
- CASAS, C.; SERRA, X. "Informe tècnic de resultats 2009: Avaluació de la resposta a l'adobat amb purins de porc en una rotació de conreus de doble cultiu anual a la comarca d'Osona" *Documento de difusió restringida*. Universitat de Vic. (2009). 102 p.
- CBDSA. "Sistema de información Edafológica y Agronómica de España. SINEDARES. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo". MAPA. (1983) Madrid. 137 p.
- COSTA, J. "Els sòls com a reservori de carboni. Aplicació en una franja occidental de Catalunya: estat actual i potencial". Lleida: *Projecte Final de Carrera*. Universitat de Lleida. (2004).
- DAILY, G.C., MATSON, P.A., VITOUSEK, P.M. "Ecosystem Services Supplied by Soil". Chapter 7. In: DAILY G.C. (Ed.) "Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems" *Island Press*. Washington, D.C.. (1997). 113-128.
- DANÉS, R. "Pla d'actuacions a la zona regable del Canal d'Urgell' Servei d'Agricultura. DARP. Barcelona. *Document de difusió restringida*. (1985).
- DANÉS, R.; BOIXADERA, J. "Cartografía de suelos en áreas de regadío en Catalunya: Aplicaciones y perspectivas" In: "Jornadas sobre cartografía de suelos y planificación regional". SECS. Madrid, (1989).
- DANÈS, R.; JULIÀ, R.; BOLÒS, O. de. "Catàleg de sòls de la circumscripció de Barcelona. Terme municipal: Fogars de Tordera" *Diputació de Barcelona. Servei d'Agricultura i Ramaderia*. (1984)
- DARP "Caracterización edafo-climática de la zona regable del embalse de Guiamets (Tarragona)". *Informe inédito, Generalitat de Catalunya, Lleida* (1987), 182 p.
- DARP. "Manual per a la descripció i estudi de Sòls. Quaderns de l'inventari de Sòls de Catalunya", núm. 1. 35 pp. (1995) *Document ús intern*.

- DE LA ROSA, D. "Evaluación agro-ecológica de suelos" Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 2008. p. 404. libro + CD-ROM.
- DMAH "Cartografia digital de les activitats extractives de Catalunya. EXTCATA, data d'actualització 30/05/2009."
http://mediambient.gencat.net/cat/el_departament/cartografia/fitxes/extract.jsp juny 2009.
- DOMINGO, F., SERRA, J. TEIXIDOR, N. "Fertilización con productos orgánicos de origen ganadero en sistemas de cultivo de maíz en regadío en Girona (Cataluña): producción y balance de nitrógeno. Capítulo VII. En: QUEMADA, M. (Ed.). "Balance de nitrógeno en sistemas de cultivo de cereal de invierno y de maíz en varias regiones españolas". Monografías INIA: Serie Agrícola, nº 22. Madrid. p. 91-106. (2006).
- EC "BioSoil Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests" Part IIIa - Manual adaptations for soil sampling and analysis for BioSoil Project. European Commission Joint Research Centre, Ispra. 130pp. (2007). http://biosoil.jrc.ec.europa.eu/pdf/Chapt3a_2006.pdf
- ENVIRONMENT AGENCY "The state of soils in England and Wales" (2004), p. 28.
- EUROSTAT "LUCAS: Land Use/Cover Area frame Statistical Survey"
<http://eu soils.jrc.ec.europa.eu/projects/LUCAS/> (2010)
- FAO "Soil Survey Investigation for Irrigation" FAO Soil Bull. n. 42. 185 p. Roma (1979).
- FINKE, P.A.; GROOT, W.J.M. DE; HACK-TEN BROEKE, M.J.D.; RANDEN, Y. VAN; VRIES, F. DE; OUDE VOSHAAR, J.H. "Linking digital soil maps and databases to simulation models: functional soil map aggregation in The Netherlands". In: H.J. Heineke, W. Eckelmann, A.J. Thomasson, R.J.A. Jones, L. Montanarella & B. Buckley (eds.), Land information systems; developments for planning the sustainable use of land resources. Ispra (Italy), European Soil Bureau JRC, Res. Rep. 4 / EUR 17729 EN, (1998). p. 305-319.
- FORN, R. "Seguiment de la fertilitat en els sòls de El Poal. Classificació automàtica." TFC. EUIT Agrícola. Lleida, (1987).
- GRAÑANA, S. "Avaluació d'indicadors de qualitat del sòl. Carboni orgànic, salinitat i sodicitat a les Terres de l'Ebre". Lleida: Projecte Final de Carrera. Universitat de Lleida. (2009).
- GRUP DE TREBALL 'NOMENCLATURA D'HORIZZONS DE SÒLS' "Denominació d'horitzons genètics (i capes)" Secció de Sòls de la ICEA i Delegació Territorial de la SECS. Quaderns agraris 16, desembre 93. p.: 111-126.
- HERRERO, C. "Síntesi dels resultats d'un mostreig dels sòls agrícoles de Catalunya (2008-2011)". DAAM. Informe intern. (2011).
- HERRERO, C., BOIXADERA, J., DANÉS, R. i VILLAR, J.M. "Mapa de sòls de Catalunya. 1:25.000. Bellví 360-1-2". DGPIA-ICC. Generalitat de Catalunya. Barcelona. (1993). 198p.
- HERRERO, J. "Morfología y génesis sobre yesos". Monografías. INIA nº 77. Madrid. (1991). 447p.
- HUDSON, B. "The soil survey as paradigm – based science". Soil Sci. Am. J., 56(3), 836-841p. (1992).
- HUGUET DEL VILLAR, E. "The soils of the Lusitano-Iberian Peninsula". Thomas Murby and Company. London United Kingdom. (1937).
- IGC. "Plec de prescripcions tècniques per a l'execució de la cartografia detallada de Sòls (a escala 1:25.000) de Catalunya. (2009) 98 p.
- IGC, DAR, ICC. "Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Mollerussa, full 389-1-1 (65-29), 1:25.000". 2009.

- IGC, DAR, ICC "Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Tèrmens, full 359-2-2 (64-18), 1:25.000". 2010a.
- IGC, DAR, ICC. "Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Bell-lloc d'Urgell, full 388-2-1 (64-29), 1:25.000". 2010b.
- IGC, DAR, ICC. "Mapa geològic de Catalunya. Geotrell IV. Mapa de sòls. Artesa de Lleida, full 388-2-2 (64-30), 1:25.000". 2010c.
- ISSS. "Project proposal "World Soils and Terrain Digital Database at a scale 1:1M (SOTER)". Ed. By M.F. Baumgardner, ISSS, Wageningen, (1986) 23 p.
- KEMPEN, B.; HEUVELINK, G.B.M.; BRUS, D.J. & STOOORVOGEL, J.J. "Pedometric mapping of soil organic matter using a soil map with quantified uncertainty" *European Journal of Soil Science*, june (2010), 61: 333-347.
- LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A.B.; & VOLTZ, M. "Digital Soil Mapping. An Introductory Perspective" *Developments in Soil Science*. V 31. (2007) Ed. Elsevier, 599 p.
- LÓPEZ ARIAS, M.; GRAU CORBÍ, JM. "Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de los suelos agrícolas y de pastos de España peninsular" Ed.: INIA-Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid (2005). p. 249.
- MAPA "Métodos Oficiales de Análisis" Tomo III. Dirección General de Política Alimentaria. Madrid (1986). 662 p.
- MACBRATNEY, A.B.; MENDOÇA SANTOS, M.L. & MINASNY, B. "On digital soil mapping" *Geoderma* 117 (2003) 3-52.
- MACBRATNEY, A.B.; ODEH, I.O.A.; BISHOP, T.F.A.; DUNBAR, M.S.; SHATAR, T.M. "An overview of pedometric techniques for use in soil survey" *Geoderma* 97 (2000) p. 293-327.
- MCCRACKEN, R.J. "Evangelists, Scholars, Historians, Lab Types, Computer Buffs, Map Makers, and Auger Pullers in the Soil Survey" *Soil Survey Horizons*. Fall (1993) p.61-71
- MINISTERIO DE AGRICULTURA "Mapa de clases agrológicas E. 1:50.000. Hoja 358 (Almacellas, Lérida)". Memoria + mapa. Madrid. (1978).
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE "Inventario nacional de erosión de suelos 2002-2012. Comunidad Autónoma de Cataluña. Lleida" Dirección General para la Biodiversidad. Madrid. (2004). Memoria (241 p.) + mapas + CD-ROM.
- NIEVES, M.; FORCADA R.; GÓMEZ V. "Precisión, escala y densidad de observaciones en los estudios de suelos". *Bol. Est. Central de Ecología* XIV, 27, Madrid, (1985), p. 47-56.
- ONTAÑÓN, J.M. "Mapa de suelos de España peninsular a escala 1:2.500.000" In: CSIC. Comunicaciones a la conferencia de suelos mediterráneos. SECS. (1966). Madrid. p 383-386.
- PÁSZTOR, L. "Functional soil mapping for identification of NVZs" 10 th AGILE Internacional Conference on Geographic Information Science, (2007). Aalborg University, Denmark. 9 p.
- PLA, I. & NACCI, S. "Traditional compared to new systems for land management in vineyards of Catalonia (Spain)". In: Roose, E. and col (ed.) "Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen". *Bulletin Réseau Erosion* 21. 213-222 Montpellier. (2003).
- PORTA, J. "Taxonomia comparada de sòls: Perspectives per a Catalunya" *Butll. Institució Catalana de Historia Natural*, 50: 229-239. Barcelona (1985).
- PORTA, J.; JULIA, R. (coord) "Els sòls de Catalunya: Àrea Meridional de Lleida". *DARP, Generalitat de Catalunya*, Barcelona, (1983).

- PORTA, J.; ARAN, M.; BOIXADERA, J.; LLUSÀ, N.; LÓPEZ-ACEVEDO, M.; POCH, R. M.; TEIRA, M. R.; VILLAR, J.M. "Protecció de sòls: Catalunya, les Illes Balears, Principat d'Andorra" [en línia]. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans, [2008, actual. 2011]. <<http://www.iec.cat/mapasols>> [Consulta: 17 abril 2011].
- PORTA, J; TASIAS, J. "Projecte: Mapa de sòls de Catalunya a escala 1:25.000" Institut Geològic de Catalunya-Institut d'Estudis Catalans. Versió Draft. (2006)
- RAMOS, M.C., COTS-FOLCH, R. and MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. "Effects of land terracing on soil properties in the Priorat region in Northeastern Spain: A multivariate análisis". *Geoderma* 142, (2007), p. 251-261.
- SALAMERO, J.M.; OLARIETA, J.R. "Estudi de Caracterització Edafo-climàtica i Orientació Productiva de l'Àrea Regable de l'Embassament de Margalef (Tarragona)" DARP Barcelona. (1989).
- SIMÓ, I., BOIXADERA, J., GRAÑANA, S., POCH, RM. "The spatial distribution of soil salinity in the Ebro delta" ,(p.279-283). In. ZDRULI, P. & COSTANTINI, E. "Moving ahead from assessments to actions: Could we win the struggle with land degradation?" Book of Abstracts. 5th International Conference on Land Degradation, Bari, Itali, (2008), 374 p.
- Soil Survey Staff. "Soil Survey Manual". Handbook n° 18, USDA. Washington, (1951). 503p.
- Soil Survey Staff "Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys". Agric. Handbook n. 436. Washington DC (1975).
- Soil Survey Division Staff. "Soil Survey Manual". USDA, 473 pp. Washington. (1993).
- Soil Survey Staff "Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys". Agric. Handbook n. 436. US Departament of Agricultura. National Resources Conservation Service.(1999).
- SOLÉ SABARÍS, L.; LLOPIS LLADÓ, N. "Mapa geològic de España. 1:50.000 Hoja n° 360: Bellvis (Lérida)", I.G.M.E, Madrid, (1946). 55 pag.
- TEIRA M.R., BOSCH A.D., DOMINGO F., ROSSELLÓ A. "Ammonia volatilization in winter rain fed cereal fertilized with pig slurry". *Italian Journal of Agronomy*, 3: 271-272. (2009).
- US SOIL SALINITY LABORATORY. "Saline and alkali soils" *Handbook* n° 60, USDA. Washington. (1954). 160p.
- USDA. "National Soil Handbook". Soil Conservation Service. Washington, (1983).
- VAN WAMBEKE, A; T.R. FORBES (eds). "Guidelines for using Soil Taxonomy in the names of soil map units". SMSS Tech. Mon. 10. SCS. Washington. (1986) 73 pp.
- VILLAR J.M.; M. ARÁN; A. SANZ; J. BOIXADERA. "Catàleg de Sòls de la Circumscripció de Barcelona: TM de Sant Boi de Llobregat" Servei d'Agricultura. Diputació de Barcelona, (1986).
- VIRGILI, J.M. "Aprofundiment en el coneixement d'aspectes de la fertilitat dels sòls a Catalunya". Lleida: ETSEA (Projecte final de carrera). (1994). 103 p.
- WESTERN, S. "Soil survey contracts and quality control" Monographs in soil survey. Clarendon Press. Oxford. (1978), 284 p.
- ZEILER, M. Modeling our world: The ESRI Guide to Geodatabase Design. 204 pp. (1999)

1.3. Descripción de los itinerarios

Josep M. Alcañiz¹, Vicenç Carabassa¹ y Marc Vicens²

(1) Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Edifici C, Campus UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, España.

(2) Institut Geològic de Catalunya; c/ Balmes 209-211, 08006 Barcelona.

Resumen

Para la 28 edición de la reunión de campo de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo (SECS) se han seleccionado tres itinerarios que permiten apreciar la variedad de paisajes y la diversidad de suelos que presenta Cataluña.

Itinerario 1: Garraf - el Priorat - la Ribera d'Ebre, Itinerario 2: la Cerdanya y Itinerario 3: el Penedès - l'Anoia, responden al nombre de las comarcas catalanas donde tendrán lugar las diferentes presentaciones, si bien las excursiones transcurren por varias comarcas más.

En la figura 1 se muestran los tres recorridos programados que, en conjunto, dibujan un transecto N-S por buena parte de la geografía de Cataluña. Todos ellos parten desde Barcelona, concretamente desde el pie de la sierra de Collserola que forma parte de la Sierra Litoral (Sistema Mediterráneo).

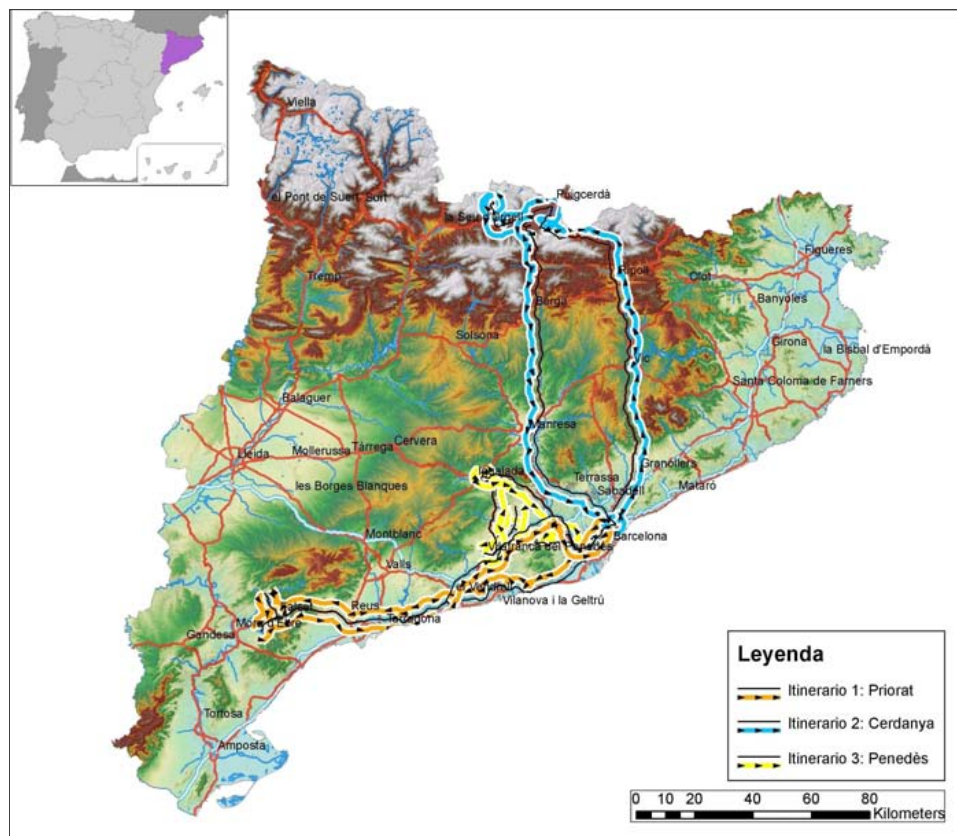


FIGURA 1. Mapa de Cataluña con los tres itinerarios programados para la reunión de Ciencia del Suelo SECS 2011.

1.3.1. Itinerario 1: el Garraf - el Priorat - la Ribera d'Ebre

Este itinerario se dirige hacia el Sur por la llanura aluvial/deltaica del río Llobregat, hoy ocupada por la conurbación de Barcelona, que ha fragmentado los suelos agrícolas de primera calidad que constituían la antigua huerta de la metrópolis (figura 2). Con objeto de reducir la presión que reciben los suelos agrícolas en esta zona, se ha creado el Parque

Agrícola del *Baix Llobregat*, que es una figura administrativa que ofrece cierto grado de protección. En esta zona deltaica, además de la contaminación, la sobreexplotación de los acuíferos ha generado algunos problemas de salinización debidos a la intrusión marina (UPC, 2000). Una vez llegado a las proximidades de Gavà y Castelldefels se divide el Macizo de Garraf, formado principalmente por calizas y dolomías de modelado cárstico. El trazado de la carretera, que discurre por la línea de costa, permite observar los potentes acantilados formados por la erosión marina sobre este macizo calcáreo. En este tramo aparecen las cicatrices de varias canteras que son una de las principales actividades económicas de la zona (capítulo 5.2). Los escasos pueblos (Garraf, Vallcarca) están situados junto a las calas (pequeñas ensenadas), aprovechando el poco espacio que deja la accidentada orografía.

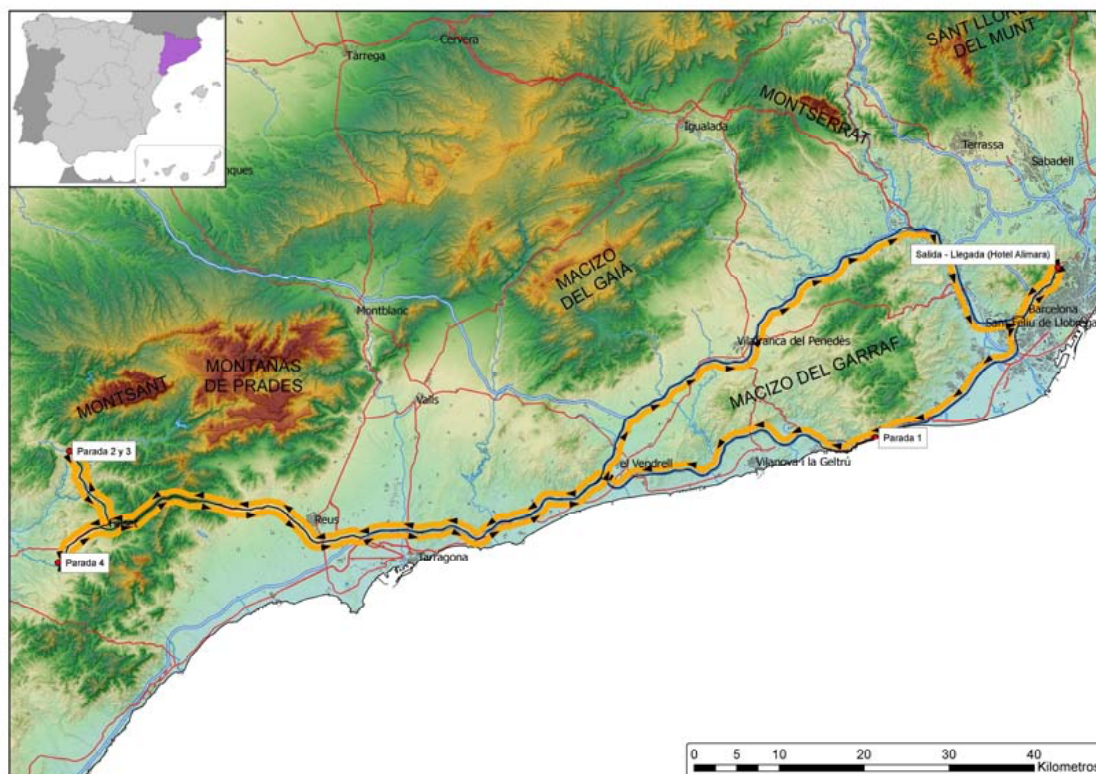


FIGURA 2. Itinerario 1: Garraf - el Priorat - la Ribera d'Ebre.

El Macizo de Garraf forma parte de la Cadena Litoral catalana. La aspereza del paisaje cárstico y la escasez de suelos cultivables han mantenido la zona con poca población a pesar de la proximidad a Barcelona. Una amplia zona del macizo forma parte del Parque Natural del Garraf (12.800 ha), que se caracteriza por un relieve cárstico donde abundan las dolinas, las simas y los torrentes subterráneos. La vegetación se caracteriza por el predominio de formaciones arbustivas esclerófilas (maquia) con coscoja (*Quercus coccifera*) y palmito (*Chamaerops humilis*), acompañadas de carrizo (*Ampelodesmos mauritanica*). Estas dos últimas especies se encuentran en el límite septentrional de su área de distribución. Otras plantas destacables son el romero (*Rosmarinus officinalis*), el tomillo (*Thymus vulgaris*) y el lentisco (*Pistacea lentiscus*), acompañadas del omnipresente pino carrasco (*Pinus halepensis*).

La primera parada de este itinerario corresponde a la cantera de La Falconera, que recibe este nombre por la peña situada junto al pueblo de Garraf (capítulo 5.2).

El trayecto continúa en sentido Suroeste, pasando por los alrededores de Sitges, Sant Pere de Ribes y Vilanova i la Geltrú, donde el paisaje se abre y permite la presencia de cultivos (viña y olivos) y una mayor urbanización. A partir de aquí el paisaje continúa dominado por las

formaciones calizas y los bosques de *Pinus halepensis* pero con un relieve más suave que se mantiene así hasta las cercanías de Tarragona.

El recorrido se hace por autopista, pasando por las cercanías de El Vendrell, Roda de Barà, Torredembarra, el Mèdol y Tarragona, tramo lleno de huellas y monumentos de la época romana.

A partir de aquí, el itinerario se dirige a Reus, cruzando el *Camp de Tarragona*, llanura aluvial del río Francolí. En este tramo se pueden observar paleosuelos rojos con petrocálcicos de distintos periodos del cuaternario. Desde las cercanías de Reus ya se pueden divisar, al fondo, las sierras de Prades y del Montsant, que forman parte de la Cadena Prelitoral catalana.

Pasado el pueblo de Riudecols el paisaje cambia. Aparecen los esquistos del Paleozoico, que constituyen el zócalo sobre el que se asientan las sierras antes mencionadas, y la carretera sube progresivamente hasta el *Coll de la Teixeta*, puerta de entrada a la comarca del Priorat. Esta comarca recibe el nombre por corresponder al dominio o priorato de la Cartuja de Escaladei (finales s. XII), situada al pie de la *Serra de Montsant* (capítulos 2.1 y 2.2).

La comarca, que destaca también por sus poderosos vinos, comprende dos denominaciones de origen, la DO Montsant y la DO Cualificada Priorat. Las dos ocupan una pequeña extensión, pero con una personalidad propia (capítulo 2.1).

A continuación, la carretera desciende hasta Falset, capital de la comarca, que posee una bella bodega cooperativa de estilo modernista. En esta población la ruta se desvía hacia el Norte en dirección a los pueblos de Gratallops y La Vilella Baixa, situados en el corazón del Priorat (figura 3).



FIGURA 3. Recorrido por el Priorat y situación de las paradas en esta comarca.

Cerca de La Vilella Baixa se efectuará la siguiente parada, que será doble, con objeto de observar el suelo típico del Priorat, formado sobre esquistos que reciben la denominación local de *licorella*, y los abancalamientos para el cultivo de la viña (capítulos 2.1 y 2.2).

La comida tendrá lugar en una bodega próxima a este lugar.

Por la tarde, regresaremos hasta Falset por la misma carretera y seguiremos, en dirección Sudoeste, hacia els Guiamets, donde se efectuará la siguiente parada para estudiar unos interesantes suelos desarrollados sobre limos (capítulo 2.3).

El regreso a Barcelona se realizará por la carretera comarcal que pasa por Marçà. Al llegar a Falset, volveremos a Reus, para tomar la autopista AP7 hasta Barcelona.

1.3.2. Itinerario 2: la Cerdanya

Este itinerario permite observar las unidades del paisaje de la Cataluña central y las del Pirineo oriental (figura 4). Se sale de Barcelona por el valle del río Besòs, en dirección Norte, cruzando en diagonal la Depresión del Vallès, que se encuentra situada entre las Cadenas Litoral y Prelitoral catalanas.

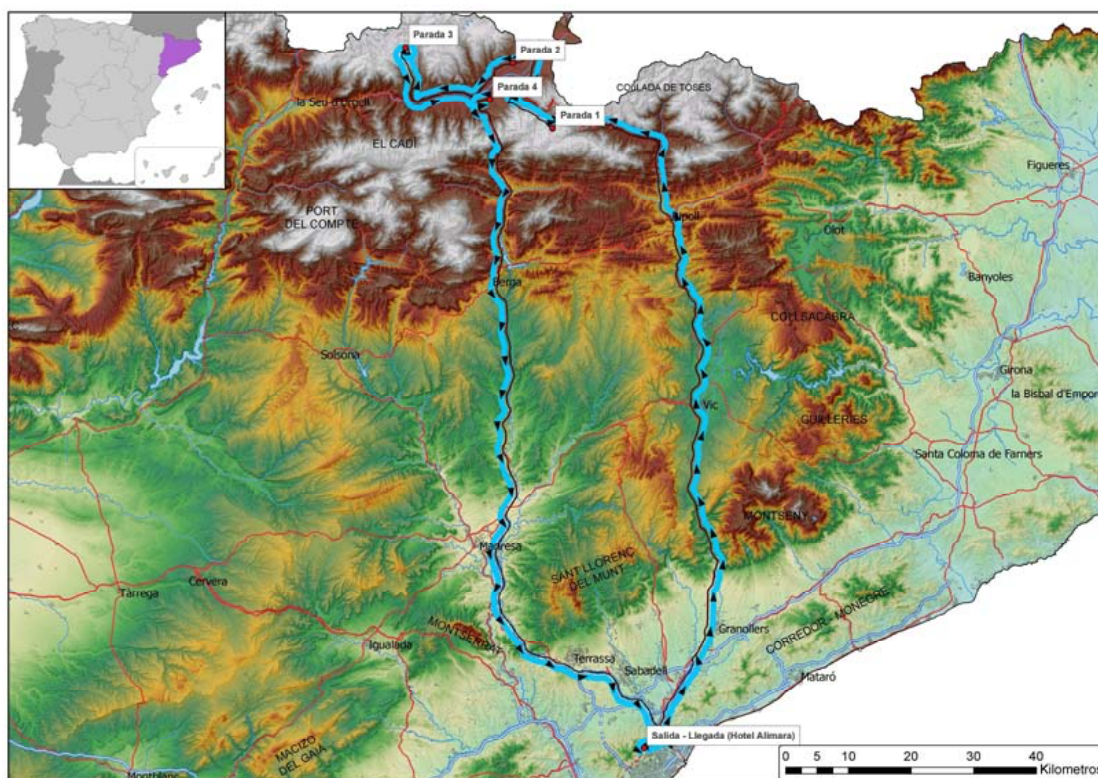


FIGURA 4. Itinerario 2: la Cerdanya.

El Vallès forma parte de la Depresión Prelitoral y se corresponde con una fosa tectónica, rellena durante el Mioceno por materiales procedentes de ambas cadenas y que presenta continuidad hacia el sur, en la Depresión del Penedès. El paisaje conserva un relieve alomado, con agricultura de secano, bosques escasos, poblaciones con una fuerte expansión urbanística y una densa red de vías de comunicación.

A la altura de la población de la Garriga, en las estribaciones del Macizo del Montseny, se atraviesa la falla que separa la Depresión del Vallès y la Cadena Prelitoral. En esa población y en Caldes de Montbui, población cercana y situada en una posición equivalente respecto a esa falla, existen fuentes termales y balnearios que se nutren de esas aguas.

Pasado la Garriga, el paisaje cambia súbitamente ya que la carretera entra en el desfiladero (que en catalán se denomina *congost*) del río Congost, que permite cruzar las montañas de la Cadena Prelitoral. Al Este del *congost* afloran las montañas, mayoritariamente silíceas (granitoides y esquistos del Paleozoico) del Montseny. Al Oeste aparece toda la serie estratigráfica desde el Triásico hasta el Eoceno inferior en los llamados *Cingles* (riscos) de Bertí. La vegetación en el río Congost conserva todavía el carácter mediterráneo, con densos encinares y bosques de *Pinus halepensis*.

A la altura de Centelles el paisaje se abre rápidamente y aparecen grandes áreas de cultivo. En días claros se divisan, hacia el Norte, los Pirineos Orientales, a los que nos dirigimos.

El trayecto continúa por una amplia llanura, la Plana de Vic, ocupada por campos de cultivo y salpicada de colinas muy erosionadas; se trata de afloramientos de margas grises del

Eoceno medio que se extienden hasta el Prepirineo y que forman parte, desde el punto de vista geológico, del extremo oriental de la Cuenca del Ebro.

El carácter continental del clima y la posición deprimida de La Plana respecto al entorno, favorece las inversiones térmicas y la niebla en los meses fríos. Este clima también condiciona la vegetación natural, que se caracteriza por la presencia de roble (*Quercus humilis*) y pino rojo (*Pinus sylvestris*).

Los suelos de la Plana de Vic son bastante profundos, franco-limosos, calizos y con contenidos medios de materia orgánica. La fama de los embutidos de esta comarca propició, junto con otros factores, el desarrollo de la ganadería porcina intensiva, lo que ha provocado la sobrefertilización de algunos suelos y la contaminación por nitratos de algunos acuíferos.

El itinerario sigue dirección Norte y, a partir de de la población de Manlleu, transcurre paralelo al curso del río Ter, uno de los principales de Cataluña.

A la altura de Sant Quirze de Besora atravesamos los primeros túneles, lo que nos indica el carácter montañoso de la zona. En este tramo ya se entra en el Prepirineo, conjunto de sierras alineadas de Este a Oeste y formadas por areniscas intercaladas en estratos de margas y calizas. La vegetación en esta zona es de tipo forestal, con la peculiaridad del fuerte contraste entre la solana, dominada por los robles, y las umbrías, donde predomina el haya (*Fagus sylvatica*). El pino rojo (*Pinus sylvestris*) también es muy abundante y lo encontramos en ambas laderas.



FIGURA 5. Tramo correspondiente al recorrido que se realizará por el Pre-Pirineo y La Cerdanya con indicación de los puntos de parada.

La carretera toma dirección NO y asciende, sin parar, hasta alcanzar el puerto de la Collada de Toses (1.800 m). A medida que se asciende se amplía la visibilidad del paisaje, lo que permite apreciar la abrupta orografía del Pirineo.

En este tramo predominan las pizarras paleozoicas, con afloramientos puntuales de esquistos ricos en hierro. Por lo que respecta a la vegetación, los pinares de *Pinus sylvestris* son reemplazados, progresivamente, por *Pinus uncinata* o híbridos de ambos. También empiezan a aparecer amplias zonas de pastos de montaña.

Desde la Collada de Toses ya se divisa la comarca de la Cerdanya (capítulo 3.1). La primera parada científica se realizará en el Coll del Padró, situado a unos 5 km del puerto, en dirección a la estación de esquí de La Molina. Desde este punto se observan los amplios prados del Pla d'Anyella, lugar de pastoreo estival secular.

Se llega así a Ripoll, población situada en la confluencia de los ríos Ter y Freser, y capital de la comarca del Ripollès, con su histórico monasterio románico.

La carretera continúa por el cerrado valle del río Freser, que permite contemplar su curso, así como la vía del primer ferrocarril transpirenaico.

En Ribes de Freser, población de veraneo de donde parte el tren cremallera que lleva al Santuario de Núria, situado al pie del Puigmal (2.910 m y cima más alta del Pirineo Oriental), la

El trayecto prosigue hacia las pistas de esquí de La Molina y Masella, pasando por bosques de *Pinus uncinata*. A partir de aquí, la carretera desciende progresivamente y permite divisar al norte el cordón de cimas del Pirineo axial, que limitan con Francia y donde destacan la Tossa Plana de Lles (2.904 m), el Puigpedrós (2.914 m) y el Carlit (2.921 m).

En el fondo del valle se aprecia el amplio Pla de la Cerdanya, valle que se extiende entre los estados español y francés, salpicado de pueblos entre los que destacan Puigcerdà, Bourg-Madame y el enclave de Llivia. La carretera alcanza el valle de la Cerdanya entre las poblaciones de Das y Alp, donde se observan las nuevas urbanizaciones de segunda residencia, un fenómeno habitual en toda esta comarca.

La ruta sigue hacia Puigcerdà; a la entrada de esta población el itinerario toma la carretera a la Seu d'Urgell, en dirección Oeste. En las inmediaciones de la población de Bolvir está ubicada la segunda parada (capítulo 3.1).

El siguiente tramo transcurre por la ladera norte del valle de la Cerdanya, siguiendo el curso del río Segre y pasando por los pueblos de Bellver y de Martinet. Se trata de un paisaje dominado por los prados dedicados al pastoreo.

En Martinet dejamos el valle principal para ascender hacia el Norte por una carretera local hasta la población de Lles de Cerdanya. Durante el ascenso se pueden observar, junto a la carretera, afloramientos de granitos bastante meteorizados y bolos de esta roca. Por otra parte, una mirada hacia el Sur permite observar los escarpes de la Sierra del Cadí.

Pasado el pueblo de Lles, la ruta prosigue por una pista forestal que asciende entre pastos y bosques hasta el refugio de montaña de Cap de Rec (1.950 m), situado en un bonito claro del bosque subalpino. Hacia el Norte se observan las cumbres de las montañas del Pirineo axial y los circos glaciares que dan al paisaje un marcado carácter alpino. Si las condiciones meteorológicas lo permiten se almorzará en Cap de Rec.

La tercera parada está situada a unos 2 km del refugio, en el bosque de La Mata, donde podremos observar un espodosol (capítulo 3.1).

Descenderemos por el mismo camino, hasta Martinet, y en Bellver nos desviaremos hacia el pueblo de Prats de Cerdanya, situado en la parte más llana del valle. En esta zona se sitúa la cuarta parada, junto a una antigua extracción de áridos, donde podremos observar un suelo complejo desarrollado sobre materiales calizos.

El regreso a Barcelona se hará a través del túnel del Cadí, acceso que permite cruzar la barrera de montañas pirenaicas y conduce a la comarca del Berguedà, cabecera del río Llobregat. Éste es uno de los más importantes de Cataluña y traza uno de los principales ejes de comunicación N-S.

El tramo entre Guardiola y Berga es abrupto y está dominado por las montañas calizas que conforman el Prepirineo. Pasa cerca de la antigua zona minera de Figols, donde todavía se observan restos de esta actividad que permitió la extracción de carbón y el establecimiento de la central térmica de Cercs, situada en la cabecera del embalse de la Baells, una de las reservas de agua del área metropolitana de Barcelona.

Cuando se llega a Berga el paisaje cambia inmediatamente. Vuelven a dominar los suelos agrícolas y el bosque se hace más escaso y xerófilo, lo que indica que estamos otra vez en la Depresión Central catalana.

La autovía sorteja los pueblos y las colonias fabriles que se suceden, una tras de otra, a lo largo del río Llobregat. Pasamos junto a las explotaciones de sal potásica de Sallent, que contribuyen a la salinización del río Llobregat aguas abajo. En las proximidades de Manresa se

divisa la silueta característica de la montaña de Montserrat, que nos acompañará durante un tiempo.

La ruta se aleja poco a poco del valle para sortear las estribaciones de la Cadena Prelitoral y, luego, desciende hasta la Depresión del Vallès, en las cercanías de Terrassa, donde el territorio está mucho más urbanizado.

En las inmediaciones de Sant Cugat se puede observar la, siempre verde, Sierra de Collserola, parque natural y verdadero pulmón de la ciudad de Barcelona. La autovía de los túneles de Vallvidrera cruza la sierra y nos lleva, directamente, al punto de origen.

1.3.3. Itinerario 3: el Penedès – l’Anoia

Este itinerario (figura 5) es un transecto SE-NO, desde la Cadena Litoral (Macizo de Garraf) hasta el borde de la Depresión del Ebro (Cuenca de Òdena). Parte de Barcelona, en dirección Sur, por valle del río Llobregat, en cuyas terrazas se concentran varias poblaciones, industrias, y todas las vías de comunicación hacia el centro de la península (figura 6).

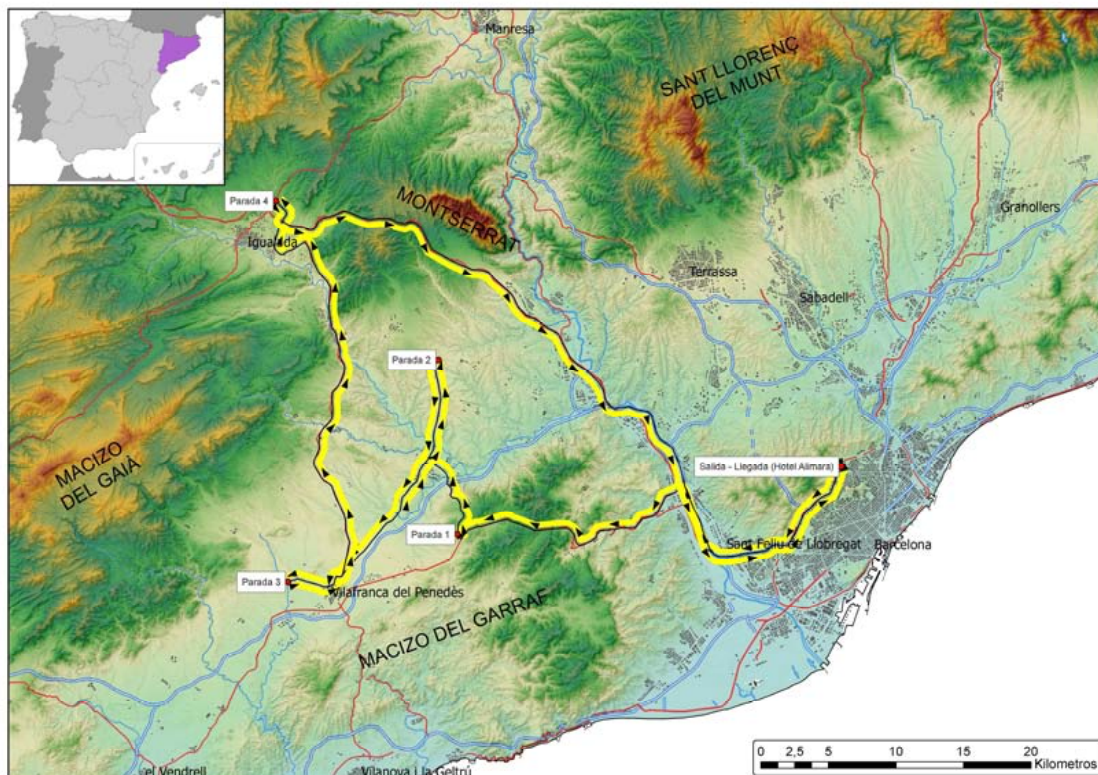


FIGURA 6. Itinerario por el Penedès y Anoia con indicación de los puntos de paradas científicas.

En la población de Molins de Rei. La ruta se desvía hacia el Suroeste, ascendiendo para adentrarse en la Sierra de l’Ordal (Macizo de Garraf), y pasando por las poblaciones de Cervelló y Vallirana, cuyas urbanizaciones se esparcen, caóticamente, por sus términos municipales.

El macizo de Garraf es una montaña calcárea en la que se ubican grandes canteras para la obtención de áridos y la fabricación de cemento (Serrano, 2009). La vegetación está dominada por bosques de pino carrasco (*Pinus halepensis*) y plantas características del encinar mediterráneo.

A partir del puerto d’Ordal (487 m), la carretera desciende progresivamente hasta la primera parada, situada cerca de Sant Pau d’Ordal, en un punto que permite observar la

Depresión del Penedès y donde se explicaran las principales características geográficas y geológicas de la zona (capítulo 4.1).

El trayecto desciende hasta el fondo de la depresión hasta las proximidades de Sant Sadurní d'Anoia, la ciudad del cava, donde está prevista una primera parada técnica. En el transcurso de la misma, se explicaran los trabajos de cartografía y evaluación de suelos que se han llevado a cabo en la zona por parte del *Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural de la Generalitat de Catalunya* y el programa de cartografía de suelos del *Institut Geològic de Catalunya* (capítulos 1.2 y 4.2).

A continuación nos trasladaremos al término municipal de Masquefa, atravesando los extensos viñedos de la comarca, con la inconfundible silueta de la montaña de Montserrat al fondo. En las proximidades de esta última población tendrá lugar la tercera parada, donde nos explicarán los problemas de erosión en barrancos que se presentan en esta área y los trabajos de investigación, que al respecto, se han llevado a cabo durante más de veinte años (capítulo 4.3). Paralelamente, se mostrará un perfil (Xerorthent típico) muy representativo de la zona (capítulo 4.2) y se comentaran los problemas asociados a las nivelaciones de esos suelos, que suelen ser habituales en la zona (capítulo 4.5).

Seguidamente nos desplazaremos en dirección a Vilafranca del Penedès, capital de la comarca de l'Alt Penedès, siguiendo el eje NE-SO de la depresión. Bordeando la ciudad, nos dirigiremos a Pacs del Penedès para visitar las instalaciones de Bodegas Torres, donde los técnicos de la empresa nos explicaran como utilizan la cartografía muy detallada (escala 1:5.000) de los suelos de sus fincas en su día a día, y nos mostraran algún perfil representativo de la zona (capítulo 4.4). El almuerzo tendrá lugar en las instalaciones de estas bodegas.

Por la tarde el recorrido proseguirá hacia el Norte, dirección a Igualada, capital de la comarca de l'Anoia. En sus inmediaciones, encontramos el pueblo de Òdena, donde visitaremos los terrenos de una nave industrial abandonada que quedaron gravemente contaminados, afectando también al acuífero. Allí nos explicaran los problemas ambientales causados por esta contaminación y los estudios y trabajos llevados a cabo para combatirla (capítulo 5.1).

El regreso a Barcelona se efectuará por la autovía A2, que cruza parte de las montañas de la Cadena Prelitoral por el túnel del Bruc; este recorrido permite divisar, de cerca, las montañas de Montserrat. La autovía continua, poco a poco, el descenso hasta volver a alcanzar el valle del Llobregat y entrar en la ciudad de Barcelona.

1.3.4. Referencias bibliográficas

- DAAM. (2008). "Mapa de sòls (1:25.000) de l'àmbit geogràfic de la DO Penedès". Vilafranca del Penedès.
- ENCICLOPÈDIA CATALANA (1986). Història Natural dels Països Catalans, Vol. 2: Geologia II.
- ENCICLOPÈDIA CATALANA (1986). Història Natural dels Països Catalans. Vol. 7: Vegetació.
- ENCICLOPÈDIA CATALANA (1992). Gran Geografia Comarcal de Catalunya: Alt Penedès, Baix Penedès, Garraf i Anoia.
- ENRÍQUEZ, C. (1977) Por el Pirineo Catalán: Cerdaña Alto Berguedá y Ripollés. Ed. Quera, Barcelona, 191 p.
- RIBA O., BOLÓS O., PANAREDA J.M., NUET J. I GOSÀLBEZ J. (1976) Geografia Física dels Països Catalans, Ketres Editora, Barcelona, 226p.
- SERRANO, D. (2009) Les Muntanyes d'Ordal. Estudi de paisatge. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona, Facultat de Geografia i Història.

SOLÉ-SABARÍS, LL. (1958-1974) Geografía de Catalunya (3 vol.), Ed. Aedos, Barcelona.

UPC (2000) Estudio sobre la salinización del Acuífero Principal del Delta del Llobregat y posibles medidas correctoras". Informe del Grupo de Hidrología Subterránea ETSECCPB-UPC, Barcelona, Octubre 2000.

VIGO J. (1976) L'Alta Muntanya Catalana Flora i Vegetació. Ed. Montblanc-Martin, Centre Excursionista de Catalunya, Barcelona, 421 p.

2. Itinerario por las comarcas del Priorat y la Ribera de l'Ebre

2.1. Itinerario edáfico por la comarca del Priorat

Jaume Boixadera¹, Carmen Herrero¹, Gustau Carrillo², Marta Puiguriguer³, y Josep Miquel Ubalde^{4,5}

(1) Servei de Producció Agrícola, Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural (DAAM), Generalitat de Catalunya. Campus ETSEA. 25198 Lleida.

(2) Vèrtex consultoria Agroforestal, S.L. P. Capmany, 3, bajos. 25005 Lleida.

(3) Axial. Geologia i Medi Ambient SL. Av. Furest, 20. 17455 Caldes de Malavella (Girona).

(4) Bodegas Miguel Torres, C. Torres i Carbó, 6. 08720 Vilafranca del Penedès (Barcelona).

(5) Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida. Campus ETSEA. 25198 Lleida.

Resumen

En este capítulo se describen los suelos dominantes en la comarca del Priorat, concretamente los suelos característicos de la Denominación de Origen Calificada Priorat (DOQ). En esta zona vitícola, unas condiciones muy particulares del clima, la geología y los suelos favorecen la producción de vinos de muy alta calidad. Los suelos típicos del Priorat se desarrollan en laderas a partir de pizarras, conocidas localmente como *licorelles*. Estos suelos, caracterizados por ser poco profundos, con muchos elementos gruesos y con un drenaje rápido, limitan la producción y favorecen una excelente maduración de la uva.

2.1.1. Introducción

El nombre y los límites de la comarca han sido objeto de profundos y apasionados debates, de los que no ha sido ajeno los relacionados con las peculiaridades del vino que se produce en la zona y, por ende, los aspectos económicos que ello conlleva (Anguera *et al.*, 1985; Espinàs, 1962). Los vinos del Priorat se han caracterizado siempre por ser vinos con particulares matices y de elevada graduación, tal y como recoge Anguera *et al.* (1985) con datos de 1928 de la Estación Enológica de Reus. Asimismo la relación de estos vinos con un tipo determinado de suelo ya queda recogido en la Orden de creación de la Denominación de Origen Priorat en 1954.

Cuando la Generalitat republicana realizó la división comarcal de 1936, se planteó qué nombre se daba a esta comarca de Tarragona. Inicialmente tomó fuerza la posibilidad de llamarse la Cuenca del Siurana –atendiendo a la orografía de la zona-, sin embargo, finalmente se impuso la memoria popular que históricamente había identificado la comarca con el monasterio o Priorato cartujano de Escaladei. De esta manera la comarca tomaba del monasterio de origen medieval el nombre de Priorat.

Dentro de la comarca encontramos dos denominaciones de origen vitícola, la DOQ Priorat, al norte, y la DO Montsant, al sur.

La orientación vitícola de la comarca ha sido una constante a lo largo de la historia y ello puede leerse en sus pueblos, sus paisajes y sus suelos, así como los avatares de este negocio con sus momentos álgidos y sus profundas depresiones. Después del máximo de población de la etapa prefiloxera se pasó al mayor índice de despoblación de toda Cataluña, sólo revertido a partir de 1990 con el reciente *boom* del vino del Priorat y sus más de 70 bodegas de la DOQ Priorat. Nuestros ojos perciben un cambio en el paisaje con un impacto fortísimo por los grandes aterrazamientos (aspecto discutido en detalle por Pla *et al.* en el capítulo 2.2 de este volumen, así como por Cots-Folch *et al.*, 2005 y Ramos *et al.*, 2007), pero que habría

que comparar al que había cuando todo el Priorat estaba cultivado de viñas, como lo atestigua una simple observación de los campos de almendros hoy abandonados o de los bosquecillos de encinas, donde es fácil encontrar pies de viña que se resisten a renunciar a dar testimonio de un pasado no tan remoto.

El estudio de los suelos que se visitan en este itinerario edáfico corresponde a la DOQ Priorat (figura 1), situada en una depresión limitada por la sierra de Montsant en su parte septentrional. Esta denominación de origen ocupa una superficie aproximada de 35.000 ha, de las cuales no llegan a 2.000 ha las inscritas como productoras en la DOQ (DAAM, 2010). Aún con este dato tan llamativo hemos de tener en cuenta que la calidad y fama de los vinos de esta comarca es tal que representa el primer motor económico. Además, como podremos apreciar durante el recorrido, la orografía del terreno no permite muchos cultivos más, siendo la superficie de cultivo cercana al 25 % (DAAM, 2008).

El cultivo de la viña va desde los 100 m, en los términos municipales de Bellmunt del Priorat y el Molar, hasta los 700 m, en el de la Morera del Montsant. La configuración del cultivo se caracteriza por pendientes que la mayoría de las veces superan el 15% y pueden llegar hasta el 65%, principalmente en los relieves colinados compuestos por materiales metamórficos del Paleozoico. En el último decenio se han realizado plantaciones en terrenos abancalados que permiten la mecanización del cultivo pero actualmente se está plantando más en las laderas (*costers*) según el sistema tradicional.



FIGURA 1. Área de la DOQ Priorat.

Valores muy elevados de insolación junto con el clima seco y la escasa pluviometría estival crean las condiciones adecuadas para una maduración con elevado valor glucométrico. La variabilidad de los factores, que determinan el clima y el bajo riesgo de fisiopatías durante la época de maduración, hacen que la vendimia sea muy prolongada, comenzando en Bellmunt del Priorat y el Lloar a mediados de septiembre y acabando en la Morera de Montsant y Porrera a finales de octubre.

La influencia de los suelos sobre las características de los vinos ha sido puesta de relieve por innumerables autores como Seguin (1983), Morlat (2001) o Vaudour (2003), incluyendo los vinos de alta calidad (Constantini *et al.*, 1996), así como en la delimitación/definición de *terroirs* (Chone *et al.*, 2001; Dutt *et al.*, 1981; Gómez Miguel *et al.*, 2003; van Leeuwen *et al.*, 2001). Bazzoffi *et al.* (2009) han estudiado los efectos de los aterrazamientos modernos sobre la calidad de la uva.

Por su estrecha relación con la zona visitada son importantes los trabajos de Ubalde (2004) y Ubalde *et al.* (2011).

2.1.2. Clima

Según la clasificación agroecológica de Papadakis (Elías, 1973), el clima de la DOQ es mediterráneo templado, con tendencia a continental. Recibe las influencias del mar Mediterráneo y del valle del Ebro, aunque la presencia de las montañas que lo rodean –sierra

de Montsant, montañas de Prades, sierras de Pradell y Argentera, y sierra de Llaberia- frena los efectos de la acción marítima. Los veranos son calurosos y los inviernos fríos.

Los observatorios climatológicos de Cornudella de Montsant, Falset, Cabacés y Albarca (Agencia Estatal de Meteorología) indican que la precipitación media anual en la comarca es de aproximadamente 524 mm presentando un gradiente E-W (figura 2). La precipitación mínima anual registrada es de 257 mm (Cabacés, 2006) y la máxima de 986 mm (Falset, 1972). La pluviometría de la zona presenta su máximo estacional en otoño, aunque puede haber valores máximos en mayo o diciembre y presenta un gradiente N-S (figura 2).

La temperatura media anual va de los 15,4 °C en Falset a los 12,4 °C en Albarca, con las siguientes medias:

TABLA 1. Temperaturas medias de los observatorios climatológicos

Estación	Temperatura media	
	Verano	Invierno
Cornudella	21,9	9,3
Albarca	20,6	6,9
Cabacés	23,3	8,1
Falset	23,7	8,8

El periodo de riesgo de heladas es aproximadamente de 2 meses en Cornudella, entre 3 y 5 en Cabacés y 4 meses en Falset. Según la Soil Taxonomy (SSS, 1999), los regímenes de temperatura del suelo en la comarca se encuentran entre térmico y méxico.

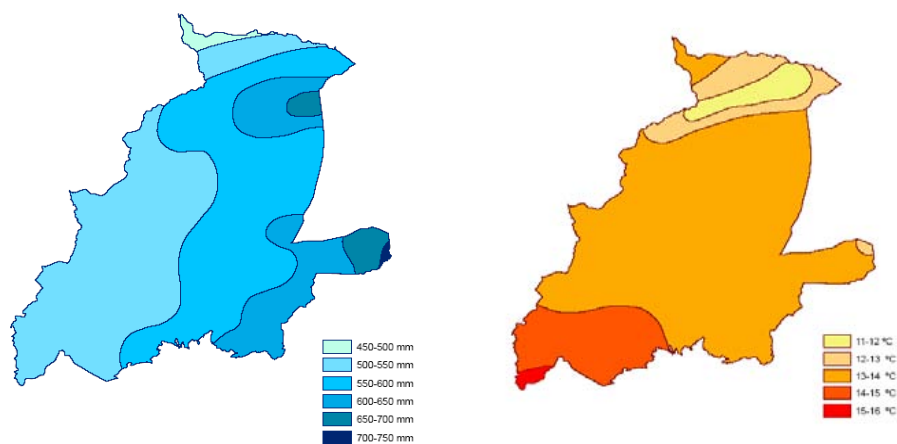


FIGURA 2. Gradientes de precipitación y temperatura media anual dentro del área de la DOQ Priorat. Fuente: Atlas climàtic de Catalunya.

Los vientos son secos y procedentes del cuadrante oeste.

La evapotranspiración potencial (ETP) media anual de la estación de Falset (método de Thornthwaite) es de 821 mm, con un máximo de 854 mm en el año 1983 y un mínimo de 790 mm en el 1989. Si se analizan los datos de evapotranspiración de referencia (ETo) recogidas por la Red Agrometeorológica de Cataluña y se les aplica un coeficiente para obtener la ETP (Kc), las ETP medias anuales para los años 2007 y 2008 fueron de 829 y 798 mm, respectivamente. Siguiendo los criterios de clasificación de la Soil Taxonomy (SSS, 1999), el régimen de humedad del suelo es xérico.

2.1.3. La vegetación y usos del territorio en el Priorat

El área se encuentra en la zona de transición entre los dominios del encinar litoral (*Quercetum ilicis galloprovinciale*) y el carrascal (*Quercetum rotundifoliae*). El primero aparece en las zonas de influencia más marítima y húmeda, mientras que el segundo lo hace en las de influencia continental y seca. En el extremo septentrional ya aparecen robledales de quejigo, generalmente mezclados con pino salgareño, en las umbrías.

Sin embargo, los bosques de encinas y carrascas se encuentran muy fragmentados y dispersos, y lo que abunda son las formaciones arbóreas con pinares de pino carrasco. Las formaciones arbustivas son aún más frecuentes y predominan los matorrales termófilos con cantueso (*Lavandula stoechas*) sobre pizarras, y brezos (*Erica multiflora*) sobre materiales carbonatados.

Como vegetación arvense encontramos las comunidades anuales de rabaniza blanca (*Diplotaxietum eruroidis*), bien en su variante típica o con lechetrezna de campo. En casos de máxima nitrificación aparecen las comunidades ruderales con cenizos, amarantos, ortigas y cardos.

Sólo alrededor del 25 % de la comarca geográfica está ocupada por cultivos (DAAM, 2009) y, como consta en el punto 1 de este capítulo, agrícolamente hablando, la producción está orientada principalmente al cultivo de la viña, obteniéndose unos caldos de alta calidad. Otros cultivos son los olivos para obtención de aceite y, marginalmente, se pueden encontrar plantaciones de almendros y avellanos. La economía agraria se complementa con la producción intensiva de aves y cerdos y, en mucha menor proporción, la extensiva de ovejas y cabras.

2.1.4. Geología del Priorat

2.1.4.1. Marco geológico regional

La comarca del Priorat se emplaza desde el punto de vista geológico en la unidad del Sistema Mediterráneo, concretamente en la sierra Prelitoral, que en este sector limita al norte y al oeste con la depresión geológica del Ebro, con la fosa de Móra d'Ebre al sur y la depresión de Valls-Reus al este. La sierra Prelitoral, en la zona del Priorat, destaca por presentar un relieve suave y ondulado, de poca altitud y forzosamente escalonado para el cultivo de la viña.

La principal litología aflorante en la comarca del Priorat corresponde al zócalo paleozoico herciniano, formado por materiales areniscopelíticos ligeramente metamorizados, es decir por pizarras (localmente llamadas *licorelles* o *llicorelles*), areniscas, lilitas y conglomerados con cantos de cuarzo. Entre los materiales paleozoicos, en los entornos de Marçà y Falset, aparecen cuerpos plutónicos de naturaleza granodiorítica y también, puntualmente, pórfidos ácidos (sector de El Molar). Sobre los materiales paleozoicos se desarrolla la actividad agrícola relacionada con el cultivo de la viña tan característico de la zona.

En los márgenes occidental (sector de la Figuera) y meridional de la comarca (de Capçanes a la Torre de Fontaubella y hasta el Pradell de la Teixeta) se aprecia la sucesión de rocas de edad mesozoica (era Secundaria) formada por la característica serie triásica que alterna niveles rojos de areniscas y lutitas con niveles blancos de calizas. Al sur y al oeste de la comarca la serie mesozoica continúa con la presencia de dolomías de edad jurásica.

Al norte de la comarca, en la sierra de Montsant, aparecen las rocas cenozoicas (era Terciaria) representadas por las calizas eocenas y los materiales oligocenos que alternan niveles de areniscas y lutitas con intercalaciones de conglomerados.

Estructuralmente la sierra Prelitoral, en esta zona, se divide en dos grandes bandas de deformación: la sierra de Miramar, sectorizada en la unidad Prades-Priorat, el bloque de Gaià y el macizo de Bonastre, y las sierras de Cavalls-Pàndols-Montsant. En este contexto, la zona se ubica en la unidad de Prades-Priorat.

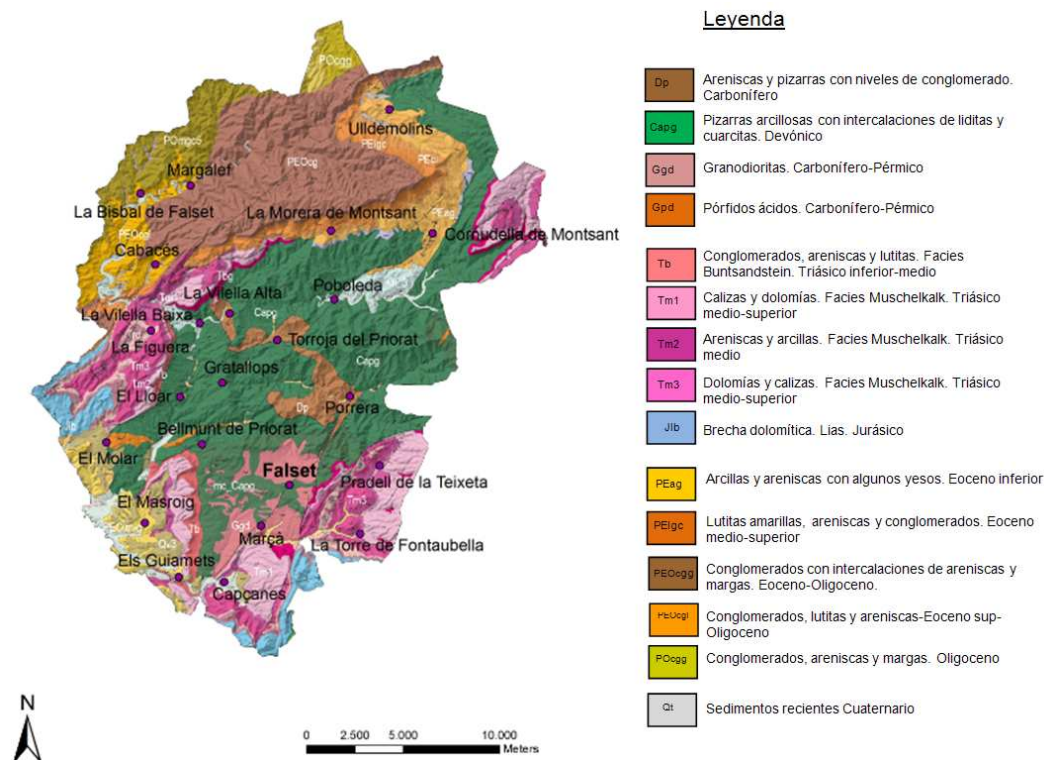


FIGURA 3. Mapa geológico de la comarca del Priorat. Fuente: Institut Cartogràfic de Catalunya e Institut Geològic de Catalunya.

2.1.4.2. Historia geológica

La historia geológica del Priorat se corresponde con la sucesión cronológica de sedimentación y deformación de la cadena montañosa Costera Catalana. Durante la era Primaria o Paleozoica (de 600 a 250 millones de años de antigüedad), Cataluña como casi todas las tierras del sur de Europa, formaba parte de una gran cuenca oceánica en la que se depositaban los materiales que los ríos transportaban desde los relieves emergidos. En esta era geológica, durante los periodos del Devónico y el Carbonífero (de 400 a 300 millones de años), la cuenca sedimentaria marina fue variando sus características en función de los cambios relativos del nivel de mar (oscilaciones eustáticas); en momentos de transgresión marina tuvo lugar la deposición de materiales a través de corrientes de turbidez, mientras que en momentos de regresión se depositaron, en menor cantidad, sedimentos de tipo silíceo y se formaron las rocas calizas por precipitación del carbonato de calcio.

A finales de la era Primaria, entre el Carbonífero y el Pérmico (entre 315 y 280 millones de años), se produjo la orogenia herciniana responsable de la metamorfización y tectonización de los materiales existentes que se transformaron en rocas metamórficas: esquistos, liditas o pizarras. En el gran océano paleozoico sobresalían algunos macizos antiguos (precambrianos) como si fuesen islas, entre ellos el macizo del Ebro que se extendía por buena parte de la actual Depresión Central Catalana. La orogenia herciniana creó una nueva sierra, el macizo Catalano-Balear que se unió con el antiguo macizo del Ebro formando un gran golfo abierto al

suroeste. Esta nueva distribución permitió que, por la proximidad con el relieve, en la cuenca se depositaran importantes niveles de conglomerados y areniscas.

Durante las últimas fases de la tectónica herciniana (Pérmico), se desarrolló una etapa distensiva que generó una actividad ígnea con la inyección de plutones (rocas graníticas: pórfidos graníticos y granodioritas) y la transformación de los materiales sedimentarios por metamorfismo de contacto (rocas corneanas y pizarras moteadas).

La formación de importantes fracturas, durante el Carbonífero y Pérmico, dio paso a la individualización del macizo en bloques elevados y deprimidos que configuraron diversas cuencas sedimentarias que estarían en funcionamiento, en la zona del Priorat, durante la siguiente era Mesozoica.

Durante la era Mesozoica o Secundaria (de 250 a 65 millones de años), en el período Triásico se formaron grandes acumulaciones de sedimentos de tipo siliciclástico, evaporítico y calizo: lutitas y conglomerados del Buntsandstein y Muschelkalk medio, calizas del Muschelkalk inferior y superior, y yesos del Keuper. Los materiales del Jurásico y Cretácico se depositaron en sectores más alejados de la cuenca y están presentes en el Priorat de forma reducida.

En la era Cenozoica o Terciaria (de 65 a 1,7 millones de años) se formaron los materiales del Eoceno y Oligoceno, areniscas y conglomerados de Montsant, situados encima de los materiales del Triásico y del Carbonífero. A consecuencia del movimiento relativo de colisión de las placas eurasiática y africana, se inicia el plegamiento alpino responsable de la formación de los Pirineos, los Alpes y el Himalaya. En la orogenia alpina, el mar que ocupaba la antigua cuenca marina se retira hacia el sudoeste, cubriendo lo que quedaba del macizo del Ebro. El nuevo Pirineo y el macizo Catalano-Balear se unen y se forma un gran golfo en el que se depositan los materiales de la futura depresión geológica del Ebro.

La etapa Alpina se inicia con una fase de plegamiento que afecta ligeramente a los materiales paleozoicos y triásicos del Priorat que sólo sufren leves deformaciones tectónicas. Los materiales eocenos y oligocenos se depositaron sintectónicamente, es decir, a medida que se formaban, se plegaban y emergían, dando lugar a una discordancia progresiva sobre los materiales del Triásico y del Carbonífero. Por este motivo los conglomerados de Montsant son de régimen fluvial con influencia marina. En la fase inicial de compresión alpina se formaron las fallas inversas y los pliegues. Posteriormente se desarrolló una fase distensiva (Mioceno) con una fracturación normal paralela a los ejes de los pliegues, que condicionó la formación de fosas, como la de Móra o la del Camp de Tarragona-Valls, que limitan al oeste y al este con el Priorat.

Finalmente, durante el Cuaternario, la alternancia de los períodos glaciales e interglaciares repercute sobre la capacidad erosiva de las aguas corrientes generando la formación de terrazas fluviales y depósitos de tipo glacis que han terminado de modelar el relieve hasta el día de hoy. Actualmente continúa la fase erosiva iniciada durante el Plioceno.

2.1.4.3. Litología

En la comarca del Priorat las rocas metamórficas configuran el zócalo paleozoico herciniano, formado por materiales arenoso-pelíticos ligeramente metamorfizados. Estos materiales son interrumpidos por cuerpos plutónicos de naturaleza granodiorítica. Alrededor de los materiales paleozoicos aparecen las litologías de edad secundaria desarrolladas a través de las facies triásicas del Buntsandstein y del Muschelkalk, alternando niveles rojos de areniscas y lutitas con niveles blancos de rocas calizas. Topográficamente y estratigráficamente por encima de los niveles triásicos, en la zona de Montsant, la serie sedimentaria continúa con la presencia de materiales de edad terciaria representados por calizas eocenas, coronadas por niveles de conglomerados oligocenos.

Desde el punto de vista litoestratigráfico, en el Priorat, se pueden distinguir las unidades siguientes:

a) Conglomerados oligocénicos de la sierra de Montsant

Sector norte. Los conglomerados ofrecen una morfología ondulada en la parte superior que alterna con materiales más finos, margas y lutitas. Los cantos que conforman los conglomerados son principalmente calizos y dolomíticos. También aparecen bloques de cuarzos, de pizarras y de rocas magmáticas, todos ellos sostenidos por una matriz arenosa y un cemento calizo. Su potencia, que puede llegar a los 400 m, se encuentra ordenada en una secuencia grano y estratocreciente a gran escala: en la parte inferior están las intercalaciones lutíticas, mientras que los conglomerados dominan en la parte superior. Este conjunto se conoce como el Grupo Scala Dei.



FIGURA 4: Sierra de Montsant. Escarpes formados por conglomerados de edad oligocena.

Por debajo de los niveles de conglomerados oligocenos aparecen diversos depósitos de edad eocena que alternan niveles competentes con niveles más blandos. La sucesión de estos materiales sería, de jóvenes a más antiguos:

- Lutitas amarillas, areniscas y conglomerados (Eoceno medio-superior).
- Calizas micríticas con niveles de margas y lignitos (Eoceno medio-inferior)
- Calizas micríticas y yesos (Eoceno medio-inferior).
- Arcillas y areniscas (Paleoceno-Eoceno inferior).

b) Serie triásica

Principalmente desarrollada en el sector oeste y sur. Se dispone encima del zócalo de areniscas y pizarras con niveles de conglomerados del Carbonífero, y por debajo de los materiales carbonatados del Eoceno. La sucesión de materiales es la siguiente:

- Facies del Buntsandstein: alternancia de areniscas silíceas y arcillas.
- Facies del Muschelkalk inferior: calizas micríticas y dolomías.
- Facies del Muschelkalk medio: areniscas y arcillas.
- Facies del Muschelkalk superior: dolomías y calizas finamente tableadas.
- Facies del Keuper: arcillas y yesos.



FIGURA 5. Sucesión de materiales de la serie triásica: el Lloar. Calizas del Muschelkalk (Triásico medio, era Mesozoica). Areniscas y lutitas rojas del Buntsandstein (Triásico inferior, era Mesozoica).

c) Granodiorita de Falset y pórfidos graníticos

La granodiorita de Falset se sitúa al sur de la comarca. Se trata de una roca ígnea, plutónica y silicatada, formada esencialmente por cuarzo, feldespato potásico (ortosa) y mica. De edad paleozoica, seguramente el cuerpo plutónico se emplazó durante el Pérmico, si bien no existen dataciones absolutas (Melgarejo, 1987). Los pórfidos graníticos corresponden a rocas filonianas o subvolcánicas. Aparecen de manera discontinua y reducida encajados entre las pizarras carboníferas, y se localizan preferentemente entre el Molar y Bellmunt del Priorat. En general estas rocas plutónicas están meteorizadas y forman niveles de sablón en la parte superior.

d) Areniscas y pizarras del Carbonífero y del Devónico

Materiales más extensos que dominan en el sector sur y la parte central de la comarca. En contacto por fracturas las areniscas y pizarras carboníferas se alternan con las pizarras arcillosas con intercalaciones de cuarcita y lidita del Devónico. Dentro de la serie carbonífera se definen 4 unidades estratigráficas que pueden alcanzar los 2.500 m de potencia (Sáez, 1982):

- Unidad Vilelles: liditas que alternan con niveles de pizarra y cuarcita del Devónico y del Carbonífero. Su potencia máxima visible es de 250 m. Aflora entre la Vilella Alta y Porrera.
- Unidad de Bassetes: niveles métricos de areniscas con intercalaciones de liditas plegadas entre las que se pueden encontrar niveles de rocas volcánicas y, de forma aislada, carbonatos. La potencia media de esta unidad es de 400 m. Se pueden observar afloramientos de las areniscas de Bassetes entre los km 13 y 14 de la carretera de la Vilella Alta a Escaladei.
- Unidad pelítico-areniscosa de Escaladei. Tiene una potencia de 380 m. Esta unidad se puede observar en la carretera entre Escaladei y Poboleda (km 10 y 11). Se divide en tres tramos:
 - Parte inferior: tramo pelítico (pizarras con intercalaciones centimétricas de areniscas limosas con ripples, así como escasos niveles de carbonatos lenticulares).
 - Parte intermedia: nivel de areniscas (masivas granodecrecientes, con base erosiva y ripples en el techo).
 - Parte superior: tramo pelítico-turbidítico (alternancia de tramos pelíticos con intercalaciones de niveles delgados de carbonatos).
- Unidad turbidítica de Poboleda: constituida por 3 megasecuencias, tiene una potencia de 1.500 m, formada principalmente por turbiditas entre las que se intercalan dos tramos de areniscas y conglomerados de unos 150 m de potencia cada uno. Las características de estas capas turbidíticas se pueden reconocer en numerosos afloramientos de la carretera entre la Venta del Pubill y Escaladei.

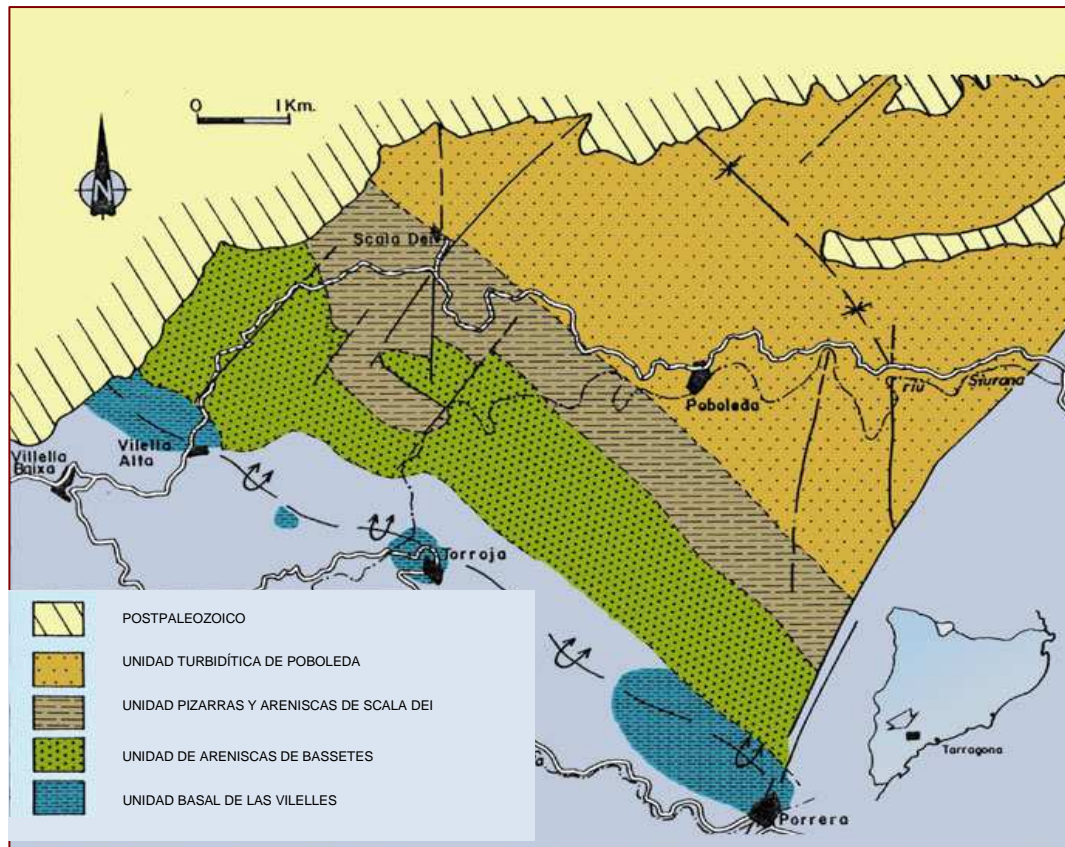


FIGURA 6. Mapa geológico esquemático de la parte central del Priorat con las unidades litoestratigráficas del paleozoico. (Sáez y Nadón, 1989).



FIGURA 7. Niveles de pizarras. Poboleda.



FIGURA 8. Conglomerados de las facies *Culm*. Porrera



FIGURA 9. Lidita. Roca cuarcítica negra con filones de cuarzo. Porrera.

Estratigráficamente los terrenos de edad carbonífera del Priorat se diferencian en dos grandes niveles:

- Nivel basal: formado por las rocas cuarcíticas negras (lilitas), que no superan los tres metros de potencia. Corresponde a las unidades estratigráficas Vilelles y Bassetes.
- Nivel superior: formado por la alternancia rítmica de pizarras, areniscas y conglomerados. Corresponde a las unidades estratigráficas Escala Dei y Poboleda. Este conjunto corresponde al que ha sido definido como facies Culm, serie terrígena originada a partir de corrientes de turbidez, que en el Priorat supera los 2.000 m de potencia. Se trata de sedimentos depositados en una cuenca marina a cierta profundidad por el descenso de corrientes de turbidez. Según la energía de la corriente y el punto de deposición se formaron diferentes tipos de depósitos: por un lado sedimentos finos que posteriormente darían lugar a pizarras y, otro otro, sedimentos de grano más grueso que darían lugar a conglomerados.

El proceso de formación de las facies Culm explica que hoy en la zona haya una alternancia de materiales terrígenos de tamaño de grano diverso: pizarras, areniscas y conglomerados. Estos materiales presentan un bajo grado de metamorfización, hecho evidente puesto que aún se pueden reconocer las estructuras sedimentarias.

e) Materiales cuaternarios

Corresponden principalmente a cantos, gravas, arena y arcilla que forman depósitos asociados a los cursos fluviales (terrazas actuales y antiguas) y a los depósitos de pie de monte. Afloran dispersos por toda la zona, principalmente a lo largo del río Siurana y sus tributarios, el Montsant y el Cortiella.

2.1.4.4. Geomorfología

La comarca del Priorat se caracteriza por tener un relieve accidentado sin ninguna llanura destacada, a excepción de una zona situada al sur de la comarca. Limitada por las sierras elevadas que circundan la parte central, destacan las montañas de Prades al noreste, las sierras de Alforja, Argentera y Llaberia al sur, al norte el Priorat se cierra con las sierras del Montsant y de la Llena

En el área deprimida central aparece el zócalo herciniano, formado por los materiales más antiguos, pizarras, areniscas y conglomerados que definen un relieve suave, de poca altitud, con vertientes inclinadas, fuertemente erosionado, de lomas onduladas interrumpidas por algunas crestas que forman los depósitos de lilitas de mayor volumen o por los cuerpos graníticos. Las cotas de estos relieves se mantienen entre los 300 y 600 m de altitud s.n.m.

Los relieves eocenos y oligocenos de la sierra de Montsant, con casi 20 km de largo que se extienden de NE a SW, constituyen el límite entre la depresión geológica del Ebro y el sistema Mediterráneo. Las cotas máximas se encuentran en la Roca Corbatera (1.166 m) y la Roca Falconera (1.138 m), por encima de la Morera de Montsant. Desde aquí el relieve baja abrupto hacia el sur, hasta el fondo del valle del torrente de Escala Dei y de los barrancos tributarios del río Siurana, situados a cotas de 400-500 m. La alternancia de materiales más resistentes a la erosión, como las calizas o conglomerados, frente a los menos resistentes, como los arcillosos y lutíticos, proporciona un relieve de tipo en cuesta. En las cimas conglomeráticas se desarrollan formas de erosión redondeadas de tipo montserratino, pináculos, etc., así como fenómenos de carstificación que dan lugar a pequeñas cuevas y balmas. El río Montsant, afluente del Siurana y los afluentes de orden menor se emplazan en el macizo formando congostos profundos y espectaculares, como el congosto de Fraguerau.

Los relieves de altura media del sector occidental de la comarca, entre el Lloar y la Morera del Montsant, están formados por calizas y areniscas del Triásico, presentan una morfología tabular de tipo estructural, condicionada por la mayor competencia de las capas calizas y por la presencia de pliegues de orden mayor asociados a fallas.

2.1.4.5. Hidrología superficial

La hidrología superficial de la comarca del Priorat se distribuye en la cuenca hidrográfica del río Siurana y su principal tributario el Montsant. El Siurana es un pequeño curso de agua, afluente del Ebro por la izquierda. Nace en las vertientes meridionales de las montañas de Prades, dentro del término de la Febró (comarca del Baix Camp), se adentra en la comarca del Priorat donde se encaja bajo el acantilado de Siurana, que le da nombre, recorre el Priorat de NE a SW y se alimenta de numerosos torrentes: Cortiella, Capçanes, Argentera y Arbolí. Cruza los municipios de la Morera de Montsant, Poboleda, Torroja del Priorat y Gratallops. Actúa de deslinde entre el Molar y el Masroig y entra en el término municipal de Garcia (Ribera d'Ebre), donde recibe por la izquierda la riera de los Guiamets, procedente de las montañas de l'Argentera y de Llaberia. Desemboca en el Baix Priorat, tras recorrer unos 50 km. El curso de agua es permanente, aunque con fuertes variaciones en relación con el régimen de precipitaciones.

El río Montsant recoge las aguas del sector norte del Priorat, entre la sierra de Montsant y la sierra de la Llena. Tiene algunos afluentes, el Teix, Escaladei y el Pèlags, más significativos por el relieve que han modelado que por el agua que aportan.

Para aprovechar las aguas del Siurana entre los años 1965 y 1974 se construyó el embalse de Riudecanyes, de manera que el agua de la cabecera del río Siurana se utiliza principalmente para el regadío y para abastecer a las poblaciones de la comarca del Baix Camp. El embalse dels Guiamets, en la riera de Capçanes sirve para embalsar y regular el agua para el regadío.

2.1.5. Suelo típico del Priorat

Los suelos típicos del Priorat son aquellos desarrollados en laderas a partir de pizarras o materiales con distinto grado de metamorfismo (esquistos).

En general, son suelos poco profundos, de drenaje rápido y de textura moderadamente gruesa, con elementos gruesos muy abundantes. Tienen un contenido de materia orgánica bajo o muy bajo, un contenido de carbonato cálcico inapreciable y la reacción varía de neutra a medianamente básica. En superficie son muy pedregosos y de color oscuro, lo que les da un aspecto brillante y les confiere gran facilidad para calentarse con la incidencia de la radiación solar.

Los horizontes superficiales (Ap) tienen un espesor entre 25 y 50 cm, son de textura franco-arenosa y presentan un contenido en elementos gruesos muy alto. La textura moderadamente gruesa y los elementos gruesos dificultan la formación de una buena estructura edáfica, por lo que a menudo es muy débil o simplemente no existe, siendo un material no coherente y suelto. También se sospecha un drenaje interno rápido, debido principalmente a los macroporos existentes entre los elementos gruesos y la tierra fina.

En la mayoría de los casos, bajo los horizontes superficiales se encuentra un contacto lítico (R), que se corresponde a las pizarras o *llicorelles*. Las pizarras están bastante fracturadas, permitiendo el paso de algunas raíces.

Dentro de las pizarras suelen haber bolsas de material rubefactado, que ha desarrollado una estructura edáfica fuerte. Su distribución suele ser en bandas ligeramente inclinadas, lo que explicaría su localización dentro de los perfiles por debajo de los horizontes R. Este

material puede ser de textura franco-arenosa a franco-arcillosa, pasando por franco-arcillo-arenosa. Los contenidos en elementos gruesos varían de pocos a abundantes, de naturaleza pizarrosa. El contenido de carbonato cálcico es inapreciable y el pH moderadamente básico. Estos materiales han sufrido un proceso de rubefacción, más o menos intenso, presentando revestimientos de arcilla generalizados en los poros y abundantes manchas de oxidoreducción. Estos casos se han descrito como R/Bt.

Los edaforrasgos mejor representados en estos materiales son diferentes formas de acumulación de arcilla: revestimientos y rellenos de poros, revestimientos de componentes gruesos y rellenos de grietas de los componentes gruesos. En todos estos tipos de acumulaciones, la arcilla es limpia, es decir, no presenta partículas de otros tamaños (limos). Las acumulaciones presentan una contextura interna microlaminada, a veces difícil de ver. Los revestimientos tienen un tamaño de 0,075 mm y los rellenos de 0,2 mm. El origen de la arcilla es probablemente iluvial, ya que se cumplen las características de un horizonte argílico ideal (McKeague, 1983): revestimientos continuos a ambos lados de los poros, fuertemente orientados, con microlaminación, sin granos de arena y claramente diferenciados de la matriz que no contiene ningún fragmento de arcilla orientada. Probablemente, gran parte de la arcilla se ha neoformado a partir de las pizarras y se mueve a poca distancia.

Otro edaforrasgo presente son las manchas de oxidoreducción de Fe y Mn. Se caracterizan por ser de colores oscuros, de un diámetro entre 0,1 y 0,4 mm, de formas irregulares, asociadas a poros y elementos gruesos. Muchos de los nódulos de Mn y Fe son impregnativos, presentando un contorno difuso. Que la mineralogía de los granos englobados en los nódulos sea igual a la de los granos de la matriz circundante (figura 10) indica una formación in situ. En estos suelos las manchas de oxidación-reducción no significan que haya

un encharcamiento, ya que el drenaje externo está asegurado debido a la fuerte pendiente y a las grietas de la roca. Estos nódulos se forman sólo en presencia de la arcilla, que sería la causante de la existencia de niveles freáticos colgados, pero de poco volumen de influencia.

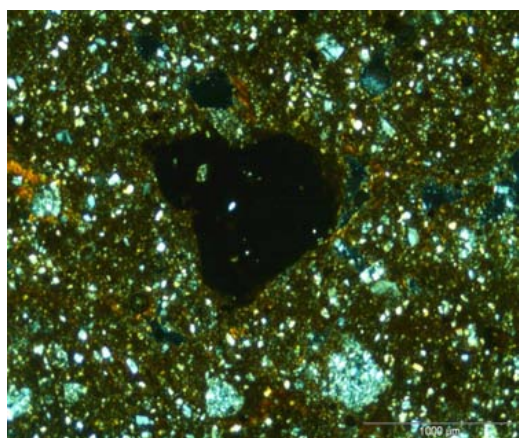


FIGURA 10. Nódulos de Fe y Mn impregnativos (XPL, 1,5 mm de anchura).

Estos suelos poco profundos y con alto contenido de elementos gruesos presentan una fuerte limitación para el desarrollo de las raíces y también poca capacidad de retención de agua, lo que supone una limitación de la fertilidad potencial de la vid. Además, estos suelos presentan un régimen de humedad xérico, caracterizado por un verano con poca precipitación y temperaturas muy altas. El

resultado es un medio fuertemente estresante. Sin embargo, cabe destacar que algunas raíces pueden usar para su desarrollo las grietas del material original. Por otro lado, las intercalaciones de material arcilloso en las pizarras presentan una capacidad de retención de agua disponible de 1,69 mm/cm suelo. Suponiendo que la profundidad a la que las raíces llegan es de 100 cm, y sabiendo que las arcillas intercaladas dentro del horizonte R suponen aproximadamente un 15 % del volumen ocupado por la pizarra, se puede estimar que en el subsuelo se almacenan unos 150 m³/ha. La capacidad de retención de agua disponible en los horizontes superficiales es baja (42,4 mm hasta 45 cm de profundidad), por lo que el agua almacenada por las arcillas de las grietas es considerable (23,3 mm entre 45 y 138 cm de profundidad).

De ese modo, los procesos de formación de arcillas pueden ser de gran importancia a nivel regional, ya que pueden paliar los efectos de la sequía y mejorar la calidad de la producción de

uva. En definitiva, la presencia de inclusiones de materiales arcillosos dentro de las pizarras podría explicar la fertilidad de los suelos típicos del Priorat (localmente conocidos como *licorella*). Se puede constatar fácilmente con los agricultores de la zona la creencia popular de que debajo de la pizarra hay una “arcilla” almacenadora de agua y nutrientes que la viña puede aprovechar.

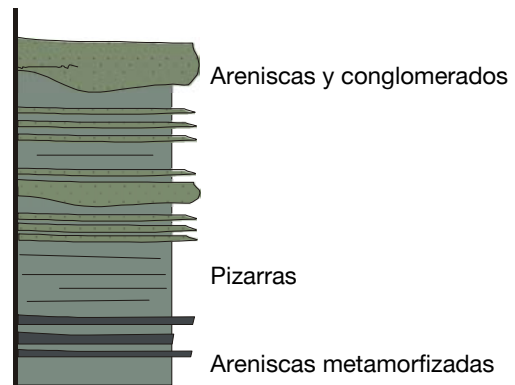
Estos suelos se clasifican como Xerorthent lítico, a pesar de presentar exfoliación de la roca con intercalaciones de acumulaciones de arcilla iluviada. Existe un subgrupo en los alfisoles, llamado Lithic ruptic-inceptic Haploxeralf, que se define por la presencia de un contacto lítico y un horizonte argílico horizontal discontinuo. No obstante, en los suelos estudiados, el espesor de material que contiene arcilla iluviada es inferior a los 7,5 cm, por lo que no se cumple el criterio de horizonte argílico.

Si bien desde un punto de vista taxonómico, a niveles altos de clasificación, los suelos tipo de la DOQ son de una extraordinaria homogeneidad, las variaciones edáficas (grado de alteración de la pizarra, disposición de los planos de esquistosidad, etc.) y paisajísticas (largas laderas y diversas exposiciones) son significativas desde un punto de vista del cultivo de la vid, dando lugar a una riqueza de *terroirs* necesaria para producir la diversidad de vinos de calidad que el mercado actual demanda.

La taxonomía WRB ha introducido un interesante matiz con el término “escálico” (que ocurre en terrazas hechas por el hombre). Es cuestionable que un carácter que no pasa de fase sea introducido en un nivel taxonómico tan alto. Asimismo, como sugiere Dazzi *et al.* (2009), habría que explorar a fondo el uso de determinados horizontes diagnóstico.

2.1.5.1. Perfil 82C-03

Geología	
Contexto geológico	Afloramientos de pizarras que alternan con areniscas metamorizadas de grano grueso y medio (esquistos) de color marrón verdoso. Estos materiales se presentan formando una estratificación plano paralela de orden decimétrico (20 a 50 cm).
Tipo de depósito	Niveles turbidíticos de plataforma somera
Litología del entorno	Areniscas y lutitas afectadas por metamorfismo de bajo grado
Litología del perfil	Areniscas metamorizadas y pizarras
Estructura	Capas plegadas y afectadas por diaclasas (dos familias)
Orientación	Diaclasa y plegamiento. 050/48 y 080/40. En general orientadas hacia el NE y E.
Mineralizaciones	Presencia de pátinas de pirolusita, de minerales de óxidos de hierro, biotita y filones de cuarzos asociados a fracturas.
Alteraciones	Rocas ligeramente alteradas
Unidad de mapa	CApg. Areniscas y pizarras con niveles de conglomerados.
Edad	Carbonífero



Información General

FECHA DESCRIPCIÓN: 21/2/2009
 DESCRIPTORES: G. Carrillo y M. Garrido
 MUNICIPIO: Porrera

Cartografía

HOJA 1:25.000: 445 III (Alforja)
 SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
 COORDENADA X: 321029
 COORDENADA Y: 4561677
 Z (m): 364

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Decamétrica
 FORMA DEL RELIEVE: Ladera
 TIPO DE PENDIENTE: Simple
 MORFOLOGÍA LOCAL: Rectilínea en perfil y convexa en planta
 SITUACIÓN DEL PERFIL: En el tercio inferior de la forma
 PENDIENTE GENERAL (%): 50
 PENDIENTE LOCAL (%): 50
 ORIENTACIÓN: SE
 LONGITUD (m): 60

Material original

Pizarras fracturadas

Material subyacente

Pizarras fracturadas

Usos del suelo

VEGETACIÓN: Natural eliminada
 USOS DEL SUELO: Agrícola, viña

Afloramientos

ABUNDANCIA (%): 2-5%
 NATURALEZA: Pizarra

Gravas superficiales

ABUNDANCIA (%): >70%
 NATURALEZA: Pizarra

Agua del suelo

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Xérico
 CLASE DE DRENAJE: Bien drenado
 NIVEL FREÁTICO (cm): Inaccesible

Clasificación SSS (1999, 2010)

Xerorthent lítico, esquelética franca, mezclada, superactiva, térmica

Clasificación WRB (2006)

Regosol epiléptico (éutrico, esquelético)



Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

0-19/23 cm

Ap

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): 2,5Y 4/3. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. TEXTURA: Franco-arenosa ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): >70% de pizarra. ESTRUCTURA: Débil, en bloques subangulares, gruesa. CONSISTENCIA: Suelto y no coherente. ACUMULACIONES SECUNDARIAS: No hay. SISTEMA RADICULAR: Normal. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCI 11%): Nula. LÍMITE INFERIOR: Neto y ondulado. EPIPEDIÓN Óchrico.

Itinerarios edáficos por Cataluña: el Priorat, la Cerdanya y el Penedès

19/23-40/43 cm CBt (pizarra muy meteorizada)

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): 10YR 5/4. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): 35 - 70% de pizarra. CONSISTENCIA: Poco compacto. ACUMULACIONES SECUNDARIAS: No hay. CUTANES: Cutanes argilosos. SISTEMA RADICULAR: Limitado por contacto lítico. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): Nula. LÍMITE INFERIOR: Abrupto y plano.

40/43- >70 cm Rt (pizarra)

Planos de esquistosidad oblicuos, algunos de ellos abiertos. CUTANES: Cutanes arcillosos en las caras de algunos planos.

Datos analíticos

Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5	CE1:5 (dS/m a 25°C)	Materia orgánica (%)	Carbonato cálcico eq. %	Yeso (%)
82C-03/1	Ap	0-19/23	7,0	0,04	1,44	0	-

Granulometría (%)

Arena (diámetro en mm)			Limo (diámetro en mm)			Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA
2,00-0,20	0,20-0,05	Total	0,05-0,02	0,02-0,002	Total		
64	12	76	5	10	15	8	FAr

CIC Cmol(+)/kg	Complejo de cambio Cationes de cambio (cmol(+)/kg)				Humedad Humedad gravimétrica (%) a		Agua dispon. (mm)
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	-33 kPa	-1500 kPa	
10,5	7,76	2,57	lp.	0,07	14	7	6,6

En el estudio de arcillas mediante difracción de rayos X de la muestra 82C-3/1 aparecen bien representadas illita, caolinita, clorita y saponita.

2.1.5.2. Perfil 82C-23

Geología	
Contexto geológico	Afloramientos de areniscas metamorizadas de grano medio y grueso de color marrón-verdoso con alternancia de pizarras y microconglomerados. Estos materiales se presentan formando una estratificación plano paralela de orden decimétrico (20 a 50 cm). Zona con capas muy delgadas de liditas. Posible falla.
Tipo de depósito	Niveles turbidíticos de plataforma somera.
Litología del entorno	Areniscas y lutitas afectadas por metamorfismo de bajo grado.
Litología del perfil	Areniscas fracturadas.
Estructura	Capas plegadas y afectadas por diaclasas (dos familias).
Mineralizaciones	Presencia de minerales de óxidos de hierro asociados a fracturas.
Alteraciones	Rocas ligeramente alteradas.
Unidad de mapa	CApg. Areniscas y pizarras con niveles de conglomerados.
Edad	Carbonífero.

Información general

FECHA DESCRIPCIÓN: 10/2/2009

DESCRIPTORES: G.Carrillo/A.Bargués

MUNICIPIO: Torroja del Priorat

Cartografía

HOJA 1:25.000: 444 IV (Cabacés)

SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM

COORDENADA X: 315585

COORDENADA Y: 4565972

Z (m): 307

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Decamétrica

FORMA DEL RELIEVE: Divisoria

TIPO DE PENDIENTE: No se describe

MORFOLOGIA LOCAL: No se describe

SITUACIÓN EN EL PERFIL: En el tercio inferior de la forma

PENDIENTE GENERAL (%): 20

PENDIENTE LOCAL (%): 20

ORIENTACIÓN: SE

LONGITUD (m): 20

Material original

Pizarras fracturadas

Material subyacente

Areniscas metamorizadas de grano medio y grueso

Usos del suelo

VEGETACIÓN: Matorral alto

USOS DEL SUELO: Forestal

Afloramientos

ABUNDANCIA (%): Sin

Graverosidad superficial

ABUNDANCIA (%): 30-70%

Agua del suelo

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Xérico

CLASE DE DRENAJE: Bien drenado

NIVEL FREÁTICO (CM): Inaccesible

Clasificación SSS (1999, 2010)

Xerorthent típico, franca, mezclada, superactiva, térmica, superficial

Clasificación WRB (2006)

Regosol háplico (éutrico)



Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

0-11/15 cm A

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): 10YR 4/3. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. TEXTURA: Franco arenosa. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): 5-15% de pizarra. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques subangulares, mediana. CONSISTENCIA: Friable y poco compacto. ACUMULACIONES SECUNDARIAS: No hay. SISTEMA RADICULAR: Limitado por contacto paralítico. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): Nula. LÍMITE INFERIOR: Neto y plano. EPIPEDIÓN ÓCRICO.

11/15-95 cm C1 (pizarra muy meteorizada, blanda)

ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): Muy baja. LÍMITE INFERIOR: Neto y plano.

95- >160 cm C2 (pizarra muy meteorizada, blanda)

ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): Muy baja.

Datos analíticos

Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5	CE1:5 (dS/m a 25°C)	Materia orgánica (%)	Carbonato cálcico eq. %	Yeso (%)
82C-23/1	A	0-11/15	7,6	0,09	3,75	0	-

Granulometría (%)

Arena (diámetro en mm)			Limo (diámetro en mm)			Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA
2,00-0,20	0,20-0,05	Total	0,05-0,02	0,02-0,002	Total		
37	17	54	10	19	29	16	FAr

CIC Cmol(+)/kg	Complejo de cambio Cationes de cambio (cmol(+)/kg)				Humedad Humedad gravimétrica (%) a		Agua dispon. (mm)
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	-33 kPa	-1500 kPa	
24,4	21,95	2,06	lp.	0,27	23	12	24,5

Micromorfología

Perfil 82C-23, horizonte A (0-10cm) (arcilla en los elementos gruesos)

Elementos gruesos: arena de fragmentos de pizarras. Micromasa cristalítica por limos de mica. Distribución relacionada g/f porfirica cerrada-quitónica (micromasa envolviendo los elementos gruesos), pero con la arcilla no orientada (figuras 11 y 12).

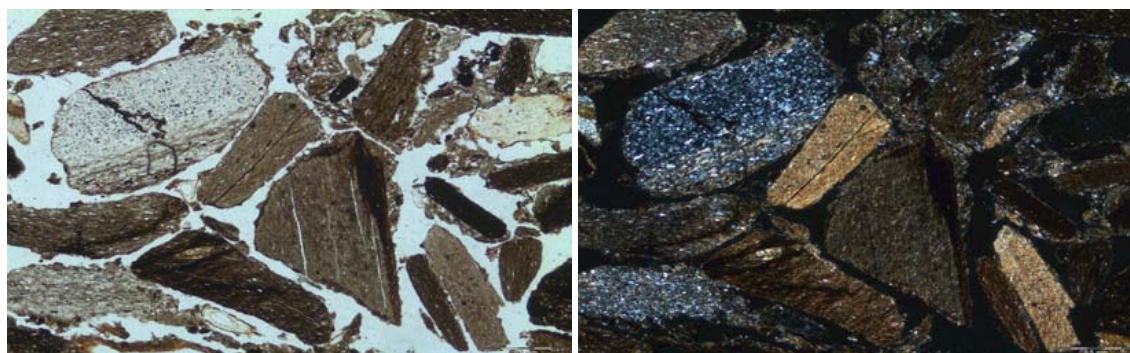


FIGURA 11. Masa basal con distribución relacionada g/f quitónica. Horizonte A del perfil 82C-23.

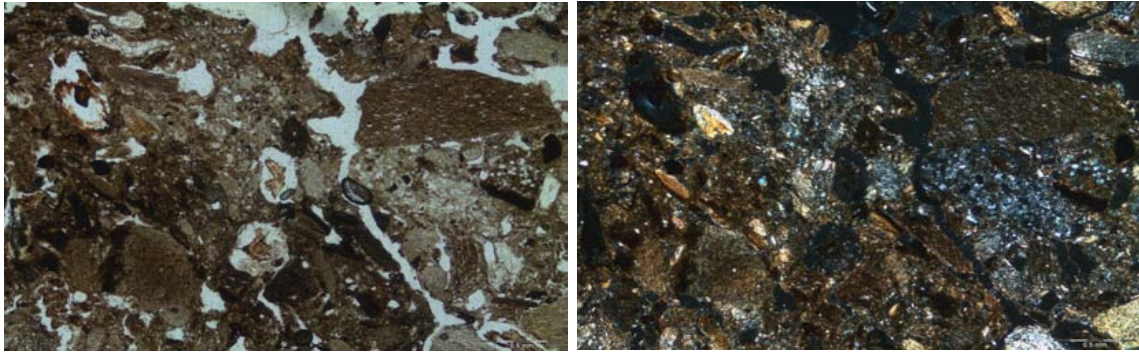


FIGURA 12. Masa basal con micromasa formada de pizarras micáceas muy meteorizadas. Fábrica-B cristalítica. Horizonte A del perfil 82C-23.

Perfil 82C-23, horizonte C1 (60-75cm) (id.)

Fragmento de pizarra con micas muy alteradas y concentraciones de óxidos de hierro como edaforrasgos (figuras 13 y 14).

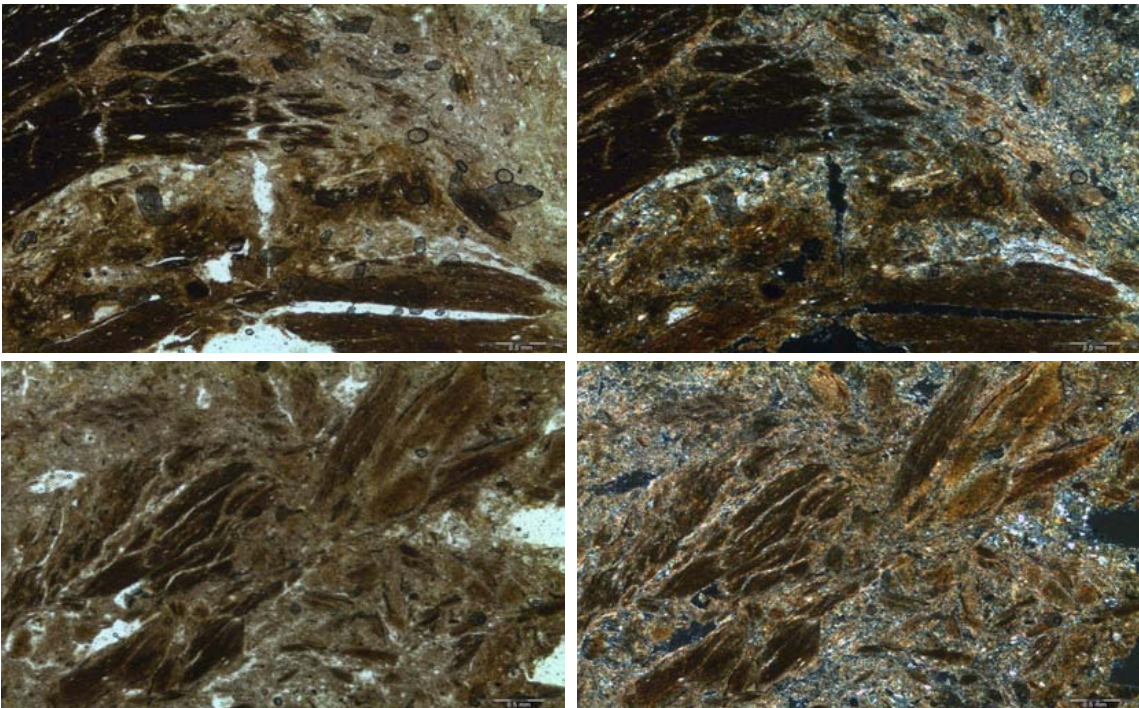


FIGURA 13. Pizarras fragmentadas con micromasa teñida de óxidos de hierro. Fábrica-B estriada por descomposición de las micas que ya estaban orientadas en el material parental. Horizonte C del perfil 82C-23.

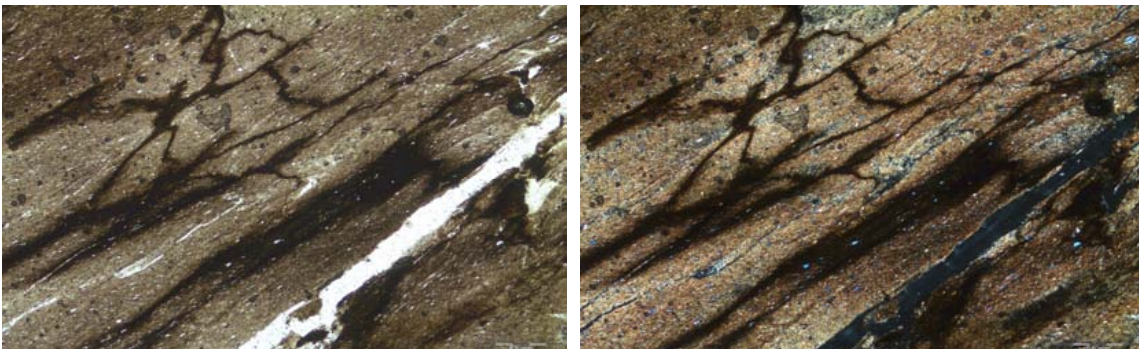


FIGURA 14. Huecos planares de pizarra con hiporevestimientos de óxidos de hierro, probablemente goethita. Horizonte C del perfil 82C-23

2.1.5.3. Perfil POR-23

Información general

FECHA DESCRIPCIÓN: 17-03-03
DESCRITO POR: J. M. Ubalde
LOCALIZACIÓN: Porrera

Cartografía

EDITOR: ICC
SOPORTE: Digital
ESCALA: 1:5000
ZONA: 31T
100 KM.: CF
SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM
COORDENADA X:321357
COORDENADA Y:4563581
ALTITUD (m): 510

Temperatura y agua del suelo

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Xérico
NIVEL FREÁTICO: Inaccesible
CLASE DE DRENAJE: Drenaje rápido
RÉGIMEN DE TEMPERATURA: Térmico

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Hectométrica
FORMA DEL RELIEVE: Ladera (divisoria)
MODIFICACIONES DE LA FORMA: Abancalado
DINÁMICA DE LA FORMA: Erosión, fuerte
LONGITUD DE LA PENDIENTE: 200 m, compleja
MORFOLOGÍA LOCAL: Área rectilínea
SITUACIÓN DEL PERFIL: En la mitad de la forma
PENDIENTE LOCAL: 2-5%

PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL: Extremadamente pedregoso, gravas muy abundantes, pizarras

Material subyacente

Pizarras

Vegetación - usos del territorio

VEGETACIÓN: Natural eliminada

USO: Agrícola, viña

FACTORES LIMITANTES PRINCIPALES:
Pedregosidad superficial

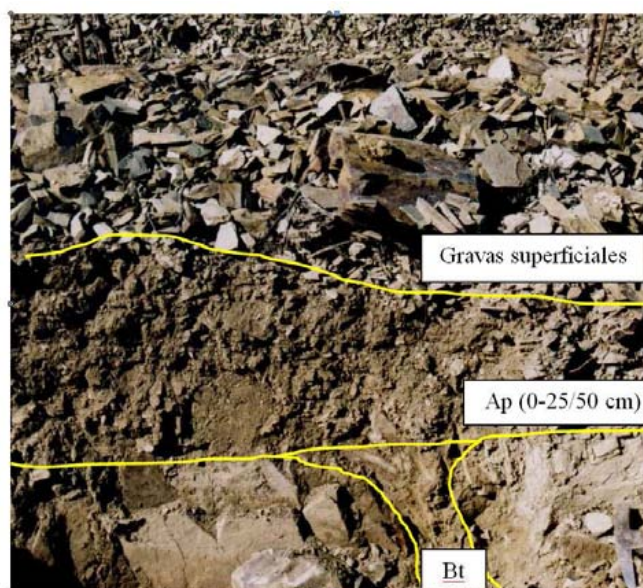
Tecnología

Secano

Clasificación

SSS 1999: Xerorthent lítico, esquelética franca, mezclada, superactiva, mélica

FAO/ISSS/ISRIC 1998: Regosol léptico esquelético éutrico



Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)**-015/-005 - 000 cm** Capa de gravas superficiales**000-025 cm** Ap

ESTADO DE HUMEDAD: húmedo. COLOR de la matriz: 10 YR 4/3 (húmedo). MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. ELEMENTOS GRUESOS: abundantes, heterométricos, de gravilla a bloques, subangular-planos, sin orientación definida, distribución irregular, alterados, pizarras. TEXTURA: franco-arenosa. CONSISTENCIA: no coherente, suelto. ESTRUCTURA: sin estructura por abundancia de elementos gruesos. MATERIA ORGANICA: poca, no directamente observable. SISTEMA RADICULAR: limitado por contacto lítico, raíces frecuentes, de muy finas a medianas, sin orientación, distribución irregular, vivas, de viña. ENSAYOS DE CAMPO: reacción al HCl (11%) de la matriz: baja. LÍMITE INFERIOR: abrupto, plano. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: ócrico.

025->060 cm R/Bt (15%)**Descripción del R (pizarra)**

ESTRUCTURA: material original altamente fracturado. SISTEMA RADICULAR: limitado por contacto lítico, pocas raíces, de muy finas a medianas, sin orientación, distribución en fracturas de roca, vivas, de viña.

Descripción del Bt (bolsas de tierra fina)

ESTADO DE HUMEDAD: húmedo. COLOR de la matriz: 2.5 Y 5/4 (húmedo). MANCHAS: escasas, extremadamente pequeñas, abrupto, redondeadas, de óxido-reducción, asociadas a las caras de elementos de estructura, negras. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. ELEMENTOS GRUESOS: muy frecuentes, heterométricos, gravilla y grava gruesa, subangular-planos, sin orientación definida, distribución irregular, muy alterados, pizarras. TEXTURA: franca-arenosa. CONSISTENCIA: muy compacto, firme. ESTRUCTURA: muy fuerte, prismática, muy gruesa. ACTIVIDAD BIOLÓGICA: de la fauna: galerías, frecuentes. SISTEMA RADICULAR: limitado por horizonte muy compacto, pocas raíces, de muy finas a medianas, sin orientación, distribución irregular, muertas, de viña. ENSAYOS DE CAMPO: reacción al HCl (11%) de la matriz: nula. ESTUDIO DE SUPERFICIES: cutanes arcillosos, poco numerosos, asociados a los elementos gruesos, muy delgados.

Datos analíticos

Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5	CE1:5 (dS/m a 25°C)	Materia orgánica (%)	Carbonato cálcico eq. %	Caliza activa (%)
POR - 23/1	Ap	000-025	6,7	1,21	3,8	lp	lp
POR - 23/2	Bt (15%)	025->060	7,0	0,25	0,4	lp	ip

Granulometría (%)

Arena (diámetro en mm)			Limo (diámetro en mm)			Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA
2,00-0,20	0,20-0,05	Total	0,05-0,02	0,02-0,002	Total		
		67,1	8,3	13,2	21,5	11,4	FAr
		58,3	6,6	18,9	25,5	16,2	FAr

Complejo de cambio

CIC cmol+/kg	Ca ²⁺ cmol+/kg	Mg ²⁺ cmol+/kg	Na ⁺ cmol+/kg	K ⁺ cmol+/kg	V %	Retención de agua	
						Humedad gravimétrica (%) a	CRAD (m ³ /ha)
						-33 kPa	-1500 kPa
12,6	10,1	2,1	0,3	0,2	100	22	380
15,2	<9,8	>4,9	0,4	0,1	100	22	88

Fertilidad		Carbono orgánico (%)	N Kjeldahl (%)	C/N	Fe (ext. EDTA) s.m.s. (mg/kg)	Densidad aparente (M. exc.) (kg/m ³)	Densidad aparente (M. agr.) (kg/m ³)
P Olsen (mg/kg)	K AcONH ₄ (mg/kg)						
83	72	2,2	0,28	7,9	1719	1858	1690
9	38	0,2	0,05	4,6	216		1918

Micromorfología					
Microestructura y porosidad	g/f	Componentes minerales gruesos	Micromasa	Componentes orgánicos	Edaforrasgos
Lámina: 25/03 Horizonte genético: R/Bt Profundidad: 25-40 cm					
Bien desarrollada, parcialmente acomodada, en bloques subangulares. Poros 35%: planares (0,3 mm), cavidades (3 mm).	Límite g/f: 40 µm, relación g/f : 15/50, porfirica abierta	Gravas y arena gruesa de pizarra, arena gruesa de cuarcita, arena fina de cuarzo.	Limo y arcilla. Fábrica-b cristalítica.	Ausentes	Frecuentes revestimientos y rellenos de arcilla microlaminada en los poros y grietas de los elementos gruesos (0,2 mm). Algún pisólito de Mn (0,3 mm) en los elementos gruesos.

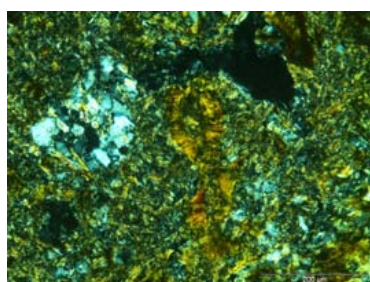


FIGURA 15. Revestimientos de arcilla microlaminada (XPL).

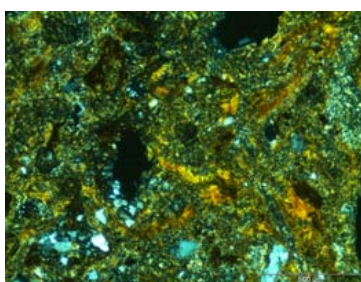


FIGURA 16. Rellenos de arcilla microlaminada (XPL).

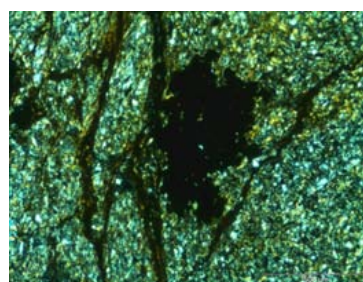


FIGURA 17. En el centro, mancha de oxidoreducción de Mn en una pizarra (XPL).

2.1.6. Otros suelos del Priorat

Dentro de los límites de la DOQ Priorat existen, aparte de los suelos desarrollados sobre rocas metamórficas que se han descrito en el punto anterior, superficies menores de otros tipos de suelos que contribuyen a añadir diversidad y riqueza a los *terroirs* de dicha DOQ.

En primer lugar debe citarse la presencia aunque muy escasa, de suelos con un horizonte argílico muy desarrollado, con una fuerte rubefacción, y que por su espesor, no pueden ser denominados argílicos. Debido a los fuertes procesos erosivos que ha sufrido la región y también a los abancalamientos se hace difícil encontrar perfiles sin un elevado grado de alteración (Xerarent álficos), pudiendo observarlos en alguna terraza del río Siurana. Dicho argílico no correspondería a los horizontes Bt descritos por Ubalde (2011) dentro de las pizarras.

Los suelos desarrollados sobre granodioritas (DAR, 2009) exhiben una tipología de horizonte similar (A-C-R). De acuerdo con Ubalde (2011), también presentan neoformaciones de arcillas, lo que contribuiría a incrementar su capacidad de retención de agua y por tanto a posibilitar una mejor alimentación hídrica de la vid.

A pesar de que los estudios de detalle no son muy abundantes (Nadal 1998, 1993), ponen en evidencia la riqueza de matices que aporta el mismo clima y dos suelos distintos (pizarras/granito) en el Priorat.

Los principales cursos fluviales que cruzan la DOQ y que tienen su origen fuera del área de rocas ácidas presentan terrazas escalonadas, con la clásica secuencia de desarrollo de suelos en terrazas sobre materiales calcáreos (cálcico/petrocálcico).

Asimismo, en retazos marginales de la DOQ existen suelos sobre materiales calizos que debido a las fuertes pendientes presentan suelos delgados (DAAM, 2010), con presencia de horizontes cálcicos en posiciones más estables.

Si nos referimos al resto del Priorat, en el sentido de la división comarcal administrativa, los suelos existentes están desarrollados sobre materiales calizos de tipología similar a la descrita en el apartado anterior.

Uno de los más destacados son los desarrollados sobre limos eólicos y que se describen en el capítulo 2.3 (Suelos sobre loess en el valle inferior del río Ebro).

2.1.7. Referencias bibliográficas

- ANADÓN, P.; JULIVERT, M. Y SÁEZ, A. "Aportación al Carbonífero de las Cadenas Costero Catalanas". *X Cong. Int. Estr. y Geol. del Carbonífero*. Madrid.1983. I.G.M.E. 1: (1985), p. 99-106.
- ANGUERA, P.; ARAGONÈS, M. "El Priorat de la Cartoixa d'Escaladei". *Ed. Fundació d'Història i Art Roger de Belfort*. Santes Creus (1985) p. 228
- BAZZOFFI, P.; PELLEGRINI, S.; STORCHI, P.; BUCELLI, P.; ROCCHINI, A. "Impact of land levelling on soil degradation, vineyard status and grape quality". *Progrès Agricole et Viticole 126(11)*, (2009), p. 266-271.
- COLOMBO F. "Geologia del Montsant". *III Jornades del Parc Natural de la Serra de Montsant*. Del 15 al 20 d'octubre de 2007". (2007).
- COLOMBO, F.; VERGÉS, J. "Geometría del margen S.E. de la Cuenca del Ebro: discordancias proareniscaivas en el Grupo Scala Dei. Sierra de la Llena". Tarragona. *Acta Geológica Hispánica*, 27, (1992), p. 33-53.
- CONSTANTINI, E.; CAMPOSTRINI, F.; ARCARA, P.G.; CHERUBINI, P.; STORCHI, M.; PIERUCCI, M. "Soil and climate functional characters for grape ripening and wine quality of 'Vino Nobile di Montepulciano'" in PONI, S.; PETERLUNGER, E.; IACONO, F.; INTRIERI, C. (eds.) *Proc. Workshop Strategies to Optimize Wine Grape Quality*. Acta Hort. 427. ISHS (1996).
- COTS-FOLCH, R.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, C. "Cambios en la morfología del terreno por el aterrazamiento de laderas para la creación de nuevas plantaciones de viña en la DOC Priorat (Cataluña)". *Simposio Nacional sobre Control de Degradación de Suelos*, Madrid, (2005), p. 69-72.
- CHONE, X.; VAN LEEUWEN, C.; CHERY, P.; RIBEREAU-GAYON, P. "Terroir influence on water status and nitrogen status of non-irrigated Cabernet Sauvignon (*Vitis vinifera*). Vegetative development, must and wine composition (Example of a Medoc Top Estate Vineyard, Saint Julien Area, Bordeaux, 1997)". *S. Afr. J. Enol. Vitic.* 22(1), (2001), p. 8-15.
- DAR-Consell de la DOQ Priorat "Els sòls de vinya de la DOQ Priorat" (2009), p. 89 + annexos. Document inèdit.
- DARP "Estudi de caracterització edafo-climàtica de la zona regable de Margalef (Tarragona)" (1989). Ed. Draft. p. 26, annexos i mapa.
- DAZZI, C.; LO PAPA, G.; PALERMO, V. "Proposal for a new diagnostic horizon for WRB Anthrosols" *Geoderma* (2009) 151, p. 16-21.
- DUTT, G.R.; MIELKE, E.A.; WOLFE, W.H. "The use of soils for the delineation of viticultural zones in the four corners region". *Am. J. Enol. Vitic.* 32(4), (1981), p. 290-296.
- ESPINÀS, J.M. "Viatge al Priorat" Ed. Selecta. 2a edició (1984) p. 250.
- FOLCH, R.; FRANQUESA, T.; CAMARASA, J.M. Vegetació. *Ir. HISTÒRIA NATURAL DEL PAÏSOS CATALANS*. Vol. 7. Enciclopèdia Catalana, (1984) 442 p. Barcelona.

- GÓMEZ-MIGUEL, V.; SOTÉS, V. "Zonificación del terroir en España". *Terroir-Zonazione-Viticultura: trattato internazionale Phytoline*, (2003.), p. 187-226.
- GUIMERA, J. *et altri.*- Geologia *Ir.* HISTÒRIA NATURAL DELS PAÏSOS CATALANS, Vol.2. Enciclopèdia catalana, (1992) 547 pp. Barcelona.
- INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA-INSTITUT GEOLÒGIC DE CATALUNYA "Mapa geològic comarcal de catalunya 1:50.000. 29. Priorat" Síntesi geològica a partir del 'Mapa Geològic de Espanya 1:50.000. Serie MAGNA" (2006)
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA "Mapa Geológico de España E. 1:50.000 Hoja n 444 (Flix)". 2ª serie, 1ª edición. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, Madrid (1979), 24 p.
- INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA "Mapa Geológico de España E. 1:50.000 Hoja n 445 (Cornudella)". 2ª serie, 1ª edición. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, Madrid (1978), 22 p.
- INVENTARI D'ESPAYS D'INTERÈS NATURAL. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.
- MATA-PERELLÓ, J.M.. "Recorregut de recerca geològica i mineralògica a través de la comarca del Priorat: des de Marçà cap a Bellmunt del Priorat, el Molar i cap a la Figuera de Falset". Inèdit. (2008), 12 pp. Manresa.
- MATA-PERELLÓ, J.M.; COLLDEFORNIS, B. "Selecció d'itineraris geològics i mineralògics per les comarques del Baix Camp, la Conca de Barberà, el Priorat i la Ribera d'Ebre". Xaragall, n 28, (1994), 36 pp. Manresa.
- MCKEAGUE, J.A. "Clay skins and argillic horizons". In: P. Bullock and C.P. Murphy (Editors), Soil Micromorphology. Volume 2. Soil Genesis. Proc. VI Int. Working Meeting on Soil Micromorphology, London, UK. AB Academic Publishers, Berkhamsted, UK. (1983) p. 367-387.
- MELGAREJO I DRAPER J.C. "Estudio geológico y metalogenético del paleozoico del sur de las Cordilleras Costeras Catalanas. Memorias del Instituto Tecnológico y Geo-Minero de España". Tomo 103, (1992), 605 pp. Madrid.
- MELGAREJO, J.C. "Estudi geològic i metal-logènic del Paleozoic del Sud de les Serralades Costaneres Catalanes". Vol. I, II i III. Tesi doctoral. Universitat de Barcelona. 3 vol. (1987). 646 pp.
- MORLAT, R. "Terroirs viticoles: Étude et valorisation". Ed. Oenoplurimedia, Chaintré, France. (2001).
- NADAL, M. "Característiques dels sòls i la seva relació en la qualitat dels vins. Aptitud vitícola" en Curs sobre caracterització de sòls. (1998) organitzat per CFEA-DARP. Reus.
- NADAL, M. "Estudi dels factors ecològics i les condicions de maduració del Cabernet Sauvignon per obtenir vins de qualitat al Priorat" Tesi de doctorat en C. Biològiques (1993)
- RAMOS, M.C. ; COTS-FOLCH, R. ; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. "Effects of land terracing on soil properties in the Priorat region in Northeastern Spain: A multivariate analysis". Geoderma 142, (2007), p. 251-261.
- SÁEZ, A. "Estudio estratigráfico y sedimentológico de los materiales de la parte central del Priorat (Tarragona)". Tesis de Licenciatura. Universitat de Barcelona. (1982), 94 pp. Inèdit.
- SÁEZ, A.; ANADÓN, P. "El Complejo Turbidítico del Carbonífero del Priorat (Tarragona)". Acta Geológica Hispánica 24 (1), (1989), p. 33-47.

- SANTANACH, J. *et altri*.- Geologia *lr*. HISTÒRIA NATURAL DELS PAÏSOS CATALANS, Vol.1, Enciclopèdia catalana, (1986) 439 pp. Barcelona.
- SEGUIN, G. "Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualité des vendanges" Bulletin de l'Office International de la vigne et du vin. (1983) vol. 56-623, p 3-17
- TEIXELL A. "Estudi geològic de les serres de Pàndols, de Cavalls i de Montsant i de les seves relacions amb les depressions de l'Ebre i de Móra (Tarragona)". Tesi de Licenciatura, Universitat de Barcelona, (1986), 149 pp.
- UBALDE, J.M. "Formació de sòls de vinya a Catalunya. Implicacions en el maneig de la vinya i qualitat del vi" Memòria presentada per optar al Diploma d'Estudis Avançats. UdL. (2004), 13 pp.
- UBALDE, J.M; SORT, X. and POCH, R.M. 'How soil forming processes determine soil-based viticultural zoning' J. Soil Sci. Plant Nutr. 11 (1): 100 – 126 (2011)
- VAN LEEUWEN, C. ; CHERY, P. "Quelle méthode pour caractériser et étudier le terroir viticole: analyse de sol, cartographie pédologique ou étude écophysiological? Un raisin de qualité: de la vigne à la cuve", N° Hors Série du J. Int. Sci. Vigne Vin., (2001), p. 13-20.
- VAUDOURE, E. "Les terroirs viticoles. Définitions, caractérisation, protection". Ed. Dunod, Paris. (2003).
- Colaboradores de Wikipedia. *Priorat (Catalunya)* [en línea]. Wikipedia, Enciclopedia libre, 2010 [fecha de consulta: 21 de diciembre del 2010].

2.2. Abancalamientos de tierras para nuevas plantaciones de viña en la comarca del Priorat: efectos sobre el régimen hídrico de los suelos y sus consecuencias

Ildefonso Pla¹, Francisco Fonseca² y Xiomara Abreu³

(1) Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida, Av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida.

(2) Centro UdL-IRTA de R+D de Lleida, Departamento de Tecnología del Riego, Av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida.

(3) Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay.

Resumen

El Priorat geológico es la parte central de la Comarca del mismo nombre, situada en el SE de Cataluña. Se distingue fundamentalmente por la geología y suelos predominantes desarrollados sobre pizarras del Paleozoico que reciben localmente el nombre de *licorellas*. Incluye el llamado Priorat Histórico, que fue durante varios siglos (XII-XIX) la región bajo la tutela y dominio del Prior (de ahí el nombre de Priorat) de la Cartuja de Escala Dei, establecida cuando las tierras fueron reconquistadas a los musulmanes. Desde esa época la región se distinguió fundamentalmente por la producción de vinos de alta calidad. Sin embargo, a partir de fines del siglo XIX, con la entrada de la plaga de la filoxera, la región paso por una larga etapa de recesión, con emigración de gran parte de su población y consiguiente abandono de muchas de las tierras. Esta situación cambió a partir de fines de los años 70 e inicios de los 80 del siglo XX, con la recuperación y mejora de viejos viñedos, acompañado de nuevas plantaciones e introducción de nuevas variedades, y de la conquista de mercados nacionales y especialmente internacionales para los nuevos vinos producidos, que actualmente están considerados entre los mejores del mundo. Este nuevo desarrollo trajo también la introducción de nuevos sistemas de plantación en líneas emparradas y de transformaciones del relieve con la construcción de terrazas de banco o bancales, a veces con sistema de riego complementario, todo con el fin de permitir una mayor mecanización de las labores de cultivo y de incrementar la producción. Sin embargo se han conservado viejas plantaciones, con viñas de crecimiento libre en el sistema tradicional de *coster*, con muy pocas alteraciones de las pendientes y suelos originales, ya que su producción, aunque muy baja, sirve para mejorar la calidad de los vinos producidos en las nuevas plantaciones.

A partir del año 2000 se iniciaron reconocimientos preliminares seguidos de investigaciones y estudios, para evaluar los efectos de las nuevos sistemas de producción (sistema y densidad de plantación, abancalamiento de las tierras, labranza, uso de coberturas, variedades, riego, etc.) sobre el balance y régimen hídrico de los suelos y tierras, y las posibles consecuencias en la conservación de suelos y agua, y sobre la producción (cantidad y calidad). Todo ello en relación a las particulares condiciones y variabilidad del clima de la zona, en especial de las lluvias (cantidad, intensidad y distribución). Los resultados obtenidos, tanto durante los años de experimentación y monitoreo directo a nivel de campo, como en las deducciones utilizando un modelo de simulación con base hidrológica, validado con los experimentos in situ, indican claramente que los nuevos sistemas provocan cambios drásticos en diferentes aspectos que tienen que ver con el balance y régimen hídrico de los suelos, con consecuencias sobre la producción, sobre los riesgos de sequía y deslizamientos de tierra, y sobre la efectividad del riego. Basados en esos resultados se recomiendan nuevos enfoques en los sistemas de siembra y transformación de las tierras para las nuevas plantaciones de viña en el Priorat geológico. Los estudios también han servido para descartar rotundamente uno de los argumentos que se ha estado utilizando para justificar el abancalamiento de las tierras, e incluso para recomendar el uso de coberturas vegetales protectoras, con el fin de controlar unos supuestos e inexistentes riesgos de escorrentía y erosión superficial.

2.2.1. Introducción

2.2.1.1. Historia del cultivo de la viña en el Priorat

El Priorat es una comarca, que coincide aproximadamente con una región geográfica montañosa, localizada en el Sur de Cataluña, perteneciente a la cuenca del río Siurana (que desemboca en el río Ebro) y de sus afluentes los ríos Montsant y Cortiella, todos en la cuenca del Mediterráneo. Las aguas de los ríos Siurana y Montsant, con un régimen torrencial y crecidas generalmente en otoño, están sometidos a una regulación de su caudal en sus cabeceras (pantanos de Siurana y Margalef), con sendas presas construidas en los años 1965 y 1991 respectivamente. Fuera de una pequeña proporción del agua utilizada para riegos locales en tierras cercanas al cauce de los ríos, gran parte del agua de esos pantanos es transvasada para su uso fuera de la cuenca, especialmente para riego y abastecimiento de agua en el Baix Camp. Las pendientes predominantes en las tierras del Priorat oscilan entre un 10-80 %, a unas alturas sobre el nivel del mar de 100-1000 m. La principal actividad en el Priorat es la agricultura, la cual se basa principalmente en cultivos leñosos de secano como olivos, almendros, avellanos y en especial viña para producción de vino. Dentro de lo que es la comarca del Priorat, y ocupando su parte central, hay una región conocida como Priorat geológico, (de la cual forma parte el llamado Priorat Histórico) que ocupa un 29% (14.000 ha) de la superficie de la comarca, en la parte con topografía más abrupta del paisaje, caracterizándose por la naturaleza de sus suelos desarrollados sobre pizarras del Paleozoico conocidas localmente como *licorella*. Dicha región ocupa los términos municipales de Morera de Montsant (incluyendo Escala Dei), Poboleda, Porrera, Torroja del Priorat, Vilella Alta, Vilella Baixa, Gratallops, El Lloá, Bellmunt del Priorat y la parte N de los términos municipales de El Molá y Falset. En el resto de lo municipios de la comarca del Priorat, con suelos diferentes, calcáreos o graníticos, se produce también viña (unas 2.000 ha) y vinos, que desde el año 2001 fueron incluidos en la DO Montsant.



FIGURA 1. Ubicación del Priorat geológico en España, en Cataluña y en la comarca del Priorat y lugar de la parada en la gira de campo (web doq.org).

El cultivo de la viña para producción de vino, introducido en Cataluña por griegos y romanos hace más de 2000 años, se transformó en un cultivo tradicional en las tierras de altas pendientes, y en el Priorat en particular a partir del siglo XII cuando las tierras fueron

reconquistadas a los musulmanes. Aun hoy en día la viña, mayormente de secano, ocupa en Cataluña alrededor de 100.000 ha, donde se produce el 9% del vino y el 99% del cava de toda España, hasta hace poco en propiedades relativamente pequeñas de 5-20 ha, situación que esta cambiando en los últimos años.

En el Priorat, el pueblo y fortaleza de Siurana al NE de la comarca del Priorat fue la última posesión de los musulmanes en Cataluña, siendo reconquistada en el año 1153. En el año 1162 el rey Alfonso I el Casto cedió unas 3.000 ha de tierras y el dominio de los pueblos Morera de Montsant, Poboleda, Porrera, Torroja del Priorat, Vilella Alta, Gratallops y Bellmunt del Priorat (Priorat Histórico) dentro de lo que actualmente se conoce como Priorat geológico, a la Orden de los Cartujos para que las repoblaran y construyeran la Cartuja de Escala Dei. Según la leyenda, los monjes se encontraron con un pastor que les mostró un lugar en la base de los riscos del Montsant por donde subían los ángeles hasta desaparecer en la parte más alta, y ese fue el lugar escogido para construir el monasterio. En el nombre y el escudo de Escala Dei aparece la escalera en la que según la leyenda los ángeles subían al cielo. Fueron esos monjes cartujos los que introdujeron la viña en la región, encargándose posteriormente de mejorarla y de producir vino. Desde esa época el Prior (de ahí viene el nombre del Priorat) de la Cartuja de Escala Dei gobernó la región con un régimen semifeudal, hasta que en 1835 por el decreto de desamortización de Mendizábal se expropió a la iglesia y se redistribuyeron todas esas tierras.

Desde la llegada de la Orden de los Cartujos al Priorat, el cultivo de la viña se fué expandiendo, alternando su cultivo con cereales, almendros y olivos, alcanzando su máxima expansión a finales del siglo XVIII y durante el siglo XIX cuando ya el vino del Priorat era conocido por su calidad. A mediados del siglo XIX (1867), llegó la plaga de la filoxera en Francia a través de la importación de plantas de vid contaminadas de América. La filoxera *Phylloxera vastatrix* es un parásito (pulgón microscópico) que se propaga muy rápidamente, desarrollándose en las hojas y en el suelo, donde destruye el sistema radicular de la vid, con lo que la planta acaba muriéndose. Por lo tanto la producción de vino en Francia, que en esa época era el principal productor y comercializador de vino a nivel europeo, se redujo considerablemente. En esas circunstancias el Priorat, donde aun no había llegado la filoxera, se transformó en uno de los proveedores del vino que dejó de producir Francia, lo que impulsó el cultivo de la viña y supuso la época de mayor prosperidad de la región. Reus y Tarragona se transformaron en centros importantes para la comercialización y distribución de los vinos para toda Europa (Nadal, 2002). En dicha época se constituyeron cooperativas de producción y comercialización, algunas de las cuales aun perduran, y se construyeron numerosas bodegas con arquitectura modernista muy avanzada para la época. La población de la comarca del Priorat subió a 28.000 habitantes y el área cultivada con viña se incrementó a 3.700 ha, transformándose en un monocultivo que ocupaba prácticamente todas las tierras disponibles. En las pendientes más pronunciadas se construyeron muros de piedra para sostener pequeñas terrazas con viña, cuyos restos aun se pueden ver en la actualidad en gran parte de las tierras abandonadas, con o sin bosques, de la región

A finales del siglo XIX (1893) la filoxera llegó también al Priorat, con lo que se murieron prácticamente todas las plantas de vid, las cuales temporalmente fueron sustituidas en algunas tierras por almendros, avellanos y olivos, mientras se recuperaban los viñedos con nuevas plantaciones utilizando como patrón porta injertos viñas bordes americanas, principalmente *Vitis rupestris de lot*, resistentes a la filoxera. Aunque este porta injertos, muy resistente a la sequía y con raíces profundas, aun predomina en las viñas viejas, ya hoy en día se utiliza más como porta injertos el *Richter110*, que se desarrolla mejor en suelos calcáreos y también es resistente a la sequía. Las variedades productivas de *Vitis vinífera* se injertan en esos porta injertos resistentes a la filoxera. De todas formas el área con viña y la producción de vino en el Priorat geológico se redujo en un 75%, y las tierras abandonadas se cubrieron de

matorrales o bosques con predominio de especies de *Quercus* y *Pinus*. Concurrentemente la comarca siguió empobreciéndose, incrementándose los problemas sociales, lo que hizo que parte de la población emigrara a los núcleos urbanos de Barcelona, Tarragona y Reus que se estaban industrializando, con lo que bajó a menos de 10.000 habitantes en toda la comarca y a unos 2.500 en el Priorat geológico. Dicha población se ha mantenido casi igual hasta nuestros días, con un ligero incremento en los últimos años.

2.2.1.2. Situación actual del cultivo de la viña en el Priorat

La decadencia del Priorat se acentuó después de la guerra civil, y el área efectivamente cultivada y cosechada con viña en el Priorat geológico se redujo a unas 500-600 ha en 1950. En ella se producían unos vinos tintos rústicos, ásperos y de muy alta graduación, que se comercializaban a granel para consumo directo y para la mejora (grado alcohólico, color) de vinos producidos en otras regiones de España y del extranjero. A finales de los años 70 e inicios de los 80 un grupo de jóvenes enólogos y productores de fuera del Priorat junto con algunos productores locales, conocedores de la tradicional producción de vino en el Priorat geológico y convencidos de la posibilidad de producir nuevamente buenos vinos, se dedicaron a recuperar algunas viñas viejas y a replantar otras nuevas. A las variedades tradicionales en la zona, Garnacha Tinta, Garnacha Peluda y Cariñena (Mazuela, Samsó), que ocupaban gran parte de los viñedos viejos, agregaron nuevas plantaciones con algunas variedades importadas de Francia como Cavernet Sauvignon, Sirah y Merlot, e introdujeron nuevas técnicas enológicas. Con ello, ya en 1989, aparecieron vinos embotellados de calidad, con el nombre genérico de Clos (Clos Mogador, Clos de l'Obac, Clos Martinet, Clos Dofi, etc.) que tuvieron mucho éxito en el mercado y abrieron el camino para el desarrollo que ha ocurrido posteriormente. El término Clos es el utilizado en la región para referirse a los pequeños campos cerrados de cultivo de viña, cada uno con una tierra y microclima particular, que era como tradicionalmente se cultivaba la viña para vino en el Priorat.

A partir de esos años, y con la apertura de mercados para los nuevos vinos del Priorat, se inició un desarrollo acelerado y algo desordenado, con un incremento del área efectiva de producción de uva para vino en la región, tanto en viñas viejas recuperadas como en viñas nuevas con nuevos sistemas de plantación, generalmente en bancales, y con la introducción de nuevas variedades. Dicho incremento del cultivo ha contado con fuertes inversiones de grandes firmas productoras como Torres, Osborne, Freixenet, Codorniu, etc. y con la construcción de nuevas bodegas. De las antiguas cooperativas de pequeños productores solo ha sobrevivido hasta hoy Vitícola del Priorat, que agrupa las cooperativas locales de Gratallops, El Lloà, Vilella Baixa y Vilella Alta, con 125 socios que cultivan 310 parcelas de viña (clos) en 205 ha, con una producción promedio de 450.000 kg de uva al año. Hoy en día la extensión de los viñedos en el Priorat geológico es de cerca de 1.800 ha, con una producción de alrededor de 5 millones de kg de uva y 30.000 hl de vino. La mayor parte del área (90%) esta plantada con variedades tintas, entre las que predominan las variedades tradicionales Garnacha Tinta y Garnacha Peluda (700 ha), y Cariñena (500 ha), sobre las variedades importadas como Cavernet Sauvignon (250 ha), Sirah (215 ha) y Merlot (110 ha). Actualmente el Consejo Regulador de la Denominación de origen calificada Priorat (DOQ Priorat) está fomentando la plantación de Garnacha tinta por encima de las otras variedades. Las variedades blancas más cultivadas son la Garnacha Blanca, la Macabeo y la Pedro Ximenez, ocupando en total un poco más de 100 ha. El área plantada con viñedos en producción se ha estabilizado en los últimos años, periodo en el cual se han dedicado más esfuerzos a la recuperación de viñas viejas (edades de 50-100 años) por la alta demanda y precios de la uva producida en ellas, la cual es además indispensable para darle calidad a los vinos producidos en la región con uvas de viñas más jóvenes. La baja producción de las viñas viejas (1000-2000

kg/ha) se compensa por la alta calidad y concentración de azúcares y por el alto valor de venta, 5-6 € por kg comparado con 0,9-1,2 € por kg de uva de viñas nuevas.

La denominación de origen Priorat existe desde 1954 cuando se aprobó el reglamento original, el cual se modificó posteriormente en 1975, obteniéndose la categoría de denominación de origen calificada (a nivel autonómico en el año 2000 y a nivel mundial, en el año 2009), pasando a ser una de las dos únicas regiones (la otra es la Rioja) con denominaciones de origen calificadas de vino en España. Esta DOQ solo se otorga a regiones productoras de vino que hayan alcanzado y mantenido una calidad de vino excelente por un largo periodo de tiempo. El Consejo Regulador de la DOQ Priorat se encarga de controlar el establecimiento de nuevas plantaciones y de regular los sistemas de producción, para evitar excedentes y garantizar el mantenimiento de la calidad. En la actualidad los vinos producidos en la zona de DOQ Priorat se han convertido en algunos de los más conocidos y apreciados de España y del mundo. Ello se ha visto favorecido por la tendencia actual del mercado de consumo, con preferencia por vinos tintos de mucho color, estructura y graduación, y por el descubrimiento del efecto beneficioso para la salud de los taninos, muy abundantes en los vinos del Priorat. En muchos de los vinos predomina la combinación de las variedades tradicionales Garnacha tinta, que aporta el aroma y grado alcohólico, y la Cariñena, que aporta poli fenoles, cuerpo, color y acidez al vino, permitiendo el envejecimiento. Actualmente todo el vino se embotella y alrededor de un 50% se exporta a otros países, en especial a Estados Unidos, Inglaterra, Alemania y Suiza. Con la recuperación de la actividad productora de vinos de calidad en el Priorat se ha desarrollado una importante actividad turística nacional e internacional, lo que ha ido acompañado de la creación de infraestructuras y servicios, y de mejora de las vías de comunicación en la comarca.

2.2.2. Suelos y clima en el Priorat

La alta calidad de los vinos producidos bajo la DOQ Priorat se debe en gran parte a la combinación de los factores suelo, clima y orografía que condicionan la alimentación hídrica y nutritiva de la vid (Jackson y Lombard, 1993) (figura 2). Los suelos que cubren la mayoría de las colinas redondeadas que forman el paisaje predominante en el Priorat geológico han sido clasificados como *Lithic Xerorthents*, y se han desarrollado sobre pizarras (esquistos micáceos) del carbonífero (era Paleozoica), a las cuales localmente se conocen como *licorellas* (figura 3). Dichas pizarras se rompen en dirección de las capas de estratificación, dando lugar a piedras predominantemente planas. Los suelos resultantes, con un perfil poco desarrollado, no son calcáreos y tiene en superficie un pH neutro o ligeramente ácido (el cual suele incrementarse con la profundidad), con un contenido muy bajo de materia orgánica (< 2%) en el suelo superficial. Son suelos muy pedregosos (20-60% en volumen), con muy buen drenaje, y generalmente con un pavimento de piedras (fragmentos laminares de pizarra) en la superficie que permite la infiltración del agua de lluvia, aun en fuertes tormentas y pendientes muy pronunciadas, lo que



FIGURA 2. Efecto de diferentes factores sobre la calidad de la uva y del vino (adaptado de Jackson y Lombard, 1993).



FIGURA 3. Perfil del suelo, material parental (pizarra) y superficie del suelo en una tierra sim labrar en *coster* del Priorat geológico (% Arcilla: % de la fracción <2mm). Fuente: autores.

de las pizarras permite mantener una cierta fertilidad química y retener agua en el suelo, aun con el buen drenaje que favorece la pérdida de agua y el lavado de nutrientes, y el bajo contenido de materia orgánica. La profundidad de los suelos en condiciones naturales no suele ser mas de 50-60 cm, encima de una roca madre (pizarras) altamente fragmentada y meteorizada, en cuyos espacios entre los fragmentos (donde a su vez se forman arcillas montmorilloníticas) pueden penetrar algunas raíces profundas de las viñas, y puede circular, en el sentido de la pendiente, parte del exceso de agua de drenaje.

El clima en el Priorat geológico es Mediterráneo continental semiárido, con influencias marítimas. La temperatura media anual es de 14-15°C, con extremos de 35°C y de -4°C. Los inviernos son fríos (8-9°C de temperatura promedio) y los veranos son moderadamente calurosos (19-20°C de temperatura promedio). Los valores de insolación son muy altos, con 2.600 horas de luz al año. Las pizarras superficiales pueden almacenar el calor irradiado por el sol y al mismo tiempo reflejar la luz. Todo esto, junto con la escasa pluviometría estival favorece una maduración de la uva con alta concentración de azúcares y la síntesis de componentes fenólicos. La precipitación anual promedio es de 500-600 mm, muy variable de año a año (300-900 mm) y durante el año, aunque suelen concentrarse en otoño y a veces también en primavera (figura 5).



FIGURA 4. Pavimento de piedras en la superficie del suelo y retención de agua por el material fino (arcilla y limo) dentro del perfil después de una fuerte lluvia. Fuente: autores.

Priorat, incluyendo la zona experimental donde se realizaron las investigaciones reportadas mas adelante, cayeron más de 300 mm de lluvia en solo tres días (con intensidades puntuales que alcanzaron más de 100 mm/hora), lo que equivale a toda la lluvia del año 1980 (Fonseca, 2006). En este caso ello provocó grandes movimientos de tierra por erosión en masa que afectaron algunas terrazas de banco recién construidas. Debido a la baja capacidad de

evita la erosión superficial y permite el cultivo de la viña en altas pendientes. Dicho pavimento, cuando no es removido con la labranza, también protege al suelo subyacente de pérdidas de agua por evaporación superficial (figura 4). Las fracciones finas limo y arcilla suelen incrementarse ligeramente con la profundidad, dándose el caso de que las arcillas predominantes son esmectitas (montmorillonitas) (Abreu, 2005), con alta capacidad de intercambio catiónico y alta capacidad de retención de agua. Esto, conjuntamente con la meteorización continua

de componentes fenólicos. La precipitación anual promedio es de 500-600 mm, muy variable de año a año (300-900 mm) y durante el año, aunque suelen concentrarse en otoño y a veces también en primavera (figura 5). Con cierta frecuencia se presentan lluvias fuertes y tormentas concentradas, como ocurrió en 1994 y especialmente en el año 2000, cuando en algunas zonas del

retención de agua de los suelos, y por los diferentes requerimientos de agua para la vid en cada uno de sus ciclos, más que la cantidad total anual de lluvias es importante la distribución. Así por ejemplo, en el año 2000 citado anteriormente, aunque llovieron en zona de la Vilella Baixa un total de 720 mm (por encima del promedio), incluyendo los 300 mm en tres días de octubre, prácticamente no llovió desde junio hasta octubre, lo que provocó una fuerte sequía y aceleración en la maduración de la uva. Por esa irregular distribución de las lluvias, es frecuente que en el Priorat geológico se presenten problemas de sequía, que si ocurren antes del invierno, durante el crecimiento vegetativo, requerirían algún riego de soporte, pero si se presentan en el periodo de maduración (cuando ya no se permite el riego) pueden favorecer la acumulación de azúcares y la síntesis de compuestos fenólicos.

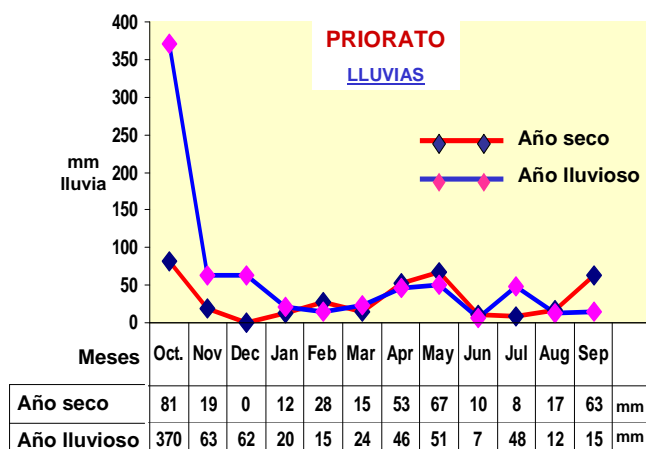


FIGURA 5. Distribución mensual de las lluvias en un año seco (2004-2005) y en un año lluvioso (2000-2001). Fuente: autores.

2.2.3. Sistemas de manejo de la viña en el Priorat

La topografía abrupta predominante en el Priorat geológico dificulta y hace muy laboriosas las operaciones de cultivo y cosecha de la vid. En la actualidad coexisten en el Priorat dos sistemas de plantación de la viña, el de *coster* (en ladera) y el de *banca* (en terrazas de banco) (figura 6). Un *coster* es una viña plantada en un terreno inclinado, lo cual permite utilizar toda la superficie pero hace muy difícil la mecanización. Un *banca* es una terraza de banco que se forma cortando el terreno en pendiente para que queden unos escalones con superficies planas relativamente estrechas (más estrechas en terrenos con mayores pendientes) donde se plantan las cepas en hileras (1-5 dependiendo de la anchura del banca) separadas 2 - 2,5 m para facilitar el paso de maquinaria y la mecanización, con densidades cercanas a las 6.000 (5.000-7.000) plantas/ha. Los taludes de las terrazas, con pendientes de 25° - 70°, no están generalmente protegidas por piedras, aunque con el tiempo tiende a desarrollarse vegetación natural, fundamentalmente hierbas y matorrales, con escaso efecto estabilizador frente a los deslizamientos de tierra potenciales.



FIGURA 6. Plantación de viña en *coster* y en *bancales* en el Priorat geológico. Fuente: autores.

Tradicionalmente las plantaciones de viña se hacían con el sistema *coster*, en el que las cepas (generalmente de las variedades Cariñena y Garnacha tinta) se plantaban individualmente en las laderas, sin o con pocas modificaciones de la pendiente, siguiendo



FIGURA 7. Terrazas de campos abandonados de viña en la falda del Montsant (Google maps, 2011).

aproximadamente las curvas de nivel, en campos individuales muy pequeños (0,5 a 2 ha). Las plantaciones se hacían en hileras separadas 2-3 m, con una distancia entre plantas de 1,0-1,5 m., lo que daba unas densidades de 2.500-5.000 plantas/ha y permitía que las plantas pudieran desarrollarse libremente. Las viñas sembradas con este sistema generalmente no se renovaban antes de los 50 o más años. Con este sistema de plantación muy laborioso se mantiene el relieve natural y las pendientes, y las únicas estructuras de conservación son en algunos casos paredes no continuas de piedras colocadas en las vías naturales de drenaje y en sitios donde, basándose en la experiencia local del agricultor, hay mayores peligros de movimiento de suelo por erosión en masa. En

muchos lugares, especialmente en la segunda mitad del siglo XIX, cuando se alcanzó la mayor extensión de tierras cultivadas con viña en el Priorat, los muros de piedra y las áreas cultivadas casi alcanzaban el tope de las colinas, lo cual aun se puede comprobar bajo la vegetación que ha cubierto algunas de esas áreas una vez que fueron abandonadas (figura 7). En las plantaciones viejas que aún permanecen en producción, muchas de esas paredes de piedra no han sido mantenidas o reparadas por muchos años, debido a los problemas económicos asociados a la producción de vino en el Priorat antes de los años 90, y a la falta



de mano de obra para hacer el trabajo. Bajo esas condiciones de siembra, en suelos poco profundos y muy pedregosos, con limitada capacidad de retención de humedad, las plantas de la vid con crecimiento libre suelen ser poco vigorosas, con tallo muy corto del cual salen 2-4 brazos. La producción, especialmente en viñas viejas, es generalmente baja (< 0,5 kg de uva por planta) aunque de gran calidad.

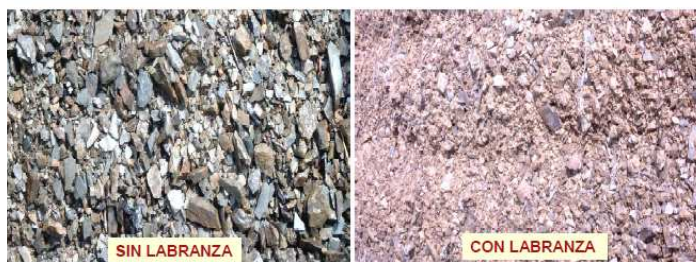


FIGURA 8. Labranza en *coster* con mula, y superficie de un suelo de *licorella* sin labranza e inmediatamente después de una labranza. Fuente: autores.

Hasta hace unos 30 años, en los *costers*, los espacios entre hileras se labraban periódicamente hasta unos 10-15 cm de profundidad, utilizando fuerza animal (burros o mulas) o a mano, lo que permitía controlar las malas hierbas, forzaba la penetración de raíces a mayor

profundidad y creaba pequeñas zonas abancaladas entre hileras que facilitaban el resto de las labores incluyendo la cosecha a mano. Cuando por razones económicas y de falta de mano de obra se abandonó esta práctica, las raíces de las plantas comenzaron a desarrollarse más cerca de la superficie, con lo que aumentaron los riesgos de sequías, y obligaron a realizar pequeñas aplicaciones de herbicidas para controlar las malas hierbas. En estas condiciones sin labranza, queda en la superficie una cubierta continua de piedras de pizarra, ya que las partículas más finas son movilizadas a mayor profundidad por el agua de lluvia percolante (Pla y Nacci, 2003). No es que la fracción fina del suelo se pierda por erosión superficial, como se ha argumentado en algunas publicaciones, ya que toda el agua de lluvia infiltra y por ello no hay escorrentía superficial para que se produzca ese tipo de erosión, lo cual se demostró con pruebas en el campo utilizando simuladores de lluvia y con mediciones en pequeñas parcelas de erosión. Hoy en día, para resolver los problemas señalados por falta de labranza, algunos agricultores han vuelto a labrar las tierras utilizando animales o pequeños motocultores, creando pequeñas franjas aterrazadas entre hileras o alrededor de cada planta (figura 8). Esto se justifica por el alto precio y demanda de la uva producida en esas viñas.

Los nuevos desarrollos y plantaciones a partir de la década de los años 80, se comenzaron a hacer con el sistema de *bancales*, lo que requiere de grandes y costosos movimientos de tierra para su construcción, y donde las cepas se plantan generalmente emparradas (con espacios entre hileras de 2-2,5 m y entre plantas de 0,8-1,1 m) y no en vaso como se hace generalmente en el sistema *coster*. Este emparrado supone un costo adicional, pues hay que sujetar las plantas a unas estructuras de postes (de madera o metálicos) y cables, para facilitar las labores de cultivo, poda y cosecha, y también para permitir una mayor exposición de las hojas al sol. El costo aproximado actual por hectárea de una nueva plantación en bancales, y que puede reducirse un poco cuando se hace en extensiones mayores, es el que se muestra en la tabla 1, cantidad que se pretende amortizar en unos 20 años.

TABLA 1. Costes aproximados por hectárea de una nueva plantación en bancal

Operación	Coste (€/ha)
Aterrazamiento (limpieza del terreno y movimiento de tierras)	30.000
Plantación, injerto y emparrado de las cepas	36.000
Instalación de riego (balsas, tuberías, etc.)*	24.000
Otros (maquinaria, etc.)	10.000
Total	100.000

* En caso de que se instale sistema de riego

Estas transformaciones e inversiones se han visto estimuladas por la política agrícola común (PAC) de la UE, en relación a planes de conversión y reestructuración (Regulaciones EC N° 1227/2000 y EC N° 1493/1999), con un subsidio de hasta un 50% del costo. Una de las justificaciones para subsidiar la construcción de bancales en estas tierras, es la conservación de suelos y agua, pues supuestamente este debiera ser un medio efectivo para conservar y retener al agua y controlar la erosión superficial, al no considerar las condiciones hidrológicas muy especiales de los suelos de esta zona. Relacionado con esto se ha argumentado y escrito, incluso en “guías o manuales técnicos” para la construcción de terrazas en la zona del Priorat geológico, que la baja productividad en el sistema *coster* se debe a que la escorrentía superficial no permite infiltrar y retener el agua de lluvia, y arrastra todo el suelo fértil. Estas premisas, que pudieran ser ciertas para otras tierras (con suelos diferentes) con viña en pendientes pronunciadas, no lo son en el caso del Priorat geológico, porque los suelos de *licorella* en *coster*, permiten infiltrar toda el agua de lluvia, aún en tormentas intensas, eliminando la posibilidad de escorrentía y erosión superficial, como se verá en los resultados experimentales reportados posteriormente (Pla y col. 2005). Lo que si se puede generar cuando ocasionalmente se presenten eventos lluviosos extremos en cantidad y en intensidad

son deslizamientos de tierra (erosión en masa), pero en este caso los riesgos son mayores en el sistema *banca* como también se verá posteriormente (figura 18). Lo que si permiten y facilitan los banales es un mejor acceso para las diferentes labores (labranza, poda, cosecha,



FIGURA 9. Imagen de satélite de un paisaje abancalado en el Priorat geológico (Gratallops- Vilella Baixa) (41° 12' N, 0° 46' E) (Google maps, 2011).

etc.) que además pueden mecanizarse, aunque para la DOQ Priorat aún se requiere hacer la cosecha a mano. El efecto más evidente es un cambio del paisaje (figura 9) cuando los aterrazamientos se hacen en grandes extensiones.

El abancalamiento de los terrenos para aumentar la productividad y para hacer posible la mecanización del cultivo, se ha estado haciendo generalmente con técnicas rudimentarias y diseños a veces caprichosos, sin criterios técnicos ni objetivos basados en información local sobre las muy particulares propiedades y comportamiento de los suelos de *licorella*, lo que en muchos casos puede atender contra su sostenibilidad en el tiempo (por incremento en los riesgos de

deslizamientos y de los riesgos de sequía), y contra la recuperación de las cuantiosas inversiones realizadas en su construcción y mantenimiento (Pla y Nacci, 2003).

Todo esto se ha debido fundamentalmente a un desconocimiento del comportamiento hidrológico de los suelos de *licorella* tanto en *coster* como en *banales*, lo que ha llevado a firmas consultoras y compañías constructoras a recomendar y aplicar diseños de terrazas de banco basados o copiados de los que se utilizan en tierras en pendiente con suelos que tienen limitaciones para la infiltración de agua de lluvia, y que por lo tanto tienen problemas potenciales de escorrentía y erosión superficial, por lo cual señalan que el control de esos problemas es uno de los objetivos perseguidos. En ese mismo sentido, en algunos casos se llegan a recomendar prácticas de cero labranza y cobertura de hierba para “proteger el suelo superficial del impacto de las gotas de lluvia y así prevenir el sellado superficial y la erosión”, en unos suelos que tienen una cobertura de piedras planas de pizarra. Otra de las prácticas recomendadas, supuestamente para incrementar la capacidad de retención de agua en los banales, es la trituración de las piedras superficiales (0-10cm), labor muy costosa e inútil, como se ha demostrado cuando hemos medido la capacidad de retención de agua antes y después e triturar las piedras. Eso podría esperarse, porque la simple trituración física de una roca no crea partículas con propiedades superficiales responsables de la retención de agua.

La misma falta de criterios técnicos y objetivos suele presentarse frecuentemente en la recomendación, diseño e instalación de costosos sistemas de riego (generalmente por goteo) para mantener la mayor capacidad productiva de las viñas en los banales, donde el consumo de agua es mayor que en las viñas en *coster*. El riego de apoyo, permitido por la DOQ Priorat, antes del envero, debería reducir en años secos, especialmente en el periodo crítico floración-envero (mayo-julio), las deficiencias de agua. La única agua disponible para riego en la región DOQ Priorat, es la que proviene del drenaje interno de los suelos, cuando el agua de lluvia infiltrada supera la capacidad de retención de agua del suelo, y que fluye generalmente en el sentido de la pendiente entre las grietas de la pizarra subyacente. Esta es el agua que tradicionalmente captaban los agricultores en la llamadas *minas*, que eran perforaciones laterales en la montaña para interceptar el flujo subterráneo de agua de drenaje y almacenarla en depósitos cubiertos, utilizándose para el propio consumo del agricultor y de los animales de labranza, y para el riego de algunos árboles frutales y hortalizas para consumo familiar. Hoy

en día se trata de hacer captaciones más grandes en las partes bajas de las micro cuencas, almacenando el agua en balsas o depósitos de diferentes tipos y tamaños para su uso posterior en el riego de la viña en años y periodos cuando se requiera. Cómo se mostrará más adelante, es importante que antes de hacer una inversión tan grande se prevean adecuadamente cuáles van a ser las posibilidades de captar en cada caso suficiente agua para satisfacer los requerimientos de riego previstos en años secos. En caso contrario, se puede presentar la circunstancia de que en los años en que más se necesiten riegos de apoyo sea cuando haya menos agua disponible, lo que ya se constató en el año agrícola 2004-2005.

2.2.4. Efectos del abancalamiento de las tierras con viña en el Priorat

2.2.4.1. Investigaciones realizadas

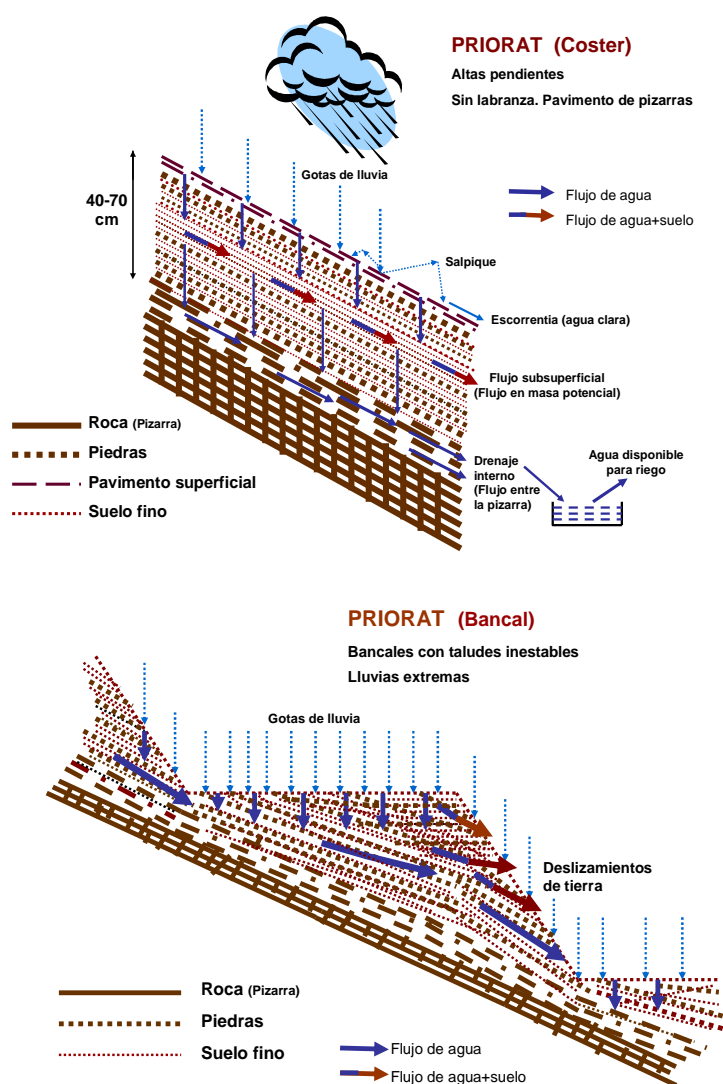


FIGURA 10. Representación esquemática de los procesos hidrológicos y de los procesos de erosión en *costery bancal* con viña de secano en suelos de *licorella*. Fuente: autores.

Como se señalaba anteriormente, a partir de la década de los 80, con el mejoramiento de los vinos producidos en el Priorat y el incremento de la demanda de dichos vinos a nivel nacional e internacional, comenzaron a transformarse las viñas viejas cultivadas en *costers* y a realizarse nuevas plantaciones en *bancales*. El abancalamiento de los terrenos apareció como una alternativa preferida, en parte por el estímulo a través de subsidios de la UE, y como una manera de permitir la mecanización de casi todas las labores de cultivo y aumentar la



FIGURA 11. Imagen de satélite con la localización de los campos experimentales y de los puntos a visitar (41° 13' N, 0° 42' E) (Google maps, 2011).

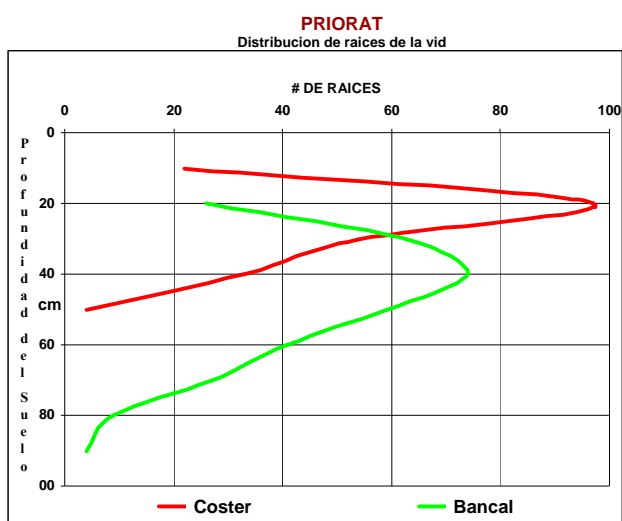


FIGURA 12. Distribución con la profundidad de las raíces de la vid en *coster* sin labranza y en *bancal* con labranza a 15-20 cm. De profundidad. (Método de la trinchera- Pla 1996). Fuente: autores.

producción. La falta de mano de obra en la región, y las producciones cada vez más erráticas, no resueltas con el uso creciente de fertilizantes, al no poder seguir labrando con animales las viñas en los *costers* también contribuyeron a estimular dichos abancalamientos. El cambio de las plantaciones de *costers* a *bancales* también ha significado cambios en el sistema y en la densidad de plantación, y el cambio de variedades de viña en algunos casos. Los efectos de estos cambios drásticos en el relieve y suelos, y de los nuevos sistemas y densidades de plantación han afectado la hidrología superficial y sub-superficial de las tierras, con variadas consecuencias en la conservación de suelos y agua y efectos relacionados (figura 10). Estos cambios se han estudiado durante varios años bajo condiciones de campo y laboratorio (Abreu, 2005; Fonseca, 2006; Pla, 2010).

Los estudios se realizaron en dos campos comerciales pertenecientes a socios de la Cooperativa "Vitícola del Priorat", que fueron seleccionados como representativos después de realizar observaciones y muestreos preliminares en diferentes puntos dentro de la zona de DOQ Priorat (figura 11). Uno de los campos tiene una plantación vieja en *coster*, con una pendiente media de 40%, y cepas de la variedad Cariñena de más de 60 años, con una densidad de 2.700 plantas/ha. La tierra no se está labrando actualmente, por lo que hay una cobertura completa de fragmentos de pizarra, incrementándose el contenido de la fracción fina del suelo con la profundidad. El suelo es muy pedregoso (75% en peso de piedras), y su profundidad efectiva, donde se desarrollan más de un 90% de las raíces de la vid, es de unos 60 cm. El otro campo, vecino del anterior, está abancalado, con bancales de 3-4 m de anchura y dos a tres hileras de viña joven (en la actualidad de 6-8 años) de la variedad Garnacha peluda, con una densidad de plantación de 6.000 plantas/ha. Aunque muy variable, la profundidad efectiva del suelo llega a unos 100 cm, con más del 90% de las raíces entre los 20 - 100 cm de profundidad, ya que las tierras en la terraza se labran mecánicamente a una profundidad de 15 - 20 cm (figura 12). La distribución de raíces se evaluó con el método de la trinchera (Pla, 1996; Fonseca, 2006). El suelo es también muy pedregoso con un 70 % en peso de piedras. Algunas propiedades de los suelos en ambas condiciones aparecen en la tabla 2.

TABLA 2. Algunas características y propiedades de los suelos en *coster* y en *banca* (elaboración propia)

	Prof. cm	pH (agua)	MO %	Fracción < 2mm					V Inf. mm/hora	A.A. mm
				>2mm %masa	<2mm %	Arena %	Limo %	Arcilla %		
Coster	0-20	6,2	1,4	80	20	72	19	9		
	20-40	6,6	0,9	71	29	69	19	12	2800	90
	40-64	7,3	0,8	77	23	57	29	14		
Banca	0-28	7,6	0,6	70	30	66	22	12		
	28-70	8,0	0,8	71	29	61	25	14	836	120
	70-90	8,2	0,2	80	20	70	18	12		

(V Inf.: Velocidad de infiltración; A.A.: Capacidad de retención de agua aprovechable)



FIGURA 13. Algunas determinaciones de propiedades físicas e hidrológicas de los suelos a nivel de campo. Fuente: autores.

En diferentes puntos de cada uno de los campos se evaluaron y se hizo un monitoreo continuo durante tres años de las propiedades y procesos hidrológicos bajo condiciones de campo. A partir de los resultados de mediciones directas de propiedades hidrológicas del suelo y de las condiciones climáticas y del cultivo, utilizando el modelo SOMORE (Pla, 1997; 1998; 2002), se dedujo el régimen de humedad del suelo bajo ambas condiciones de manejo (Fonseca, 2006). Para determinar las propiedades hidrológicas, especialmente a nivel de campo, hubo que adaptar y modificar metodologías por las muy particulares condiciones de suelos y tierras en la región de la DOQ Priorat. (figura 13). Los resultados se validaron con los obtenidos en el continuo monitoreo a nivel de campo. Con dicha información, y utilizando el modelo SOMORE (figura 14) se dedujeron los posibles balances hídricos y regimenes de humedad de los suelos bajo diferentes y cambiantes condiciones de lluvias, suelos y prácticas de manejo y conservación de tierras, tanto en *costers* como en *bancales*.

Se ha observado que en el *coster* tradicional sin labranza, con menor profundidad efectiva del suelo y crecimiento más superficial de las raíces, la suplencia de agua a las plantas de vid suele ser menor y más irregular que en el *banca*, lo que se traduce en producciones menores y más erráticas de uvas y de vino. En los *bancales* la variabilidad de los suelos es muy grande, en parte como resultado de las labores de excavación y relleno durante su construcción. La capacidad de retención de agua es mayor que en el *coster*, lo que unido a la introducción de nuevas variedades y a mayores densidades de plantación en hileras emparradas con troncos más altos, conduce generalmente a mayores y menos variables producciones de uva en los *bancales* (5.000-6.000 kg/ha) que en el *coster* (1.000 – 2.000 kg/ha). Sin embargo, estas mayores producciones pueden provocar una pérdida de color y unas concentraciones menores de azúcar y fenoles en las uvas, especialmente en viñas jóvenes. Debido a los mayores requerimientos de agua de esas nuevas plantaciones en *bancales*, los riesgos de déficits de agua (sequías) en períodos críticos para el desarrollo de la vid serían generalmente mayores que en las plantaciones tradicionales en *coster* (figura 16). Para reducir los riesgos de deficiencias hídricas en esas condiciones con mayor consumo de agua, en muchas de las nuevas plantaciones en *bancales* se han instalado sistemas de riego por goteo, para ser utilizados solamente en periodos críticos, en cualquier caso antes del invierno, cuando la disponibilidad de agua del suelo no sea suficiente para garantizar una mínima producción, siempre que con ello

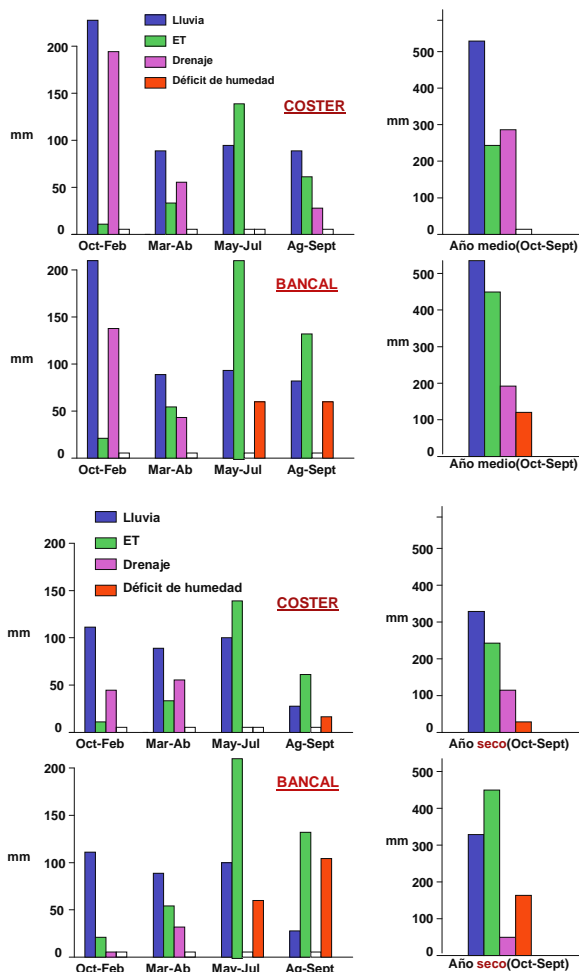
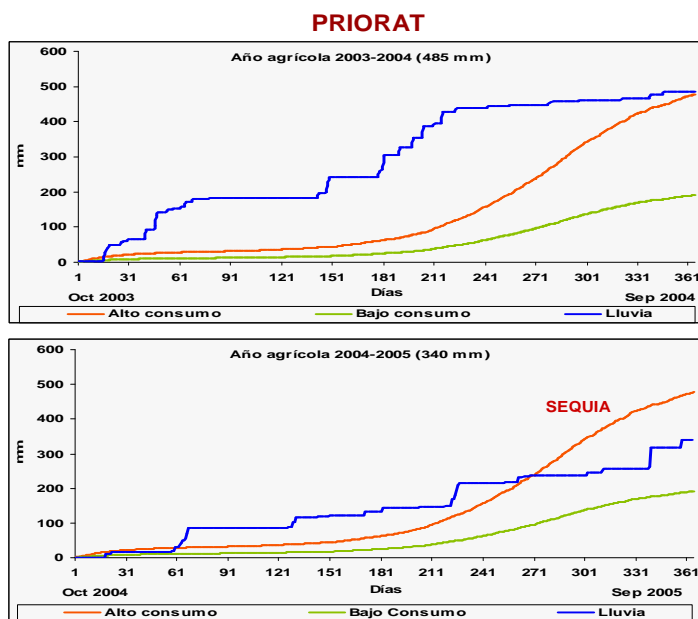


FIGURA 15. Balance de humedad en suelos en *coster* y en *banca* en el Priorat geológico en un año agrícola (ciclo de desarrollo de la vid) con lluvia promedio (periodo de retorno: 2 años) y en un seco (PR: 5 años) y durante los periodos de desarrollo de la vid en esos mismos años. Fuente: autores.



Bajo consumo: Viñas baja densidad (variedades locales) COSTER
Alto consumo: Viñas alta densidad (nuevas variedades) BANCAL

FIGURA 16. Distribución de las lluvias y requerimientos de agua de la vid en *coster* (con variedades locales y menor densidad de plantación) y en *banca* (con variedades importadas y mayores densidades de plantación) en un año agrícola con lluvia promedio (2003-2004) y en un año agrícola más seco (2004-2005). Fuente: autores.

no se afecte la calidad de la cosecha. Sin embargo, las fuentes de agua de riego son reducidas y se basan principalmente en el agua que drena sub-superficialmente en las tierras en pendiente, cultivadas o no, en los periodos lluviosos cuando el agua de lluvia que infiltra supera la capacidad de retención del agua en el suelo. Esta agua se colecta y a veces se almacena en las partes más bajas de los campos de cultivo o de las microcuencas. Dichas fuentes de agua serán más limitadas precisamente en los años secos cuando se requerirían más los riegos de apoyo, por lo que se hace indispensable almacenar agua para esos riegos en los años donde se generen más flujos de agua por drenaje sub-superficial (Pla, 2010).

Los resultados de balances hídricos y las pruebas con lluvias simuladas en el campo, nos han llevado a la conclusión de que la mayor retención de agua de lluvia en los *bancales*, junto con la menor estabilidad de las tierras de relleno no consolidado cerca de los taludes, puede conducir a deslizamientos de tierra de diferente magnitud, cuando partiendo de un suelo ya húmedo cerca de capacidad de campo, se acumulen lluvias durante uno o varios días consecutivos que superen los 100 mm o más, lo cual

en la región del Priorat geológico puede suceder con un periodo de retorno de alrededor de diez años (Abreu, 2005). Las previsiones para el control de esos deslizamientos de tierra en el tipo de *bancales* nuevos predominantes en la región, requeriría de costosos sistemas de drenaje, similares a los que se utilizan para controlar deslizamientos en los taludes de carreteras, lo que llevaría a incrementar aún más el alto costo, difícilmente justificable o recuperable, del abancalamiento de las tierras con viña en el Priorat geológico.

Las simulaciones de balances hídricos (figura 17), indican que el uso de cultivos o vegetación natural de cobertura en las tierras con viña del Priorat geológico no se justificaría en ningún caso, porque las altas velocidades de infiltración en los suelos de *licorella* no permiten ninguna

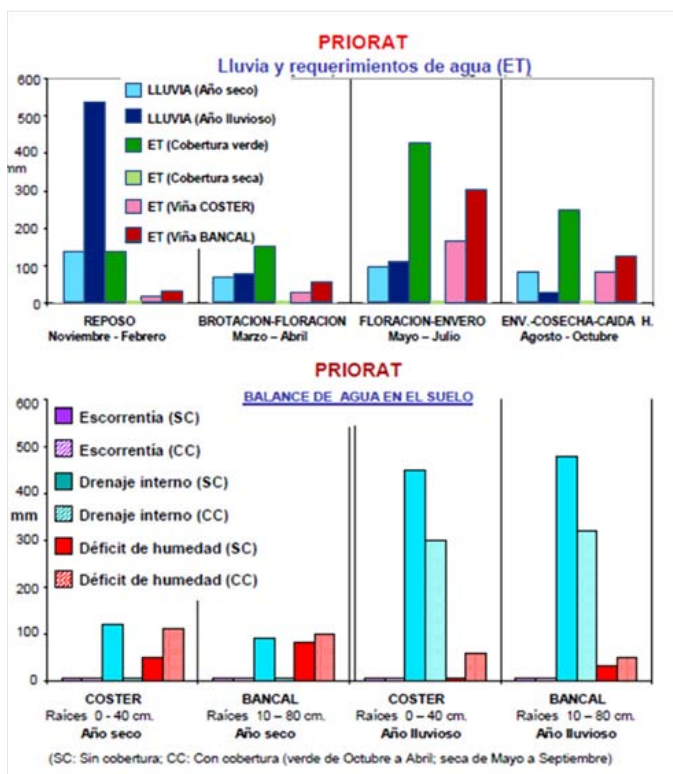


FIGURA 17. Lluvia, requerimientos de agua (ET) y balance de agua en el suelo en *coster* y *banca*l en un año seco y en uno lluvioso, con y sin cobertura verde o muerta. Fuente: autores.

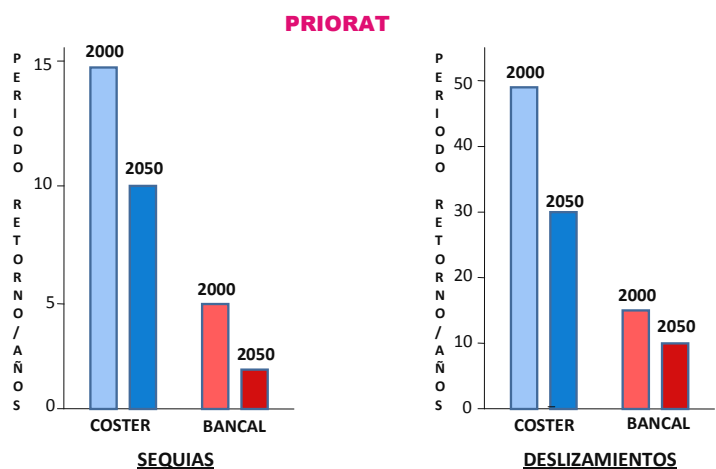


FIGURA 18. Probabilidades (periodos de retorno) de que se produzcan sequías y deslizamientos de tierra en *coster* y *banca*l del Priorat con viña de secano y los efectos potenciales de los cambios climáticos previstos del año 2000 al año 2050. Fuente: autores.

pérdida de agua por escorrentía superficial, ni siquiera en las lluvias más intensas que se podrían esperar en la región. En años más secos dichas coberturas incrementarían los riesgos de déficits hídricos para la vid.

Las principales conclusiones son que los riesgos de sequía y deslizamientos de tierra bajo los cambios climáticos actuales y previstos para el futuro se incrementarían con muchos de los nuevos sistemas de cultivo de la viña en *bancales* utilizados en la zona con DOQ Priorat (figura 18) (Pla, 2008). Adicionalmente, bajo dichos sistemas, con mayor potencial productivo pero con mayor requerimiento y consumo de agua, se reducirían aún más las fuentes de agua actualmente disponible para riegos de apoyo en años secos. Se plantea la necesidad de que en el futuro, en lugar de la muy costosa construcción de *bancales*, con las características pre-



FIGURA 19. Nueva plantación con un sistema menos agresivo que los *bancales* y más próximo al de *coster*. Fuente: autores.

dominantes hasta hoy en día, las transformaciones de las tierras para nuevas plantaciones de viña se ajusten lo más posible a los sistemas tradicionales de *coster*, para garantizar la sostenibilidad, tanto en calidad como en cantidad, de la producción de vino en el Priorat, y para prevenir deslizamientos catastróficos de las tierras, en especial a la vista de los cambios climáticos previstos para el futuro en el área Mediterránea. Ya algunas de las recientes plantaciones nuevas y transformaciones en la recuperación de viñas viejas van en esa dirección (figura 19).

2.2.5. Referencias bibliográficas

- ABREU, X. 2005. Evaluación del efecto de las propiedades hidrológicas y sistema de manejo sobre la susceptibilidad a erosión superficial y en masa en suelos pedregosos con viña del Priorat (Catalunya, España). Tesis Dr. Universitat de Lleida, Lleida, España
- FONSECA, F. 2006. Balance Hídrico en Suelos Pedregosos con Viña de Secano en el Priorat (Catalunya). Efectos por Cambio de Manejo y Clima. Tesis Dr. Universitat de Lleida (España).
- JACKSON, D.I. Y LOMBARD, P.B. 1993. Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality - a review. *Am J Enol Vitic* 44: 409-430
- NADAL, M. R. 2002. Els Vins del Priorat. 109p. Cossetania Ed. Barcelona (España)
- PLA, I. 1996. Propiedades físicas del suelo: Relaciones con la productividad y procesos de degradación. Métodos de evaluación y modelaje. En (R. López y F. Delgado, ED.) Suelos con limitaciones físicas. 19-51. CIDIAT. Mérida (Venezuela)
- PLA, I. 1997. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. En: Soil Erosion Processes on Steep Lands. Special Issue of Soil Technology. (I. Pla, ed).11(1):17-30. Elsevier. Amsterdam (Holanda)
- PLA, I. 1998. Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. En: A. Rodríguez y col (ed.) The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures. p. 385-412. Geoforma Ed. Logroño (España)

- PLA, I. 2002. Hydrological approach to soil and water conservation. En: Man and Soil at the Third Millenium. (J.L. Rubio y col, ed.). I: 65-87. Geoforma Ed. Logroño (España).
- PLA, I. 2006. Hydrological effects of land use changes under Mediterranean climate conditions. En: Soil and Water Conservation under Changing Land Use (J. Martínez y col. Ed). 21-31. Lleida (España)
- PLA, I. 2008. Desertification under climate change and changing land use in Mediterranean environments. En: Combating Desertification: Assessment, Adaptation and Mitigation Strategies.(D. Gabriels y col.Eds). 30-40. International Centre for Eremology. University. Ghent (Bélgica).. ISBN: 978-90-5989-271-2
- PLA, I. 2010. Sustainable Water Management under Climate Change. En: Advances in GeoEcology 41, Global Change-Challenges for Soil Management . M. Zlatic (Ed.).22-41. Catena Verlag GMBH. Reiskirchen (Alemania)
- PLA, I. y S. NACCI. 2003. Tradicional compared to new systems for land management in vineyards of Catalonia (Spain). En: Techniques Traditionnelles de GCES en Milieu Méditerranien. (E. Roose y col. Ed.). Bulletin Reseau Erosion 21:213-223. Montpellier (Francia)
- PLA, I., RAMOS, M.C., NACCI, S., FONSECA, F. y ABREU, X., 2005. Soil-moisture regime in vineyards of Catalunya (Spain) as influenced by climate, soil and land management. p. 41-49. En J. Benitez, y F Pisante (ed.). Integrated Soil and Water Management for Orchard Development. Land and Water Bulletin 10. FAO. Rome. (Italia)
- PLA, I., MARTÍNEZ,J.A., RAMOS, M.C., Y BALASCH, J.C. 2006. Fieldtrip Guide. Field trip to the Priorat. International ESSC Conference on "Soil and Water Conservation under Changing Land Use". 27p. Ed. Universitat de Lleida. Lleida (España)

2.3. Suelos sobre loess en el valle inferior del río Ebro

J. Carles Balasch¹, Andreu Abellà¹, Carmen Herrero², Xavier Castelltort, Rosa M. Poch¹, Àngela D. Bosch¹ y Jaume Boixadera²

(1) Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida. Campus ETSEA. 25198 Lleida.
(2) Servei de Producció Agrícola, DAAM, Generalitat de Catalunya, Lleida. Campus ETSEA. 25198 Lleida.

Resumen

Al realizar el Mapa de Suelos (1:25.000) de Catalunya en la zona del Baix Ebre han aparecido reiteradamente unos materiales con características claramente diferenciadas de los subyacentes cuyo aspecto corresponde a la descripción de los loess eólicos. Ello ha llevado a un primer intento de situar dichos materiales en un contexto geológico más amplio del que se hace un esbozo en este trabajo.

La disposición espacial de los depósitos, las características texturales relativamente gruesas en el contexto del loess, la composición carbonatada de estas formaciones superficiales, así como su modernidad, apuntarían a una procedencia relativamente próxima del material (menor de 100 km), relacionada posiblemente con el margen derecho del valle del Ebro, entre la llanura aluvial principal y los valles de los ríos Algars y Matarranya. Estos sedimentos finos habrían sido trasladados como nubes de polvo por un conjunto de vientos muy parecido al del viento que fluye actualmente por el valle del Ebro (Cierzo), en unas condiciones de aridez superiores a las actuales y atrapados por unas estructuras topográficas dispuestas transversalmente con la ayuda de vegetación esteparia.

En este capítulo se presentan varios perfiles edáficos descritos sobre estos depósitos, fruto de diferentes trabajos del Mapa de Suelos (1:25.000) de Catalunya. Los suelos estudiados (Calcixerepts típicos, SSS 2006) son muy profundos, no pedregosos y de textura medias a moderadamente gruesas con acumulaciones secundarias de carbonatos.

2.3.1. Introducción

El término *loess* (que procede del germano *löss*) fue aplicado por von Leonhard en 1823 para describir unos depósitos de limos friables encontrados en el valle del Rhin, cerca de la localidad de Heidelberg (Alemania) y luego fue difundido más ampliamente por el geólogo Lyell (1834-1846) durante una visita a los loess del valle del Mississippi. A pesar de su precoz descripción, el origen eólico de estos materiales no fue reconocido hasta finales del siglo XIX, cuando se observó la amplia extensión de este tipo de depósitos sobre diferentes regiones del mundo como el centro de Europa, Rusia o, todavía más, en China (Pye, 1995). La procedencia de los limos se atribuyó inicialmente a áreas con sedimentos de origen glacial (tillitas), aunque actualmente se considera que en algunas regiones las áreas fuente del polvo que forma estas acumulaciones fueron zonas desérticas y por ello se les denomina loess peridesérticos (Iriondo y Kröling, 2007).

A partir de los inicios del siglo XX se diferencian unos loess primarios de origen eólico de otros materiales o loess secundarios (*loess-like*) que debían proceder de la remoción y redeposición de los primeros o bien habían sido originados por procesos no eólicos (Obruchev, 1945). Posteriormente, hacia mediados del pasado siglo se pone de manifiesto la intervención de los procesos de meteorización y edafización en la adquisición de las características propias de los depósitos de loess, en relación a las características iniciales del polvo transportado por el viento, los cuales implican una cierta antigüedad de la acumulación (Pecsi, 1990).

Smalley y Vita-Finzi (1968), en una definición simple de estos materiales, los describían como depósitos clásticos, predominantemente de partículas de cuarzo, con una clase modal de 20-50 μm de diámetro (moda de 30 μm), y que han sido transportados y depositados por el viento. Sin embargo, los loess son unas acumulaciones de mayor complejidad y reúnen una gran variación de aspectos naturales como la potencia de los depósitos, el tamaño de las partículas (con intervalos modales que varían de 8-16 μm en el Plateau de China, hasta 50-65 μm en Nebraska (USA), el color, la mineralogía, la composición geoquímica, las características geotécnicas y la morfología.

Pecsi (1990) proporciona una lista de las diez características que debe reunir un depósito para ser considerado como típicamente loésico: acumulación no coherente con predominio de la fracción de limos gruesos, no estratificado, poroso, permeable, estable en paredes verticales, fácilmente erosionable por las aguas, de débil color amarillo debido a la limonita (hidróxidos de hierro) finamente dispersa, con cuarzo como constituyente mineral primario (40-80%), contenido secundario de feldespatos, contenidos variables de minerales de la arcilla (5-20%) y carbonatos (1-20%). A pesar de ello, se han descrito depósitos de loess clásicos que no cumplen algunas de éstas características granulométricas o de composición (Pye, 1995).

La gran mayoría de los depósitos de loess muestran evidencias de algún grado de modificación por retrabajamiento sin o post-deposicional, bioturbación, meteorización y edafogénesis, pero estas modificaciones no se consideran esenciales para la calificación del depósito como loess. Se calcula que alrededor del 10 % de la superficie terrestre está cubierta por loess (Pye, 1995).

2.3.1.1. Antecedentes de estudios de loess en la península Ibérica y en la cuenca del Ebro

Los trabajos preparatorios para la excursión del INQUA de 1957 supusieron una puesta al día sobre el conocimiento de los loess y su extensión en España, aunque algunos de los autores que participaron en ella ya habían mencionado anteriormente su presencia (p. ej. Solé Sabarís). A pesar del tiempo transcurrido, los conocimientos sobre depósitos de limos eólicos en la península Ibérica, considerados como loess en la literatura geomorfológica, han progresado levemente y siguen siendo escasos e incompletos. Tan es así que en una reciente compilación cartográfica de loess a escala europea (Haase *et al.*, 2007) no aparece señalado ningún depósito de este tipo en el territorio peninsular y a ello puede haber ayudado el que se haya relacionado tradicionalmente estos depósitos con la actividad glacial cuaternaria (Pye, 1995) y por ello se les excluya de estas latitudes.

No obstante, algunos autores han destacado la presencia de loess en Andalucía (Brunnacker, 1969, Günster *et al.*, 2001), en la zona de Levante (Dumas, 1979) y también se han descrito extensas acumulaciones en el valle medio del río Tajo (García *et al.*, 2010) y en la rama castellana del Sistema Ibérico y de la Submeseta Sur (González *et al.*, 2000). En la zona catalana hasta el momento se conocían algunas descripciones de limos probablemente eólicos en la zona de Manresa (IGME, 1956, IGME, 1982) y Girona (Mücher *et al.*, 1990) y hay diversas citas de trabajos sobre los suelos desarrollados encima de ellos (Bech y Solé, 1977; Maldonado *et al.*, 1979; Gallart, 1981; Josa, 1985; Solé *et al.*, 1988; Boixadera y Poch, 2008).

Por lo que respecta al NE español, en el marco de la cuenca del Ebro, diversos autores (Torras y Riba, 1968; Fink, 1969; Faraco, 1975; Mensúa y Ibáñez, 1977; van Zuidam, 1980; Gutiérrez *et al.*, 2002) han mencionado formas y depósitos de limos, a los que han atribuido, en algunos casos o en parte, un claro origen eólico.

Sin embargo, sobre lo que en algunos estudios de la cuenca del Ebro se ha denominado limos yesíferos, investigaciones recientes han puesto en evidencia que su génesis no está

relacionada con procesos eólicos sino morfoedáficos (Herrero 1991; Herrero *et al.*, 1992; Artieda, 1996).

Desde un punto de vista edafológico y con la finalidad de transformación en regadío, los suelos de la zona del curso inferior del Ebro han sido cartografiados desde hace más de dos décadas (DARP, 1987; Danés *et al.*, 1991; Margarit y Monner, 1996), lo cual se encuentra reflejado en el Mapa de Suelos (1:25.000) de Catalunya (DAR, 2010). Durante la ejecución de dichas cartografías se identificaron unos suelos sobre materiales limosos y arenosos muy extendidos que no encajaban con las descripciones existentes de los depósitos cuaternarios característicos de la zona y que difícilmente podían ser explicados por procesos fluviales, aluviales, coluviales o gravitacionales. Dichos depósitos corresponden en su morfología a loess o *loess-like*. El interés por conocer adecuadamente estos depósitos e incidir en su interpretación paleogeográfica, paleoambiental y edáfica ha generado el marco de la investigación de la que se presentan aquí algunos resultados. También conviene destacar la importancia que estos depósitos y procesos tienen para una mejor comprensión de la génesis de suelos (Yaalon y Ganor, 1973).

2.3.2. Situación y extensión de las formaciones superficiales de limos y arenas en el curso bajo del Ebro

Las formaciones superficiales de arenas y limos loésicos se disponen ocupando las plataformas y vertientes que bordean el curso inferior del río Ebro, en el tramo que discurre entre Riba-roja y Miravet. Es en este sector cuando el río abandona la depresión y cruza, en un tortuoso camino, las estructuras del Sistema Mediterráneo Catalán o Cadena Costera Catalana alineadas NE-SW, en su camino para salir al Mediterráneo, atravesando las comarcas de la Ribera d'Ebre, el Baix Ebre y la Terra Alta (figura 1).

Los depósitos se disponen recubriendo las laderas y fondos de dos grandes áreas separadas por los relieves de la Cordillera Prelitoral Catalana (Sierras de Pàndols, Cavalls y Lo Tormo).

Al NW de las estructuras prelitorales plegadas se encuentran las acumulaciones dispersas entre Riba-roja y Vinebre, sobre materiales oligocenos del borde de la cuenca del Ebro. Este conjunto englobaría también las formaciones detríticas que hacia el W recubren el valle del río Sec entre Gandesa y les Camposines y las cabeceras de la red de valles afluentes meridionales del tramo final del río Matarranya (Algars y Vall Major). De la misma manera, al N de las alineaciones de la Cordillera Prelitoral y en la margen izquierda del Ebro, se aprecian los limos y arenas recubriendo los valles que descienden desde las plataformas del borde de la Depresión del Ebro (Almatret, Llardecans) hacia el propio río; son los valles de Sant Joan, río de la Cana, Palma d'Ebre y la Torre de l'Espanyol.

El segundo gran conjunto de formaciones superficiales se sitúa al SE de las estribaciones prelitorales y presenta las acumulaciones de mayor desarrollo y extensión, las cuales recubren el amplio valle del Ebro entre Garcia y Miravet. En este caso, los limos recubren los depósitos oligocenos y cuaternarios de la cubeta neógena de Móra d'Ebre (Depresión Prelitoral Catalana) y los apéndices de las depresiones de Burbar (Riera del Comte) y de Pinell de Brai.

Al E del Ebro y en plena cubeta de Móra, unas plataformas orientadas W-E, modeladas sobre los restos de abanicos aluviales oligocenos que descienden desde las elevaciones de la Cordillera Litoral (Sierras de Llaberia-Tivissa-Cardó) hasta Móra la Nova, muestran los afloramientos más extensos y continuos. Se encontrarían en el polígono formado por las poblaciones de Masroig- els Guiamets-Tivissa-Móra la Nova. En este entorno, las formaciones loésicas muestran una mayor potencia sobre las plataformas y pierden grosor o incluso desaparecen sobre las vertientes limadas por la erosión. En los fondos de los valles que se

encajan entre las plataformas las acumulaciones son complejas y están alimentadas por los materiales erosionados en las laderas y plataformas (*loess like*).

Las formaciones loésicas analizadas se disponen entre los 20 y los 500 m de altitud.

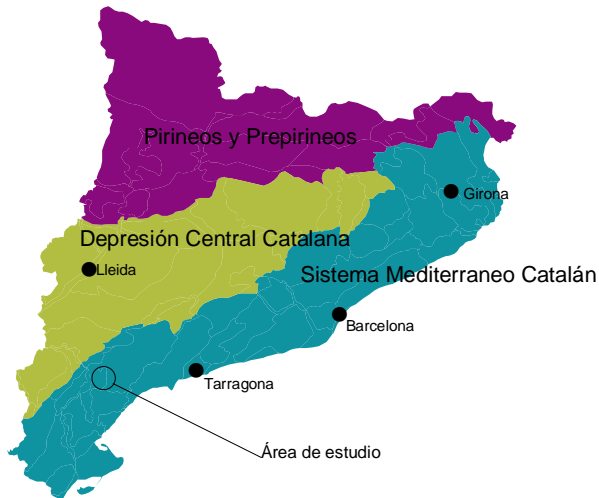
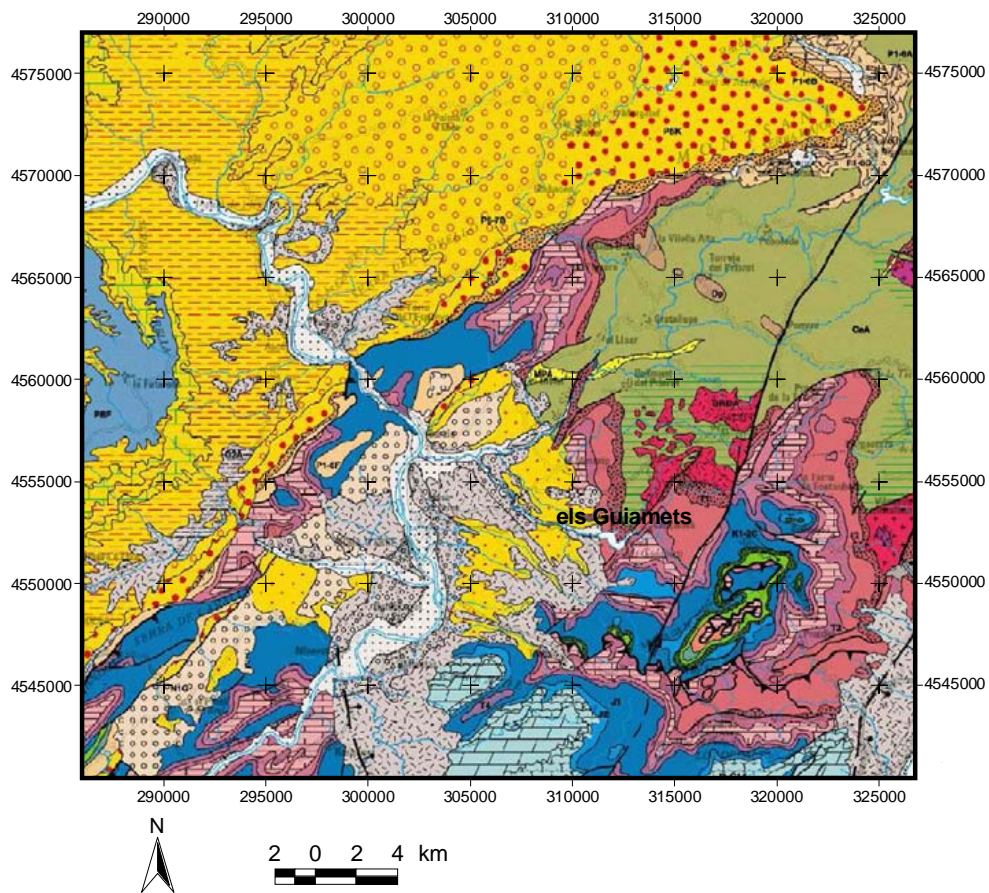


FIGURA 1.

a) Mapa de situación de la zona estudiada en relación a las principales unidades morfoestructurales del NE español

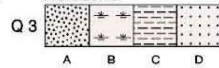


Itinerarios edáficos por Cataluña: el Priorato, la Cerdaña y el Penedés

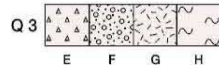
CENOZOICO

Cuaternario

Holoceno



A) Arena (playas y dunas). B) Lutitas con materia orgánica y turba (humedales rellenos, canales abandonados). C) Limos y arenas (levées). D) Gravas, arenas y limos (llanura aluvial, deltaica)



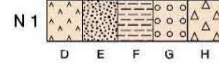
E) Limos y cantos rodados (coluviones, depósitos fluvio-glaciares). F) Cantos rodados y limos (fondos de valles). G) Gravas, arenas y lutitas (Conos de deyecciones). H) Lutitas, arenas y gravas dispersas (glacis)



D) Gravas (terrazas y glacis). E) Arcillas y cantos rodados (coluviones). F) Conglomerados, arenas y lutitas (conos de deyecciones). G) Bloques y arcillas (tillita, morrenas)

Neógeno

Mioceno inferior



D) Yesos (Vilobí del Penedés). E) Arcosas y conglomerados (Vallès). F) Lutitas, arenas y conglomerados (Castellbisbal). G) Conglomerados, arenas y lutitas; localmente calizas lacustres (la Sénia, la Jana, Móra). H) Brechas, conglomerados y arenas (Camp de Tarragona, Penedés, Rosselló).

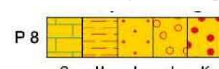
Paleógeno

Oligoceno



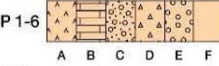
F) Calizas (Tàrraga, Castellans)

Eoceno superior - Oligoceno



G) Lutitas, areniscas, margas y calizas localmente dolomías y yesos (la Fatarella, la Granja d'Escarp, Sanatja, Torà), y localmente lignitos (Calaf, Mequinzenza). H) Lutitas rojas, areniscas y calizas (Batea, Granera, Artés, Flix). I) Areniscas y lutitas (Fraga, Solsona, l'Albóges, Móra). J) Conglomerados, arenas y lutitas (Solsona, Margalef). K) Conglomerados masivos (Sant Llorenç de Morunys, Comiols, Collegats, Sant Jeroni, Montsant).

Eoceno

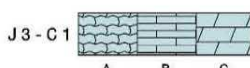


Cuisiense - Luteciense
A) Yesos (Vallderes). B) Calizas (Bosc d'en Borràs, la Morera, Santa Cándia, Fontanelles y Prat de Comte). C) Areniscas, lutitas rojas y conglomerados (la Pobla de Claramunt, la Salut, Cornudella). D) Lutitas rojas, brechas y conglomerados (Carme, el Cairat, Vilanova de Sau). E) Lutitas y areniscas (la Portella) y conglomerados y areniscas rojas (Romagosa). F) Grupo Pontils no diferenciados, localmente incluye la Fm. Mediona.

MESOZOICO

Cretácico

Jurásico - cretácico inferior



Malm - Neocomino
A) Calizas con esponjas (látova). B) Calizas laminadas y margas con intercalaciones dolomíticas (la Pleta). C) Dolomías y calizas.

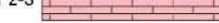
Retiense- Lias



Brechas, dolomías, calizas, margas y calcarenitas, localmente evaporitas en la base.

Triásico

Ladiniense



Dolomías, calizas y margas (Facies Muschelkalk superior)

Anisiense superior - Ladiniense inferior



Lutitas rojas con niveles de yesos, intercalaciones locales de doleritas, paleocanales y dolomías en el techo (Facies Muschelkalk medio)

Anisiense



Dolomías, calizas (Facies Muschelkalk inferior)

Escitiense

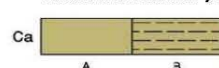


Conglomerados de cuarzo, areniscas y lutitas rojas (Facies Buntsandstein)

PALEOZOICO

Carbonífero

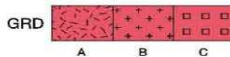
Carbonífero inferior y medio



Tournaisiense - Westfaliense inferior
A) Lutitas con nódulos de fosfatos y calizas. Turbiditas, areniscas, pelitas y conglomerados poligénicos (Facies Culm, Belver de Cerdanya). B) Microconglomerados, calcocillitas, pelitas y carbonatos (Pla dels Estany).

ROCAS PLUTÓNICAS E HIPOABISALES

Rocas intrusivas Tardo-Hercinianas "Macizos superiores"



A) Granodioritas biotíticas. B) Granodioritas biotico-hornbléndicas. C) Granodioritas biotíticas con ortopiroxeno.

b) Mapa geológico de la zona en que afloran los recubrimientos de loess en el curso inferior del río Ebro. En él destacan los depósitos de la Depresión Central Catalana al NW y del Sistema Mediterráneo Catalan en el centro y SE. En color amarillo, en el centro, destaca la depresión de Móra d'Ebre donde se encuentra el perfil dels Guiamets. Extracto del Mapa Geológico de Catalunya 1:250.000. Servei Geològic de Catalunya-Institut Cartogràfic de Catalunya, 2006.

2.3.3. Metodologías empleadas

Para caracterizar la composición granulométrica de las formaciones superficiales arenosas y limosas (loess) se han tomado 3 muestras en cortes abiertos y saneados de diferentes localidades del área estudiada, concretamente sobre las plataformas dels Guiamets y Tivissa y en el fondo de valle del río Sec, cerca de Corbera (figura 2).

En el afloramiento de referencia dels Guiamets (SECS11-GUI1) se ha procedido a obtener un perfil granulométrico detallado en profundidad (una muestra cada 20 cm) de toda la formación superficial loésica, que cuenta en dicho punto con algo más de 4 m de espesor (tabla 1). En dicha descripción se ha determinado en paralelo para las mismas profundidades el pH 1:2,5 (en H₂O), la conductividad eléctrica 1:5 a 25°C, la materia orgánica y el carbonato cálcico equivalente (tabla 2).

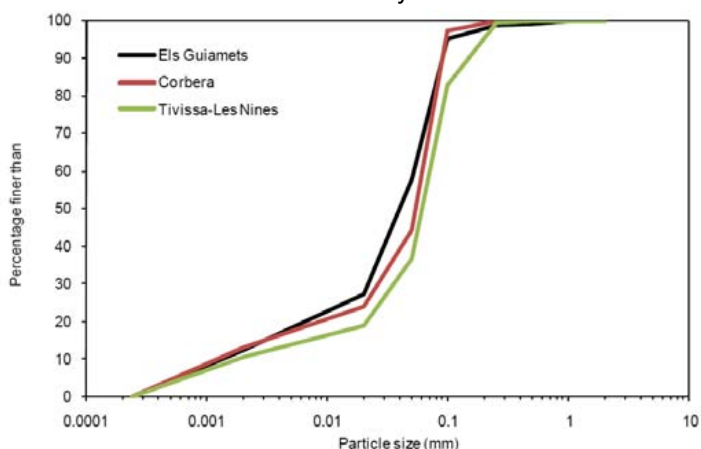


FIGURA 2. Distribución granulométrica de los depósitos analizados en el Coll de les Obagues dels Guiamets, Corbera y Tivissa que presentan patrones muy similares. Las gráficas acumuladas reflejan el bajo porcentaje de los tamaños extremos (arcillas y arenas gruesas) y el predominio de las arenas finas y los limos, demostrando una buena selección por el agente de transporte.

La descripción de perfiles de los suelos característicos sobre los loess de la zona se ha realizado en els Guiamets (SECS11-GUI1) y Garcia (C-22 y C-54).

Los análisis físico-químicos se han realizado según los métodos oficiales (MAPA, 1994). En cada una de las calicatas se han tomado muestras representativas y se ha determinado la granulometría del material y los contenidos de carbonatos, la materia orgánica y la presencia o ausencia de sulfatos y cloruros. El análisis granulométrico cuantitativo (en % peso) se ha realizado utilizando tamices de separación de diámetros USDA estándar para las arenas y limos gruesos y con el método de la pipeta para las fracciones más finas (limos finos y arcillas). La separación entre las fracciones limo y arena se ha establecido en 50 μ m. El contenido de carbonatos se ha determinado por el método del calcímetro de Bernard, por reacción con ácido clorhídrico al 50%. La determinación cualitativa de sulfatos se ha obtenido por precipitación con una solución de cloruro de bario al 10% y la de cloruros por la aparición de un precipitado blanco con nitrato de plata al 5%.

Asimismo, se presenta la descripción micromorfológica de dichos suelos siguiendo la terminología de Stoops (2003). El análisis se ha complementado además con el estudio de la morfoscopia de las arenas procedentes de muestras de loess de la zona estudiadas con lupa binocular y con el microscopio electrónico de barrido (SEM).

2.3.4. Descripción de las formaciones

Se trata de niveles muy homogéneos de limos y arenas muy finas de color ocre claro que son llamados localmente *panal*, porque los taludes de los afloramientos presentan muchos orificios de insectos voladores que dan la apariencia de los nidos de avispas.

En el conjunto de los afloramientos no se observan ningún tipo de estructuras sedimentarias o deposicionales. No contienen restos de fauna, ni ningún tipo de actividad

salvo la presencia de túneles excavados. Se han encontrado de forma excepcional restos de caracoles, aunque podrían corresponder a una contaminación lateral.

Los materiales son muy porosos y con baja cohesión, salvo algunos casos en que la removilización de los carbonatos ha cementado ligeramente los granos.

Desde el punto de vista de su posición geomorfológica en el relieve, recubren gran parte de las superficies (plataformas terciarias, terrazas cuaternarias, laderas y fondos de valle), con espesores que oscilan entre unos decímetros y 5 m, pero que pueden alcanzar los 15 m, como ocurre al pie de la sierra de Tivissa.

La fracción granulométrica modal (que contiene de forma aproximada el 45% del peso) es la de las arenas muy finas (50-100 μm), seguida (con un 20-30%) por los limos gruesos (2-50 μm), limos finos (15%) y finalmente las arcillas (12%), guardando todos los afloramientos examinados una granulometría muy similar (figura 3). Contienen valores muy elevados de carbonato cálcico (32-46% en peso). La materia orgánica es poco importante (con variaciones entre el 0,14-1,84%) y disminuye gradualmente en profundidad.

Estos materiales, por sus características granulométricas más gruesas que las de los loess clásicos, corresponderían a lo que algunos autores han denominado 'loess arenosos' (Coudé-Gaussen, 1987 y 1990).

Se advierte la presencia de sulfatos en muestras del área NW, es decir en la zona relacionada directamente con la de-presión del Ebro, en áreas próximas a afloramientos de yesos terciarios; su origen en los depósitos provendría de dichos afloramientos. Las muestras procedentes de la cubeta de Móra, en el área SE, no presentan sulfatos.

En la mayoría de perfiles se ha detectado, de forma cualitativa, la presencia de cloruros pero éstos no muestran, aparentemente, un patrón de distribución espacial.

Los loess se encuentran discordantemente sobre los sedimentos clásticos oligocenos que rellenan la cubeta de Móra, pero en algunos puntos se observa en la base de la formación, como en el Coll de les Obagues dels Guiamets, un nivel de un metro aproximado de grosor, altamente edafizado que muestra un caliche acintado (horizonte petrocálcico), el cual está fragmentado en la parte superior. Debe corresponder a una acumulación precedente sobre la

que se desarrolló un suelo durante una fase de estabilidad sedimentaria.

Muchos de los perfiles estudiados presentan una edafización que consiste en la presencia de pseudomicelios, nódulos, rizoconcreciones y *loess dolls* (inceptisoles). En otros casos la edafización es mucho más incipiente (entisoles).

La edad de los depósitos loésicos de esta zona no ha sido determinada directamente con métodos de datación absoluta. Sin embargo, se ha podido reconocer que en Flix fosilizan la segunda terraza del Ebro (considerada Pleistoceno final-Holoceno basal)



FIGURA 3. Talud junto a la carretera de Flix a Bovera (C-233), en las cercanías de Flix. El corte tiene unos 10 m de altura y en la parte superior de la imagen se aprecian limos de color ocre de aspecto masivo, que recubren unos niveles de arenas con estructuras de corriente (estratificación cruzada y paralela) las cuales forman la parte superior de la segunda terraza fluvial del río Ebro. Bajo las arenas aflora un nivel de cantos y gravas de unos 2-3 m de espesor. Fotografía: J.C. Balasch.

y las superiores, y no se encuentran sobre la primera terraza (Holoceno), con lo que se podría concluir que, una parte de ellos, pertenecen a la primera parte del Holoceno (figura 3). Sin embargo, puede haberse producido más de un ciclo de-posicional como parecen indicar los diversos grados de edafización que muestran estos materiales.

2.3.5. Relación de los depósitos con la disposición de los relieves

Aparentemente, la potencia de las acumulaciones se distribuye acorde con la presencia de obstáculos orográficos transversales en el camino de los vientos regionales predominantes del W y NW. Así, se pueden diferenciar tres áreas deposicionales diferentes en función de su situación, proximidad y relación con las unidades morfoestructurales:

- a) en el margen meridional de la Depresión del Ebro y al Oeste del río del mismo nombre se observan limos y arenas rellenando el fondo de los valles alineados N-S y abiertos a barlovento (valle del río Algars y de Batea), con acumulaciones potentes de más de 4 a 6 m. Al Este del Ebro, en la zona Riba-roja-Vinebre las acumulaciones son de hasta 4 m y van adelgazando a medida que se alejan hacia levante (Llardecans, Bovera, Palma d'Ebre).
- b) en un estrecho surco de dirección NE-SW (perpendicular a la dirección del viento), excavado por el río Sec, justo en el límite de la Depresión del Ebro con los relieves de las sierra de Pàndols y de Cavalls, que pertenecen a la Cordillera Prelitoral Catalana, se extienden importantes depósitos de fondo de valle entre el Coll de les Camposines, Corbera y Gandesa con gruesos de entre 4 y 8 m.
- c) en la amplia Cubeta de Móra d'Ebre, continuación de la Depresión Prelitoral Catalana, se encuentran recubrimientos de limos en posiciones geomorfológicas diversas (terrazas fluviales, plataformas terciarias, laderas y fondos de valle) a altitudes de 20 a 300 m, con potencias variables en general entre 3-5 m, pero que aumentan su potencia en el sector encarado a barlovento, al pie de los relieves de las sierras de Llabería y Tivissa (Cordillera Litoral Catalana), donde los conjuntos acumulados pueden alcanzar los 12 m.

2.3.6. Perfil del Coll de les Obagues en els Guiamets

Los suelos desarrollados sobre estos depósitos son muy profundos, bien drenados, de textura media o moderadamente gruesa y con muy pocos elementos gruesos. Presentan casi siempre acumulaciones secundarias de carbonatos en forma de nódulos y revestimientos de los poros. La capacidad de retención de agua disponible es muy alta.

La secuencia típica de horizontes es Ap-Bwk. Se clasifican como Calcixerept típico (SSS, 2006) o Calcisol háplico (WRB, 2006).



FIGURA 4. Vista de la vertiente situada al norte del Coll de les Obagues (els Guiamets), donde pueden observarse los depósitos de limos (color ocre), recubriendo los materiales oligocénicos (tonos rojizos) que forman el substrato. La exposición en terrazas abancaladas permite tener una idea del grosor de la formación superficial de limos. Al fondo y a la izquierda, la sierra del Montsant cierra el horizonte. Fotografía: J.C. Balasch.

2.3.6.1. Perfil SECS11-GUI1

Información general

FECHA DESCRIPCIÓN: 18/2/11
 DESCRIPTORES: J. Llop, C. Herrero
 PARAJE: Coll de les Obagues
 MUNICIPIO: Els Guiamets

Cartografía

HOJA 1:5.000: 254-139
 SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM. ED50
 COORDENADA X: 309195
 COORDENADA Y: 4553309

Agua del suelo

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Xérico
 CLASE DE DRENAJE: Bien drenado
 NIVEL FREÁTICO (cm): Inaccesible

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Hectométrica
 FORMA DEL RELIEVE: Ladera
 MODIFICACIÓN DE LA FORMA: Abancalamientos
 DINÁMICA DE LA FORMA: Erosión hídrica
 INTENSIDAD DE LOS PROCESOS: Moderada
 TIPO DE PENDIENTE: Simple
 MORFOLOGÍA LOCAL: Perfil situado en una área rectilínea
 SITUACIÓN EN EL PERFIL: En el tercio superior de la forma
 PENDIENTE GENERAL (%): 15
 PENDIENTE LOCAL (%): 2
 ORIENTACIÓN: Norte
 LONGITUD (m): 500

Usos del suelo

VEGETACIÓN: natural eliminada
 USOS DEL SUELO: Agrícola, viña de mas de 30 años.

TECNOLOGÍA DE SUELOS: Secano

Afloramientos rocosos

ABUNDANCIA (%): Sin

Pedregosidad superficial

ABUNDANCIA (%): No pedregoso

Material original

Materiales detríticos terrígenos

Salinidad

No salino

Clasificación

Xerochrept calcixerólico (S.S.S., 1975)
 Calcixerept típico (S.S.S., 2010)
 Calcisol háplico (W.R.B., 2006)



FIGURA 6. Vista del corte del Coll de les Obagues (els Guiamets) durante las labores de saneamiento y preparación, previas a la toma de muestras para el análisis detallado del perfil sedimentológico y edáfico. Fotografía: J.C. Balasch.

Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

0-26 cm Ap

ESTADO DE HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (SECO): pardo pálido, 10YR 6/4; (HUMEDO): pardo amarillento oscuro, 10YR 5/4. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franca. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): muy pocos. ESTRUCTURA: moderada, en bloques subangulares, mediana. CONSISTENCIA: poco compacto, muy friable. MATERIA ORGÁNICA: muy poca, no directamente observable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: muy abundante, galerías, galerías rellenas y turrículas. SISTEMA RADICULAR: normal, raíces finas y muy finas ($\varnothing < 2$ mm), abundantes, verticales, de distribución regular, vivas y muertas. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): alta. LÍMITE INFERIOR: Abrupto por laboreo, plano. **EPIPEDIÓN ÓCRICO.**

26-103 cm Bwkn

ESTADO DE HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillento oscuro, 10YR 5/4. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franco-arenosa. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): no hay. ESTRUCTURA: Primaria moderada, en bloques subangulares, mediana; secundaria: débil, en formas debidas a la actividad de la fauna. CONSISTENCIA: compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: galerías rellenas, frecuentes, nidos, pocos. SISTEMA RADICULAR: normal, raíces finas y muy finas ($\varnothing < 2$ mm), pocas, verticales, de distribución regular, vivas y muertas. ACUMULACIONES: del 15-20 % en volumen, pseudomicelios de carbonatos de tamaño fino, en canales de raíces y poros, y nódulos friables distribuidas por todo el horizonte. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): alta. LÍMITE INFERIOR: Neto, plano. **ENDOPEDIÓN CÁLCICO.**

103-175 cm Bwk1

ESTADO DE HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillento oscuro, 10YR 5/4. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franca. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): no hay. ESTRUCTURA: débil, en bloques subangulares, mediana. CONSISTENCIA: muy compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: galerías y galerías rellenas, frecuentes. SISTEMA RADICULAR: normal, raíces finas ($1 < \varnothing < 2$ mm), muy pocas, verticales, de distribución regular, vivas y muertas. ACUMULACIONES: hasta el 10 % en volumen, pseudomicelios de carbonatos de tamaño fino, en canales de raíces y poros, aumentando en profundidad. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): alta. LÍMITE INFERIOR: Neto, plano. **ENDOPEDIÓN CÁLCICO.**

175-280 cm Bwk2

ESTADO DE HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillento oscuro, 10YR 5/4. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franco-limosa. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): no hay. ESTRUCTURA: primaria moderada, en bloques subangulares, gruesa; secundaria: débil, en formas debidas a la actividad de la fauna. CONSISTENCIA: muy compacto, firme. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: cavidades y galerías, frecuentes. ACUMULACIONES: del 2-5 % en volumen, pseudomicelios de carbonatos de tamaño fino, en canales de raíces y poros. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): alta.

Datos analíticos

Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	Granulometría (%)										Clase textural USDA
			Arena (\varnothing en mm)					Limo (\varnothing en mm)			Arcilla < 0,002 mm		
			2,00 1,00	1,00 0,50	0,50 0,25	0,25 0,10	0,10 0,05	Total 2,00 0,05	0,05 0,02	0,02 0,002		Total	
E14/11	Ap	0-20	0,21	0,95	0,87	6,6	43	51,63	23,9	12,7	36,6	11,8	F
E15/11	Bwkn	20-40	0,25	0,51	0,69	8	49,6	59,05	19,3	10,9	30,2	10,7	FAr
E16/11	Bwkn	40-60	0,48	1,03	0,91	10,7	45,9	59,02	19,9	10,3	30,2	10,7	FAr
E17/11	Bwkn	60-80	0	0,31	0,39	6,4	50,7	57,8	20,1	11,7	31,8	10,5	FAr
E18/11	Bwkn	80-100	0,02	0,02	0,11	4,7	50,9	55,75	24,8	9,1	33,9	10,4	FAr
E19/11	Bwk1	100-120	0	0,02	0,15	4,3	52,4	56,87	23,4	10	33,4	9,7	FAr
E20/11	Bwk1	120-140	0,01	0,13	0,32	3,5	44,9	48,86	29,1	10,5	39,6	11,6	F
E21/11	Bwk1	140-160	0	0,01	0,23	3	36,2	39,44	35,6	14,7	50,3	10,3	FL
E22/11	Bwk1	160-180	0	0,01	0,32	3,8	36,9	41,03	29,7	17,5	47,2	11,7	F
E23/11	Bwk2	180-200	0	0	0,15	3,1	27,8	31,05	39,7	17,8	57,5	11,4	FL
E24/11	Bwk2	200-220	0	0	0	4,5	36,8	41,3	30,2	15,8	46	12,7	F
E25/11	Bwk2	220-240	0,05	0,01	0,12	3,2	29,9	33,28	37,1	17,6	54,7	12	FL
E26/11	Bwk2	240-260	0,05	0,11	0,59	6,6	26	33,35	35,5	19,2	54,7	12	FL
E27/11	Bwk2	260-280	0,02	0,13	0,44	4,1	24,6	29,29	35	22,4	57,4	13,3	FL

Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5	CE1:5 (dS/m a 25°C)	Materia orgánica (%)	Carbonato cálcico eq. %
E14/11	Ap	0-20	8,7	0,11	0,86	36,9
E15/11	Bwkn	20-40	9,0	0,16	0,44	37,2
E16/11	Bwkn	40-60	8,9	0,11	0,52	36,9
E17/11	Bwkn	60-80	9,0	0,16	0,15	38,1
E18/11	Bwkn	80-100	9,0	0,12	0,42	36,9
E19/11	Bwk1	100-120	9,1	0,17	0,19	36
E20/11	Bwk1	120-140	8,8	0,15	0,43	35,8
E21/11	Bwk1	140-160	8,6	0,24	0,39	36,2
E22/11	Bwk1	160-180	8,7	0,15	0,45	34,8
E23/11	Bwk2	180-200	8,9	0,2	0,28	34,8
E24/11	Bwk2	200-220	8,5	0,46		35,5
E25/11	Bwk2	220-240	8,6	0,57		35,5
E26/11	Bwk2	240-260	8,6	0,27		35,6
E27/11	Bwk2	260-280	8,9	0,25		37,6

2.3.7. Perfil C-22 (Sector de García)

Información general

FECHA DESCRIPCIÓN: 01/11/1986

DESCRIPTORES: A. Bosch

PARAJE: Plana de García

MUNICIPIO: García

PENDIENTE GENERAL (%): 4

PENDIENTE LOCAL (%): 2

ORIENTACIÓN: Norte

LONGITUD (m): 300

Cartografía

HOJA 1:5.000: 253-139

SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM. ED50

COORDENADA X: 303946

COORDENADA Y: 4554290

Usos del suelo

VEGETACIÓN: Almendros

USOS DEL SUELO: Agrícola, bien explotado

TECNOLOGÍA DE SUELOS: Secano sin drenaje

Agua del suelo

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Xérico

CLASE DE DRENAJE: Bien drenado

NIVEL FREÁTICO (cm): Inaccesible

Afloramientos rocosos

Abundancia (%): Sin

Pedregosidad superficial

Abundancia (%): No pedregoso

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Hectométrica

FORMA DEL RELIEVE: Ladera en glacis

MODIFICACIÓN DE LA FORMA: Abancalamientos

DINÁMICA DE LA FORMA: Erosión hídrica

INTENSIDAD DE LOS PROCESOS: Fuerte

TIPO DE PENDIENTE: Compleja

MORFOLOGÍA LOCAL: Perfil situado en una área rectilínea

SITUACIÓN EN EL PERFIL: En el borde superior de la forma

Material original

Materiales detríticos terrígenos

Salinidad

No salino

Clasificación

Xerochrept calcixerólico (S.S.S., 1975)

Calcixerept típico (S.S.S., 2010)

Calcisol háplico (W.R.B., 2006)

Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

0-27 cm Ap

ESTADO DE HUMEDAD: ligeramente húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): naranja amarillo pálido, 10 YR 6/4. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franca. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): muy pocos. ESTRUCTURA: débil, en bloques subangulares, fina. CONSISTENCIA: poco compacto, muy friable. MATERIA ORGÁNICA: muy poca, no observable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: pocas, galerías rellenas. SISTEMA RADICULAR: normal, raíces de diámetro menor a 10 mm, pocas, muy finas, verticales, de distribución regular, vivas. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCI 11%): muy alta. LÍMITE INFERIOR: Abrupto por laboreo, plano. **EPIPEDIÓN ÓCRICO.**

27-51/60 cm Bw

ESTADO DE HUMEDAD: húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillento brillante, 10YR 6/6. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franca. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): muy pocos. ESTRUCTURA: Primaria moderada, en bloques subangulares, fina; secundaria moderada, en formas debidas a la actividad de la fauna. CONSISTENCIA: poco compacto y muy friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: galerías rellenas, abundantes. SISTEMA RADICULAR: normal, frecuentes raíces de diámetro menor a 10 mm, de medianas a muy finas, horizontales, de distribución regular, vivas, raíces de diámetro mayor de 10 mm pocas, horizontales, muertas. ACUMULACIONES: pocas, nódulos de carbonatos, de tamaño medio, distribuidas por todo el horizonte, ligeramente duras. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCI 11%): muy alta. LÍMITE INFERIOR: ondulado. **EPIPEDIÓN CÁMBICO**

51/60-90 cm Bkn₁

ESTADO DE HUMEDAD: húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillo brillante, 10YR 6/6. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franco-arenosa. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): muy pocos. ESTRUCTURA: Primaria débil, en bloques subangulares, mediana; secundaria: moderada, en formas debidas a la actividad de la fauna. CONSISTENCIA: compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: galerías rellenas, frecuentes, cámaras rellenas, pocas. SISTEMA RADICULAR: normal, raíces de diámetro menor a 10 mm, muy finas, verticales de distribución regular, muertas. ACUMULACIONES: frecuentes, nódulos de carbonatos de tamaño medio, distribuidas por todo en horizonte, ligeramente duras. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): muy alta. LÍMITE INFERIOR: Neto, plano. **ENDOPEDIÓN CÁLCICO**

90->140 cm Bkn₂

ESTADO DE HUMEDAD: Seco. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): naranja amarillo pálido, 10YR 7/4. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): muy pocos. ESTRUCTURA: Primaria moderada, en bloques subangulares, mediana; secundaria fuerte, en formas debidas a la actividad de la fauna. CONSISTENCIA: Muy compacto y duro. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: galerías rellenas, frecuentes. SISTEMA RADICULAR: muy pocas raíces de diámetro menor a 10 mm, muy finas, muertas. ACUMULACIONES: abundantes, nódulos de carbonatos de tamaño medio, de tamaño medio, distribuidas por todo el horizonte y ligeramente duras. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): muy alta. **ENDOPEDIÓN CÁLCICO**

Datos analíticos								
Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5	CE1:5 (dS/m a 25°C)	Materia orgánica (%)	Carbonato cálcico eq. %	Caliza activa	
C-22/1	Ap	00-27	8,8	0,07	0,87	24,7	10,6	
C-22/2	Bw	27-51/60	8,4	0,08	-	34,2	11,0	
C-22/3	Bkn ₁	51/60-90	8,5	0,11	-	25,1	8,97	
C-22/4	Bkn ₂	90-140	8,7	0,08	-	37,0	-	
Fertilidad		Granulometría (%)						
P Olsen (mg/kg)	K AcONH ₄ (mg/kg)	Arena (ø en mm)			Limo (ø en mm)		Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA
		2,00-0,5	0,5-0,05	Total	0,05-0,002			
3	83	0,3	47,0	47,3	36,2	16,4	F	
-	-	0,3	40,5	50,0	35,2	14,9	F	
-	-	0,2	56,5	56,7	34,5	11,8	FAr	
-	-	-	-	-	-	-	-	
CIC cmol(+)/kg	Cationes de cambio (cmol(+)/kg)				Humedad gravimétrica (%) a		Densidad aparente (Kg/m ³)	
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	-33 kPa	-1500 kPa		
6,1	4,3	1,2	0,3	0,2	14,4	8,5	1420	
6,5					14,1	8,3	1400	
4,9					15,6	6,3	1550	
4,6					13,4	6,2	1580	

Micromorfología					
Lámina: D77/98 Perfil C-22, horizonte Bw, de 31-44 cm					
Microestructura y porosidad	g/f	Componentes minerales gruesos	Micromasa	Componentes orgánicos	Edaforrasgos
Bloques subangulares de 0,5 a 3 cm de diámetro, bien desarrollada. Intragregados en agregados esféricos, probablemente debidos a fauna. Porosidad 40%, poros de empaquetamiento complejo 25%, huecos planares entre agregados 10%, cavidades 5%	Límite g/f: 20 μm , relación: g/f 1/1, distribución relacionada: g/f enáulica	Arena fina a media de cuarzo angular, equidimensional, fresco	Limo fino, arcilla y micrita fábrica b cristalítica	Ausentes	(1) nódulo impregnativo, órtico, de micrita, típico, de 0,5 cm de diámetro (2) nódulos impregnativos, órticos, de micrita, típicos, tamaño arena muy gruesa. (3) hiporevestimientos impregnativos de calcita micrítica en poros

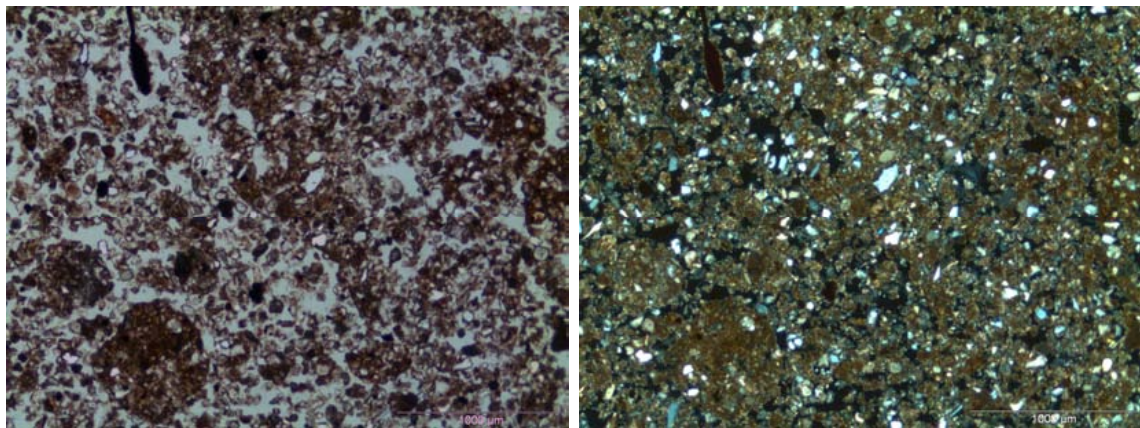


FIGURA 6. Distribución relacionada g/f enáulica (microagregados y arenas del mismo tamaño) y nódulos impregnativos de micrita.

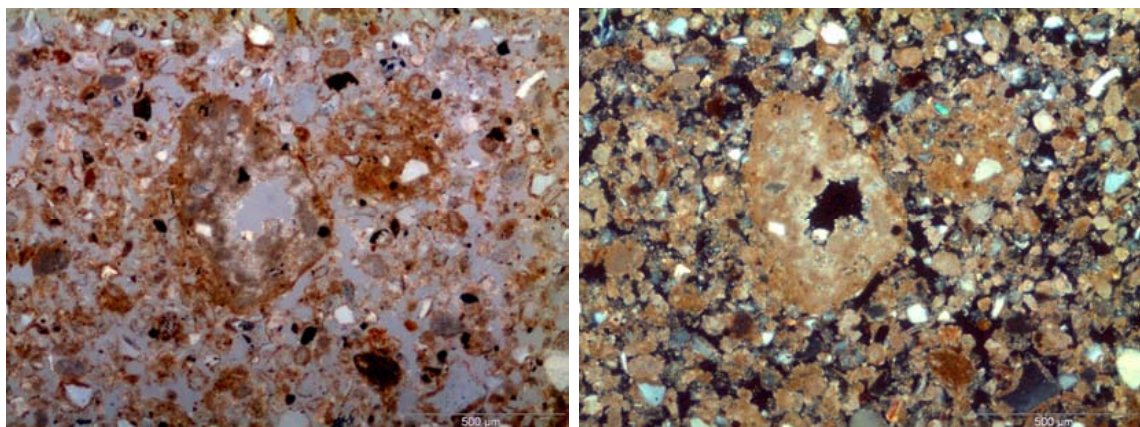


FIGURA 7. Hiporevestimientos impregnativos de micrita y detalle de la porosidad de empaquetamiento complejo debido a la distribución relacionada enáulica.

Lámina: D38/98 Perfil C-22, horizonte Bkn ₁ de 64-80 cm					
Microestructura y porosidad	g/f	Componentes minerales gruesos	Micromasa	Componentes orgánicos	Edaforrasgos
Bloques subangulares de 1 a 4 cm diámetro, moderadamente desarrollada. Porosidad 35%, poros de empaquetamiento complejo 15%, huecos planares entre agregados 10%, bioporos 10%	Límite g/f: 20 μm,, relación: g/f 1/1, distribución relacionada: g/f enáulica y porfírica de espaciado simple	Arena fina a media de cuarzo angular, equidimensional, fresco	Limo fino, arcilla y micrita		(1) nódulo impregnativo órtico de 4 cm de diámetro, modificado por la actividad de fauna (2) hiporevestimientos impregnativos de calcita micrítica en poros

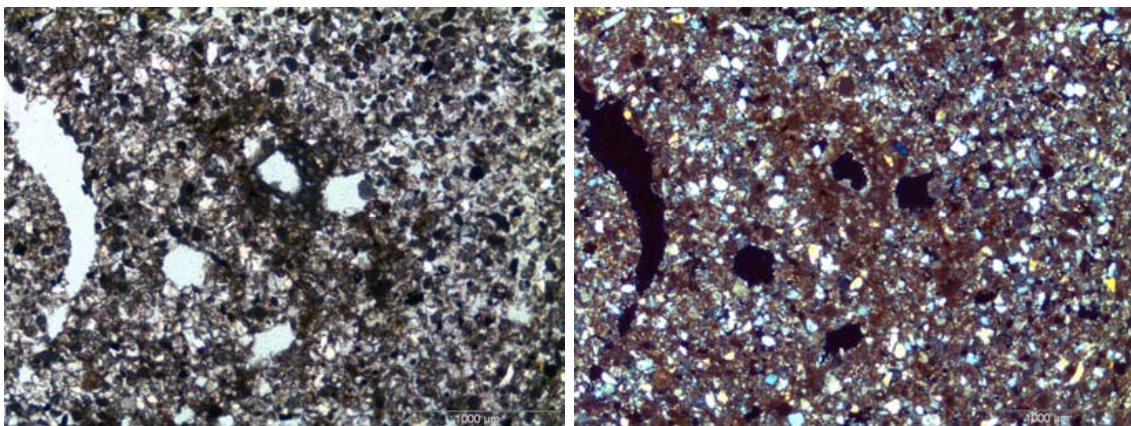


FIGURA 8. Bioporos e hiporevestimiento impregnativo de micrita.

2.3.8. Perfil C-54

Información general

FECHA DESCRIPCIÓN: 01/11/1986

DESCRIPTORES: A. Bosch

PARAJE: Tallades de García

MUNICIPIO: García

PENDIENTE GENERAL (%): 15

PENDIENTE LOCAL (%): 10

ORIENTACIÓN: Sur

LONGITUD (m): 400

Cartografía

HOJA 1:5.000: 253-139

SISTEMA DE PROYECCIÓN: UTM. ED50

COORDENADA X: 303946

COORDENADA Y: 4554290

Usos del suelo

Vegetación: Abandonado

Usos del suelo: Agrícola

Tecnología de suelos: Secano sin drenaje

Agua del suelo

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Xérico

CLASE DE DRENAJE: Bien drenado

NIVEL FREÁTICO (cm): Inaccesible

Afloramientos rocosos

Abundancia (%): Sin afloramientos

Pedregosidad superficial

Abundancia (%): No pedregoso

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Hectométrica

FORMA DEL RELIEVE: Ladera en glacis

MODIFICACIÓN DE LA FORMA:

Abancalamientos

DINÁMICA DE LA FORMA: Erosión hídrica

INTENSIDAD DE LOS PROCESOS: Moderada

TIPO DE PENDIENTE: Compleja

MORFOLOGÍA LOCAL: Perfil situado en una área rectilínea

SITUACIÓN EN EL PERFIL: En el borde superior de la forma

Material original:

Materiales detríticos terrígenos

Salinidad:

No salino

Clasificación:

Xerochrept calcixerólico (S.S.S., 1975)

Calcixerept típico (S.S.S., 2010)

Calcisol háplico (W.R.B., 2006)

Descripción macromorfológica de los Horizontes (nomenclatura SINEDARES)

0-14 cm Ap

ESTADO DE HUMEDAD: húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillento, 10YR 5/6. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): pocos. ESTRUCTURA: muy débil, en bloques subangulares, muy fina. CONSISTENCIA: poco compacto, muy friable. MATERIA ORGÁNICA: muy poca, no observable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: abundantes, galerías rellenas. SISTEMA RADICULAR: normal, raíces de diámetro menor a 10 mm, pocas, de muy finas a medianas, verticales, de distribución regular, vivas y muertas. ACUMULACIONES: no hay. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCI 11%): alta. LÍMITE INFERIOR: Abrupto por laboreo, plano. **EPIPEDIÓN ÓCRICO.**

14-101 cm Bkn₁

ESTADO DE HUMEDAD: húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillento brillante, 10YR 6/6. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franco-arenosa fina. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): muy pocos. ESTRUCTURA: muy débil, en bloques subangulares, mediana. CONSISTENCIA: compacto y friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: no aparente. SISTEMA RADICULAR: normal, raíces de diámetro menor a 10 mm muy pocas. ACUMULACIONES SECUNDARIAS: pocas, nódulos friables (amas) de carbonatos, aumentando en profundidad. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCI 11%): alta. LÍMITE INFERIOR: gradual, plano. **ENDOPEDIÓN CÁLCICO**

101->162 cm Bkn₂

ESTADO DE HUMEDAD: húmedo. COLOR DE LA MATRIZ (HÚMEDO): pardo amarillento brillante, 10YR 6/6. MANCHAS: no hay. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: en estado de oxidación. TEXTURA: Franca. ELEMENTOS GRUESOS (% TOTAL): muy pocos. ESTRUCTURA: débil, en bloques subangulares, mediana. CONSISTENCIA: muy compacto y friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: no aparente. SISTEMA RADICULAR: raíces de diámetro mayor a 10 mm muy pocas. ACUMULACIONES SECUNDARIAS: frecuentes, nódulos friables (amas) de carbonatos de tamaño grueso, aumento en profundidad. ENSAYOS DE CAMPO (RESPUESTA HCl 11%): alta. **ENDOPEDIÓN CÁLCICO**

Datos analíticos							
Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH		CE1:5 (dS/m a 25°C)	Materia orgánica (%)	Carbonato cálcico eq. %
			H ₂ O 1:2.5	Pasta saturada			
C-54/1	Ap	00-14	9,0	7,9	0,05	0,4	39,9
C-54/2	Bkn ₁	23-101	9,2	7,9	0,05		39,2
C-54/3	Bkn ₂	101-162	9,2	-	0,06		35,6

Fertilidad		Granulometría (%)				Clase textural USDA	Humedad gravimétrica (%) a		
P Olsen (mg/kg)	K AcONH ₄ (mg/kg)	Arena (ø en mm)			Limo (ø en mm)		Arcilla < 0,002 mm	-33 kPa	-1500 kPa
		2,00-0,5	0,5-0,05	Total	0,05-0,002				
3	69	-	-	-	-	-	11,9	5,2	
-	-	0,5	59,2	59,7	31,3	9,0	FAr	11,7	5,1
-	-	0,3	49,4	49,7	28,8	11,5	F	13,7	6,2

Salinidad											
CEe (dS/m a 25°C)	Hs (%)	Elementos solubles del extracto de saturación (mmol(+)/l)									SAR
		Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	CO ₃ H ⁻	
0,4	32,2	0,3	0,2	3,0	0,5	0,3	Inap.	0,3	-	n.d.	0,3
0,3	33,0	0,5	0,04	1,9	1,0	0,4	Inap.	0,5	-	n.d.	0,4
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Micromorfología

Lámina: D39/98 Perfil C-54, horizonte Bkn1, de 20-38 cm

Microestructura y porosidad	g/f	Componentes minerales gruesos	Micromasa	Componentes orgánicos	Edaforrasgos
Apedial, intergranular. Porosidad 40%, poros de empaquetamiento complejo 35%, huecos planares 5%. Canales de raíces <1%	Límite g/f: 20 μm , relación: g/f 1/1, distribución relacionada: g/f enáulica	Arena fina a media de cuarzo angular, equidimensional, fresco	Limo fino, arcilla y micrita. Fábrica b cristalítica		(1) Canal con relleno denso incompleto descarbonatado y con un hiporevestimiento de descarbonatación

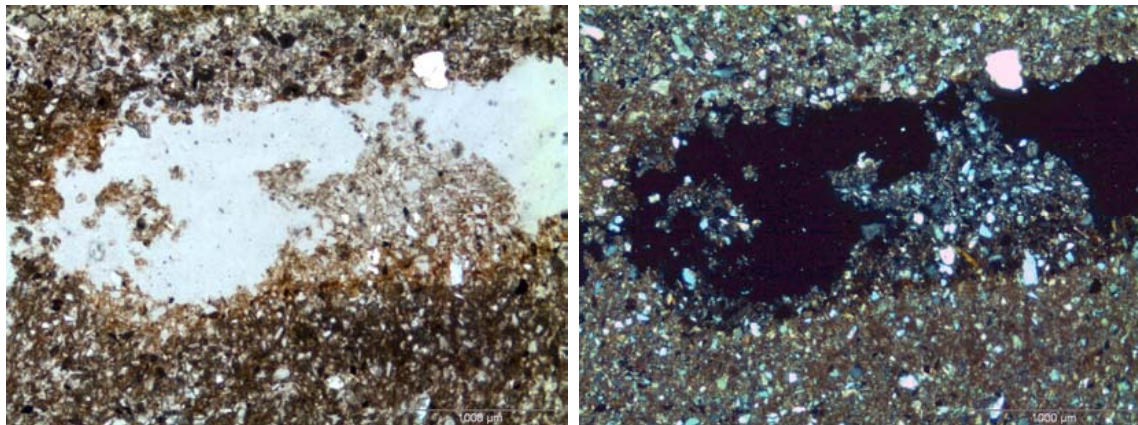


FIGURA 9. Canal con relleno denso incompleto descarbonatado y con un hiporevestimiento de descarbonatación.

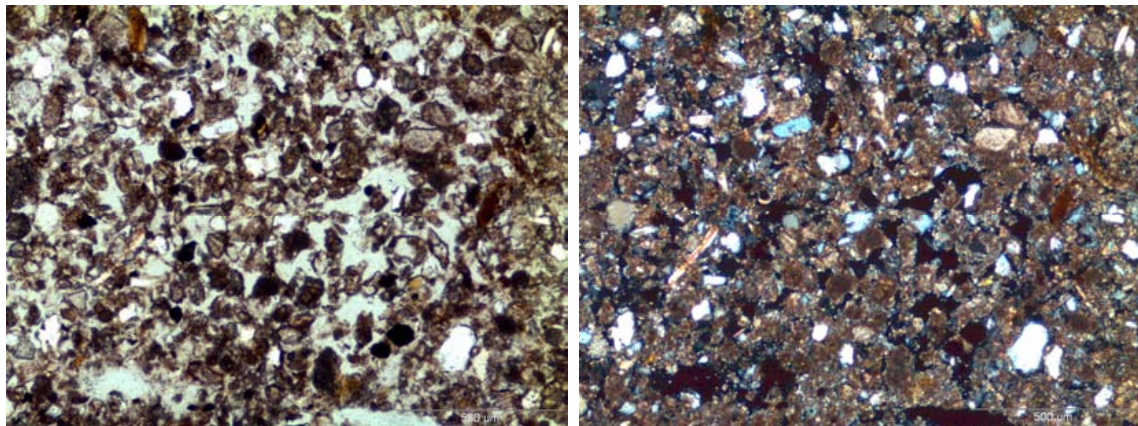


FIGURA 10. Distribución relacionada g/f enáulica (microagregados y arenas del mismo tamaño) con poros de empaquetamiento complejo.

Lámina: D40/98 Perfil C-54, horizonte Bkn2, de 104-120 cm					
Microestructura y porosidad	g/f	Componentes minerales gruesos	Micromasa	Componentes orgánicos	Edaforrasgos
Prismática. Porosidad 25%, poros de empaquetamiento complejo 15%, huecos planares 10%	Límite g/f: 20 μm , relación: g/f 1/1, distribución relacionada: g/f enáulica – porfirica de espacio simple	Arena fina a media de cuarzo angular, equidimensional, fresco	Limo fino, arcilla y micrita. Fábrica b cristalítica		(1) Nódulos impregnativos, contrastados, órticos y disórticos, de calcita micrítica, huecos o típicos

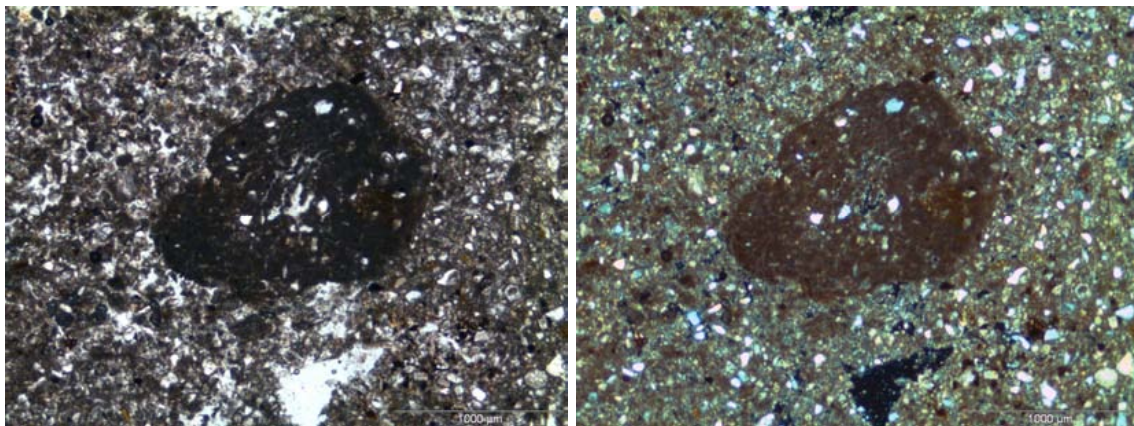


FIGURA 11. Nódulo impregnativo órtico, hueco, contrastado, de calcita micrítica.

2.3.9. Morfoscopías de arenas*

Muestra 2-LL (Plataforma de Darmós)

Observación a la lupa binocular

Arena fina y homométrica, 100 µm de media y con formas de angulosas a subredondeadas en iguales proporciones.

Observación al SEM

La forma de los granos es angulosa e irregular. Casi todos están afectados por disolución-precipitación de sílice, en forma de plaquetas y de agujeros de disolución.

No se observan formas de impacto. La ausencia de granos gruesos hace difícil la interpretación, pero según la morfología y la falta de marcas de impacto probablemente no se trata de un material eólico.

Muestra 4-LL (carretera de Maials)

Observación a la lupa binocular

Arena heterométrica, la mayoría de los granos son frescos y angulosos, pocos son redondeados.

Observación al SEM

Muchos granos no presentan marcas de impacto y tienen formas angulosas, pero hay algunos claramente redondeados y con aristas pulidas por impactos. Puede tratarse de un material retrabajado, eólico en parte, ya que se observan dos tipologías de granos.

TABLA 3. Análisis de las muestras 2-LL y 4-LL con y sin destrucción de carbonatos

Muestra	m.o. (%)	Método textura	Arena g. (%)	Arena fina (%)	Limo g. (%)	Limo fino (%)	Arcilla (%)	Textura USDA	CaCO ₃ (%)
2-LL (Darmós)	0,3	Normal	0,1	33,9	17,8	35,6	12,6	FL	37,3
2-LL (Darmós)	0,3	Destrucción carbonatos	0,6	28,2	37,0	16,0	18,2	FL	
4-LL (ctra. Maials)	0,1	Normal	0,1	24,5	29,3	32,5	13,6	FL	31,0
4-LL (ctra. Maials)	0,2	Destrucción carbonatos	0,4	23,2	37,0	18,1	21,3	FL	



FIGURA 13. Arenas angulosas de la muestra 4-LL, de origen fluvial. Algunas aristas están afectadas por disolución. Fotografía RM. Poch.

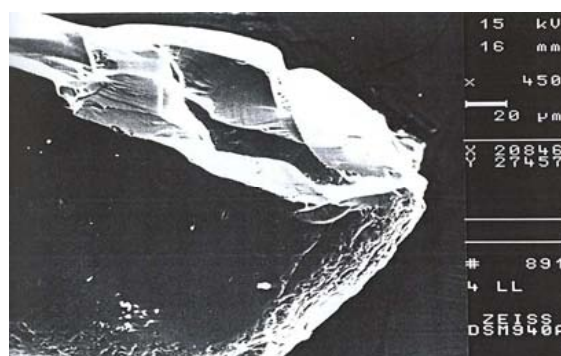


FIGURA 14. Grano de cuarzo con fracturas frescas en la parte superior y morfologías típicas eólicas en la parte inferior, de la muestra 4-LL. Estas formas son frecuentes en otras muestras. Fotografía R.M. Poch.

* Adaptado de Poch, RM, 1997

Agradecimientos: Agradecemos las informaciones adicionales facilitadas por Gustavo Carrillo y el equipo Vertex Consultoría Agro-forestal, SL. Asimismo, debemos agradecer la colaboración de Montse Antúnez (UdL) y Sílvia Porras (UdL) en el laboratorio y Josep Maria Llop (DAAM) en las labores de campo.

2.3.10. Referencias bibliográficas

- ARTIEDA, O. "Génesis y distribución de suelos en un medio semiárido. Quinto (Zaragoza)" Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid (1996). 222 p.
- BALASCH, J.C.; HERRERO, C.; CASTELLTORT, X. y BOIXADERA, J. "Loess eólicos peridesérticos en la cubeta de Móra d'Ebre (Depresión Prelitoral Catalana, NE España)" Actas de la XI Reunión Nacional de Geomorfología, Solsona (2010).
- BECH, J. y SOLÉ, A. "Datos micromofológicos sobre la recarbonatación de los suelos rojos de la Sierra Litoral". En Alberdi, M.T., Gallardo, J; Aleixandre, T. y Santonja, M. (eds.): Actas de la II Reunión Nacional del Grupo Español de Trabajo del Cuaternario". Madrid (1977), p. 19-31.
- BOIXADERA, J. y POCH, R.M. (eds.) "Transcatalonia N-S. Guía de excursión de edafología". Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl (UdL), Secció d'Avaluació de Recursos Agraris (Generalitat de Catalunya), Lleida (2008), 170 p.
- BRUNNACKER, K. "Affleurements de loess dans les régions nord-méditerranées". *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 2 (1969), p. 325-334.
- COUDÉ-GAUSSSEN, G. "The Perisaharian Loess: Sedimentological Characterization and Paleoclimatical Significance" *GeoJournal*, 15.2 (1987), p. 177-183.
- COUDÉ-GAUSSSEN, G. "The loess and loess-like deposits along the sides of the western Mediterranean sea: Genetic and palaeoclimatic significance" *Quaternary International*, v. 5 (1990), p. 1-8
- DANÉS, R.; HERRERO, C. y BOIXADERA, J. "Cartografía detallada de sòls en àrees de regadiu de Catalunya". Quaderns Agraris, ICEA, 14 (1991), p. 17-32.
- DAR "Mapa de sòls (1:25.000). Zona fructícola i citrícola de les terres de L'Ebre" Informe inédito. Generalitat de Catalunya, Lleida (2010), 1119 p.
- DARP "Caracterización edafo-climática de la zona regable del embalse de Guiamets (Tarragona)". Informe inédito, Generalitat de Catalunya, Lleida (1987), 182 p.
- DUMAS, B. "Variations climatiques quaternaires et morphogénèse dans le Sud du Levant espagnol". *Méditerranée*, (1979) p. 27-35.
- FARACO, C. "Estudio del colapso de la estructura de los limos yesíferos". *Revista de Obras Públicas*, 122 (3127), Madrid (1975), p. 775-790.
- FINK, J. «Les progrès de l'étude de loees en Europe». *Bulletin de l'Association Française pour l'étude du Quaternaire* (1969), p. 3-12.
- GALLART, F. "Neógeno superior y Cuaternario del Penedès (Catalunya, España)" *Acta Geológica Hispánica*, 16, 3 (1981), p. 151-157.
- GARCÍA, R.; GONZÁLEZ, J.A.; PETIT, M.D. y RUCANDIO, M.I. "Caracterización de la acumulaciones loésicas en el valle medio del río Tajo, España". *Estudios Geológicos*, 66, núm. 1 (2010), p. 115-121.

- GONZÁLEZ, J.A.; ASENSIO, I.; FERNÁNDEZ, A.; GARCÍA, R.; GONZÁLEZ, M.J.; GUERRERO, L. y RUBIO, V. "Acumulaciones de origen frío en el modelado de los paisajes de la Rama castellana del Sistema Ibérico y de la Submeseta Sur. En Lozano, M.V.; Peña, J.L. y Sánchez-Fabre, M (eds.): Procesos y formas periglaciares en la montaña mediterránea. Instituto de Estudios Turolenses, Teruel (2000), p. 149-160.
- GÜNSTER, N.; ECK, P.; SKOWRONEK, A. y ZÖLLER, L. "Late Pleistocene loess and their paleosols in the Granada Basin, Southern Spain". *Quaternary International*, 76/77 (2001), p. 241-245.
- GUTIERREZ-ELORZA, M. ; DESIR, G. y GUTIERREZ-SANTOLALLA, F. «Yardangs in the semiarid central sector of the Ebro Depresión (NE Spain)». *Geomorphology*, 44 (2002), p. 155-170.
- HAASE, D.; FINK, J.; HAASE, G.; RUSKE, R.; PÉCSI, M.; RICHTER, H.; ALTERMANN, M. y JÄGER, K.D. "Loess in Europe –its spatial distribution based on a European Loess Map, scale 1:2,500,000". *Quaternary Science Reviews*, 26(9-10), (2007), p. 1301-1312.
- HERRERO, J. "Morfología y génesis de suelos sobre yesos" INIA-MAPA, Madrid (1991), 447 p.
- HERRERO, J.; PORTA, J. y FÉDOROFF, N. "Hypergypsic Soil Micromorphology and Landscape Relationships in Northeastern Spain" *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56 (1992), p.1188-1194.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA "Mapa Geológico de España E. 1:50.000 Hoja n. 362 (Calaf)". 2ª serie, 1ª edición. Servicio de Publicaciones del Ministerio de Industria, Madrid (1982), 59 p.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA-DIPUTACIÓN PROVINCIAL DE BARCELONA "Mapa Geológico de España E. 1:50.000 Hoja n. 363 (Manresa)". Madrid (1956), 108 p.
- IRIONDO, M.H. y KRÖLING, D.M. "Non-classical types of loess". *Sedimentary Geology*, 202 (2007), p. 352-368.
- JOSA, R. "Estudi cronoseqüencial de sòls sobre les terrasses de l'Anoia (entre el Bedorc i Gelida)" Tesi de Grau. Universitat de Barcelona. (1985), 122 p.
- MALDONADO, A.; RIBA, O.; ORCHE, E.; COLOMBO, F.; PORTA, J. de y CIVIS, J. "Mapa Geológico de España. E. 1:50.000. Hoja n. 522 (Tortosa)". 2ª serie (1979).
- MAPA "Métodos oficiales de análisis de suelos" Vol. 3 Madrid (1994), p. 662.
- MARGARIT J. y MONNER A. "Mapa de suelos (1:50.000) de la Terra Alta". INARSA-Regs de Catalunya SA, Barcelona, (1996).
- MENSÚA, S. y IBÁÑEZ, M.J. "Terrazas y glaciares del centro de la Depresión del Ebro". 3ª Reunión Nacional del Grupo de Trabajo del Cuaternario, Zaragoza (1977), p. 1-18.
- MÜCHER, H.; SEVINK, J.; BERGKAMP, G. y JONGEJANS, J. "A pedological and micromorphological study on Mediterranean loessial deposits near Gerona, NE-Spain" *Quaternary International*, 5 (1990), p. 9-22.
- OBRUCHEV, V.A. "Loess types and their origin". *American Journal of Science*, 243 (1945), p.256-262.
- PECSI, M. "Loess is not just accumulation of airborne dust". *Quaternary International*, 7/8 (1990), p. 1-21.
- POCH, R.M. "Morfologia de sorres de quars de sòls de la zona d'actuació del canal Segarra-Garrigues: diagnosi de materials eòlics" Informe inèdit, Universitat de Lleida (1997).

- PYE, K. "The nature, origin and accumulation of loess". *Quaternary Science Reviews*, 14 (1995), p. 653-667.
- SERVEI GEOLÒGIC DE CATALUNYA-INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA "Mapa geològic de Catalunya 1:250.000" Versió digital (2006) Barcelona.
- SMALLEY, I.J. y VITA-FINZI, C. "The formation of fine particles in sandy deserts and the nature of desert loess". *Journal of Sedimentary Petrology*, 38 (1968), p.766-774.
- SMALLEY, I.J.; JEFFERSON, I.F.; DIJKSTRA, T.A. y DERBYSHIRE, E. "Some major events in the development of the scientific study of loess". *Earth-Science Reviews*, 54 (2001) p. 5-18.
- SMITH, B.J.; WRIGHT, J.S. y WHALLEY, W.B. "Sources of non-glacial, loess-size quartz silt and the origins of "desert loess"" *Earth Science Reviews*, 59 (2002), p. 1-26.
- SOLÉ, A.; JULIÀ, R y BALLBÉ, E. "Micromorfología de un paleosuelo pleistoceno del Pla de Barcelona" *Acta Geológica Hispànica*, 23, 3 (1988), p. 197-207
- STOOPS, G. "Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin. Sections". *Am. Soil Sci. Soc. Special publication*. (2003) Madison, Wisconsin, 184 p
- TORRAS, A. y RIBA, O. "Contribución al estudio de los limos yesíferos del centro de la Depresión del Ebro. *Brev. Geol. Ast.*, 11 (1968), p.125-137.
- VAN ZUIDAM, R. "Un levantamiento geomorfológico de la región de Zaragoza". *Geographicalia*, 6 (1980), p. 103-134.
- WRIGHT, J.S. ""Desert" loess versus "glacial" loess: quartz silt formations, source areas and sediment pathways in formation of loess deposits" *Geomorphology*, 36 (2001), p. 231-236.
- YAALON, D.H. y GANOR, E. "The influence of dust on soils during the Quaternary" *Soil Science*, 116, 3 (1973), p. 146-155.

3 Itinerario por la comarca de la Cerdanya

3.1 Suelos del Pirineo Catalán: la Cerdanya

Rosa M. Poch¹, Iolanda Simó^{1,2} y Jaume Boixadera^{1,2}

(1) Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida (UdL), Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida.

(2) Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural, Generalitat de Catalunya, Rovira Roure 191, 25198 Lleida.

Resumen

La Cerdanya es uno de los únicos valles del pirineo catalán que discurre paralelamente al eje de la cordillera, debido a la tectónica particular del mismo. Su orientación WSW-ENE, el gran desnivel (aproximadamente de los 900 m hasta los 3000 m), la distinta naturaleza de los materiales parentales y la historia geomorfológica del valle (glaciarismo, periglaciarismo, procesos aluviales y coluviales) hacen de esta comarca una de las más edafodiversas de Cataluña. La excursión ofrece la observación de perfiles sobre materiales calizos y silíceos en distintas posiciones y altitudes, lo que permitirá observar morfologías debidas a procesos de meteorización, carbonatación-descarbonatación, podsolización e iluviación de arcillas.

Se discutirá además cómo esta edafodiversidad ha afectado la ocupación y uso del suelo a lo largo de la historia, en un entorno con un indiscutible valor turístico y paisajístico.

3.1.1 Introducción

La comarca de la Cerdanya ofrece un amplio abanico de materiales parentales, climas, vegetación y usos del suelo lo que se traduce en una riqueza edáfica de gran diversidad.

Desde hace muchos años estas características han atraído la atención de geomorfólogos, geógrafos y multitud de estudiosos (Soutade, 1970; Vila, 1926). En los últimos años por parte de la Universidad de Lleida y del Departamento de Agricultura de la Generalitat de Catalunya se han llevado a cabo diversos estudios de los suelos de la comarca que posteriormente han sido plasmados con finalidad didáctica por la Universitat de Verano de la UdL (Poch *et. al*, 2008).

En este capítulo se presenta una breve descripción de los aspectos ambientales y de uso del suelo de la comarca para enmarcar cuatro suelos que tratan de ilustrar los principales procesos formadores y su morfología.

3.1.2. Situación geográfica y descripción de la comarca

La comarca de la Cerdanya ocupa el valle alto del río Segre, en el Pirineo catalán, y está dividida de forma natural en dos partes bien diferenciadas: la montaña y el valle (que recibe localmente el nombre de "pla") que se sitúa en una depresión de fondo plano a unos 1.000 m de altura, con una longitud de 40 km y una amplitud de entre 8 y 10 km.

El valle se encuentra rodeado por altas montañas que actúan de barrera para los frentes atmosféricos, especialmente los procedentes del Atlántico. Al noroeste, separando el valle del Principado de Andorra, se encuentran el Pic de Monturull (2.761 m), el Pic de Perafita (2.753 m) y otros que forman la cubeta lacustre de los Estanys de la Pera. A continuación y hacia el N se levantan los picos de la Tossa Plana de Lles (2.898 m), el Pic de la Muga (2.860 m) y el Pic Negre d'Envalira (2.812 m), rodeando el amplio anfiteatro glacial de la Vall de la Llosa. Al pie de esta barrera existen amplias cubetas glaciales cerradas por los picos dels Engorgs (2.815 m) y

el Puig Pedrós (2.861 m). En el Pla de la Feixa el relieve baja suavemente hasta llegar al pueblo fronterizo de Guils de Cerdanya.

Situados en Francia y siguiendo el valle del río Querol hasta el final encontramos Puigcerdà, localidad situada en el plano superior de la terraza fluvio-glacial, auténtico balcón estratégico sobre la comarca. A continuación se puede observar, más al norte, una formación de montañas perfectamente definida, el macizo de Carlit. Cerrando el valle, por el este, se encuentra el amplio Coll de la Perxa (1.579 m), que enlaza con las barreras montañosas del sudeste y del sur desde el Pic del Puigmal (2.913 m) hasta la Collada de Toses, con el Pla de les Salines que se sitúa a medio camino. La Collada de Toses cierra la cabecera del valle de la Molina y enlaza al oeste con la Sierra del Cadí.

El valle de la Cerdanya presenta una peculiar división administrativa en la que intervienen dos estados y dos provincias. En el año 1659, con el Tratado de los Pirineos, la comarca fue dividida entre España y Francia mediante una frontera arbitraria que no guarda ninguna relación con los límites naturales del valle, pero que permite un acceso desde el norte a la cabecera del Valle del Segre, hecho de una importancia estratégica no menor en su momento. De esta manera se estableció la Alta Cerdanya, perteneciente a Francia, en la zona norte del valle, y la Baja Cerdanya, en la zona sur, que pertenece a España y donde encontramos la ciudad de Puigcerdà, la capital de la comarca.

El enclave de Llivia, situado al noreste de Puigcerdà, está rodeado de territorio francés. Dentro de la Cerdanya catalana todavía hay que dividir el valle entre dos provincias: Lleida, al oeste, y Girona, al este. Este límite administrativo, que tiene su origen en la división napoleónica (1813), se encuentra en la confluencia del río Segre con sus afluentes Quera y Santa María, a unos 2 km al este de Bellver de Cerdanya, y transcurre aproximadamente de norte a sur.

La singular situación y formación de la Cerdanya da lugar a una comarca natural bien definida con gran variedad paisajística, de regímenes climáticos, vegetación, geología y suelos.

Además de la situación de la comarca, la amplia variabilidad del medio físico permite un aprovechamiento del suelo basado en diferentes usos; los más tradicionales, como la agricultura de forrajes, cereales, pastos y árboles frutales, la ganadería, la industria lechera y los aprovechamientos de madera, conviven con los usos más recientes pero de interés creciente, como son las actividades turísticas y deportivas (pistas de esquí) y la importante industria hotelera, las centrales de energía solar y las aguas termales.

3.1.3. Clima y regímenes de humedad y temperatura del suelo

La variación climática se debe a la orientación transversal de la comarca, que permite una notable diferencia de temperatura y humedad entre la solana y la umbría, y también a la existencia de un clima submediterráneo de influencia continental en el valle, con inversiones térmicas invernales en el fondo de la depresión, y un clima muy duro en las laderas y cumbres de las montañas.

La orientación este-oeste del valle ceretano permite que la radiación solar en algunas zonas de la solana llegue a las 3.000 horas de insolación anuales, que son aprovechadas para obtener energía eléctrica en Osseja y altas temperaturas en el horno solar de la estación de investigación de Font Romeu.

También la variación altitudinal entre el valle, de temperaturas extremas tanto en verano como en invierno, y la montaña, donde se dan violentas ventiscas e intensas nevadas, es responsable de la gran variedad florística y faunística del valle.

La pluviosidad oscila entre los 600 y 700 mm anuales en el valle, y los 1.000 y 1.200 mm anuales, en la montaña. Esta diferencia de precipitaciones se debe a los desniveles de cerca de 2.000 m que se dan entre el fondo de la depresión y las cumbres más altas, que retienen las borrascas atlánticas en la vertiente norte y el aire húmedo del Mediterráneo en la vertiente sur, provocando un efecto pantalla que hace que las precipitaciones sean notablemente inferiores en el valle. Las nevadas importantes no se producen hasta los meses de enero y febrero, y la nieve permanece más tiempo en la umbría que en la solana, donde, debido a la elevada insolación, se funde rápidamente. A partir del registro pluviométrico, se observa que la mayor parte de las precipitaciones se dan en primavera y verano, siendo el mes de enero el menos lluvioso de todos (tabla 1).

TABLA 1. Precipitación y temperaturas media mensual en estaciones meteorológicas de la Cerdanya.

Estación y altitud	Alp (1.158 m)		Puigcerdà (1.202 m)		La Molina (1.711 m)		Llívia (1.224 m)	
	T°C	P (mm)	T°C	P (mm)	T°C	P (mm)	T°C	P (mm)
Octubre	10,4	51,3	11	66,6	6,8	101,8	9,9	47,4
Noviembre	5,9	20,3	6,4	67,3	1,8	121,0	5,6	42,7
Diciembre	1,3	44,4	3,1	82,9	-0,8	95,6	2,2	43,9
Otoño		116,0		216,8		318,4		134,0
Enero	2,1	19,6	1,9	49,7	-1,4	54,9	1,8	27,8
Febrero	3,4	27,3	3,3	59,6	-1,2	56,8	2,2	30,3
Marzo	6,4	46,6	6,4	50,4	-0,9	91,3	5	38,3
Invierno		93,5		159,7		203,0		96,4
Abril	10	46,4	9,1	73,0	3	97,8	7,3	44,0
Mayo	12,3	72,7	12,4	95,5	6,8	126,7	10,9	61,4
Junio	16	53,4	15	102,7	10	129,9	13	79,7
Primavera		172,5		271,2		354,4		185,1
Julio	19,1	61,1	18,9	102,9	14	104,0	17,2	59,6
Agosto	18,9	74,2	18,8	92,1	13,8	111,0	16,9	76,6
Septiembre	15,8	64,0	16,2	101,2	11,2	121,2	14,5	62,3
Verano		199,3		296,2		336,2		198,5
Año	10,2	581,3	10,3	943,9	5,4	1212,0	8,9	614,0

De forma similar a lo que sucede con la pluviometría, el régimen de temperaturas también está muy influenciado por los cambios altitudinales y de orientación, que provocan grandes diferencias de insolación entre las vertientes.

Tal y como se observa en el registro termométrico (tabla 1), en el valle se dan temperaturas bajas en invierno (media en torno a los 2°C en el mes de enero), y altas en verano (media en torno a los 19°C en julio). En las estaciones de montaña se registra menor amplitud térmica pero hay que señalar que las temperaturas medias de los meses de enero y febrero están por debajo de los 0 °C.

En las estaciones estudiadas el periodo más largo de heladas corresponde a La Molina, situada en la umbría y en zona de montaña, donde lo más frecuente es tener 5 meses seguidos de heladas, que pueden llegar a los 7 meses algunos años. En la estación de Puigcerdà se registran los periodos de heladas más cortos, entre 1 y 2 meses a principios del invierno, que también es la estación con menos posibilidad de heladas extemporáneas.

Aplicando los criterios de Soil Taxonomy (SSS, 1999), el régimen de humedad de los suelos de la Cerdanya es ústico en Alp y Llívia; údico bordeando el ústico en Puigcerdà, y údico (perúdico) en La Molina. Para la determinación de los regímenes de humedad se ha tenido en cuenta la capacidad de retención de agua disponible en el suelo (CRAD) en las diferentes estaciones lo que permite determinar con más exactitud el periodo seco de cada zona, aunque

también es importante fijarse en la distribución de la precipitación a lo largo del año. Destaca que, en general, la estación más lluviosa corresponde al verano.

Según el régimen de humedad asignado a cada estación meteorológica se concluye que el límite altitudinal aproximado que separa el régimen ústico (valle) y údico (montaña) corresponde a los 1.500 m. Este límite puede relacionarse con el cambio de vegetación, que se pasa de bosque de pino silvestre (*Pinus sylvestris*) a bosque de pino negro (*Pinus uncinata*), y también con algunos procesos de formación del suelo, principalmente la acumulación de carbonato cálcico, que se da por debajo de este límite en zonas de rocas calizas, pero que es lavado a más altitud.

Según la clasificación de Soil Taxonomy (SSS, 2006), el régimen de temperatura del suelo se establece en función de la temperatura media anual del mismo medida en una profundidad arbitraria de 50 cm, o contacto dénsico, lítico o paralítico. Dada la falta de medidas directas, estos valores se han estimado a partir de la temperatura media del aire mediante las aproximaciones propuestas por Soil Taxonomy (SSS, 2006) y Jarauta (1989). Si aplicamos estos criterios a la Cerdanya el régimen de temperatura es méxico en Llivia, Alp y Puigcerdà. En La Molina los suelos con horizonte O tienen un régimen frígido y sin él tienen un régimen crítico.

Los gradientes de temperatura del suelo que se obtienen en la Cerdanya son, de 0,54 °C/100m de altitud en la solana (Peinado, 1985), y de 0,87 °C/100m de altitud en la umbría, calculado a partir de los datos termométricos de las estaciones de Alp y Molina. Aplicando estos gradientes a la temperatura del suelo, se pueden obtener los límites altitudinales de los regímenes de temperatura en la Cerdanya (tabla. 2).

TABLA 2. Regímenes de temperatura en la comarca de la Cerdanya.

Régimen térmico	Solana	Umbría
Mésico	< 1.576 m	< 1.526 m
Frígido	De 1.576 a 2.636 m, con horizonte O	De 1.526 a 2.138 m, con horizonte O
Crítico	De 1.576 a 2.636 m, sin horizonte O > 2.636 m	De 1.576 a 2.636 m, sin horizonte O > 2.138 m

Con estos datos se observa que el límite altitudinal aproximado entre el régimen méxico y frígido se encuentra en torno a los 1.500 m, al igual que entre los regímenes de humedad ústico y údico, y que el régimen crítico aparece a partir de los 2.100 m en la umbría y de los 2.600 m en la solana. Como es lógico, las temperaturas del suelo descienden más lentamente en altitud en las orientaciones de solana y también son mayores en los suelos con horizontes orgánicos, que actúan como aislantes o reguladores de la temperatura exterior.

3.1.4. Geología y geomorfología¹

La depresión de la Cerdanya es una fosa tectónica sobre la cual se ha configurado un amplio valle pirenaico de orientación ENE-WSW bien distinto al de la mayoría de los cursos fluviales que atraviesan la cordillera que siguen una dirección N-S. Formada durante el Mioceno superior, en la Zona Axial Pirenaica, es fruto de la actividad de un sistema de fallas de salto normales: la de la Tet y la de la Cerdanya. La formación de fosas tectónicas en el borde oriental de la placa ibérica es el resultado de un campo de esfuerzos distensivos que actuó durante el neógeno y que se extendió mucho más allá, desde el mar del Norte al mar de

¹ Adaptado de Balasch, 2008.

Alborán. El resultado de esta etapa distensiva es la formación de las grandes estructuras geológicas que han configurado el Mediterráneo occidental (Anadón *et al.*, 1989).

La estructura interna de la fosa de la Cerdanya es claramente asimétrica, de forma que el relleno miocénico reposa en discordancia sobre los materiales del zócalo herciniano en el margen septentrional, mientras que en el meridional el contacto es de tipo mecánico, mediante planos de falla. Debido al movimiento en salto normal de las fracturas del margen sur, sincrónico a la colmatación de la fosa, los materiales depositados fueron basculando hacia el sur y sudeste provocando el afloramiento de los materiales más modernos adosados a esta parte meridional de la depresión (Roca, 1992).

La evolución del relieve tras la distensión y la colmatación neógena viene marcada por la acción de los procesos relacionados con las oscilaciones climáticas cuaternarias y por el descenso del nivel de base al abrirse al Mediterráneo la salida de la cuenca del Ebro. Las morfogénesis glacial, periglacial y fluvial han causado ligeros retoques en las paredes y fondo de un valle abierto, cuyos grandes rasgos arquitectónicos vienen definidos por la tectónica distensiva precedente. Este valle constituye la cabecera de uno de los ríos surpirenaicos más destacado y vigoroso: el Segre.

3.1.4.1. Litología

Los materiales que constituyen el zócalo del compartimiento hundido y de los márgenes de la fosa comprenden rocas de edad paleozoica, mesozoica y eocena (figura 1).

Los materiales paleozoicos son los que ocupan mayor extensión y abarcan desde el Cámbrico hasta el Carbonífero, fueron deformados a lo largo de la orogenia herciniana durante el Carbonífero y sufrieron la intrusión de masas de granitoides tardihercínicos y el desarrollo de un metamorfismo más antiguo (Cambro-Ordovícico). Las rocas cambro-ordovícicas son de naturaleza esquistosa, y afloran extensamente en ambos márgenes de la fosa, sobre todo en la mitad norte.

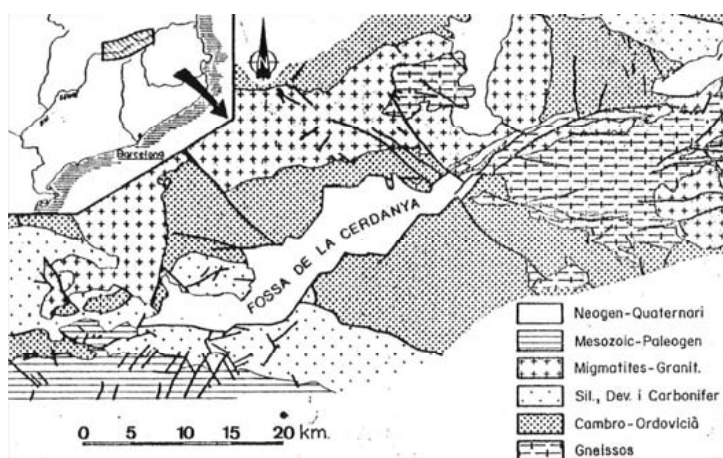


FIGURA 1. Mapa geológico simplificado de la fosa de la Cerdanya y su entorno. Autor: Roca, 1986.

El Devónico está representado básicamente por calizas y margocalcalizas de coloración grisácea y coloreadas (facies griotte) y, en los tramos lutíticos, cobriza, como las que forman el macizo de la Tossa d'Alp y

buena parte de los contrafuertes de la base.

Los granitoides tardihercínicos se encuentran representados, casi en exclusiva, en el margen norte-occidental (batolito de Andorra-Mont Lluís) conformando los macizos del Puigpedrós y del Carlit. En el sector noreste, el metamorfismo regional ha generado gneises con moscovita y biotita.

La colmatación neógena de la fosa de la Cerdanya consiste en una potente serie de rocas sedimentarias con un grosor comprendido entre 400 y 1.000 m que fueron depositadas durante el Mioceno superior y el Plioceno (Roca, 1986). De hecho, destacan dos unidades estratigráficas: la unidad neógena inferior, la más ampliamente representada, y la unidad

neógena superior, que sólo recubre a la anterior en el margen sur, con afloramientos muy restringidos.

3.1.4.1.1. Unidad neógena inferior

Los sedimentos de esta unidad comprenden sucesiones terrígenas de conglomerados, areniscas y lutitas, con un espesor variable de un lado a otro pero que oscila entre unos 400 y 800 m de potencia (Agustí y Roca, 1987).

Las facies deposicionales muestran el desarrollo de un lago profundo, situado en el extremo sur de la depresión, en el que desembocaban los pequeños torrentes procedentes del margen norte de la fosa. Los torrentes miocenos construyeron grandes conos de deyección que rellenaban las áreas septentrionales. Se han diferenciado hasta ocho grupos de aparatos aluviales de ubicación y procedencia diferenciada (figura 2). Entre los conos aluviales y el lago permanente se observan sistemas de transición (Cabrera *et al.*, 1988).

Los sedimentos lacustres de la Cerdanya están formados por lutitas con un elevado contenido de materia orgánica; son muy ricos en fósiles de plantas, insectos, moluscos y algunos restos de espinas de peces, especialmente en los alrededores de Bellver, lo cual se conoce desde muy antiguo (Solé Sabarís i Llopis, 1947). La transformación del fósforo procedente de los esqueletos de los vertebrados acumulados en el fondo del lago durante la diagénesis de los sedimentos ha provocado la aparición de los nódulos de anapaíta entre las lutitas lacustres. Por otra parte, las acumulaciones locales de materia orgánica han originado algún nivel de lignitos explotable, como en el caso de las minas a cielo abierto de Sanavastre y Sansor. A los materiales de la unidad deposicional inferior se les atribuye una edad Vallesiense (Mioceno superior).

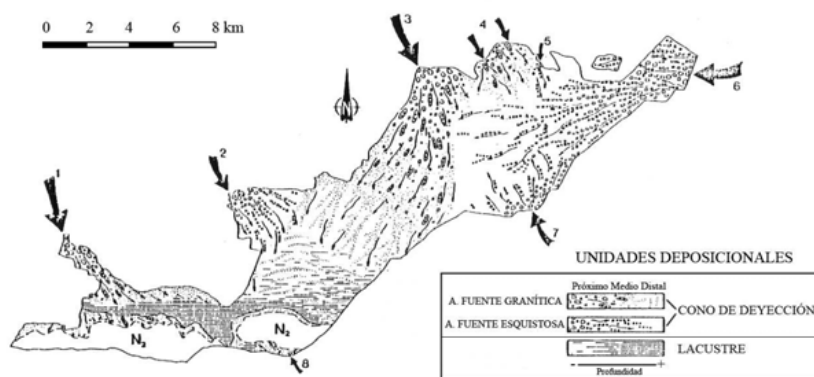


FIGURA 2. Esquema de los medios sedimentarios de la fosa de la Cerdanya. Autor: Roca, 1986.

3.1.4.1.2. Unidad neógena superior

La unidad superior está formada por sucesiones de conglomerados, brechas y lutitas rojas, que pasan transicionalmente hacia el sur a lutitas grises con intercalaciones de conglomerados y algunos niveles de lignitos. Tienen un grosor bastante constante (de unos 250 m) y corresponden a un sistema de abanicos aluviales procedentes de los relieves situados en el margen sur que progradan hacia el centro de la cuenca. Los pueblos de Nas, Nèfol y Grus están situados sobre unas plataformas rojas elevadas formadas por los restos de los conglomerados de esta unidad. Se considera que los sedimentos que integran la unidad deposicional superior corresponden al Turolense superior-Plioceno.

3.1.4.1.3. Evolución geomorfológica cuaternaria

A escala del edificio pirenaico, hay que observar la Cerdanya como un relieve estructural, es decir, como un valle adaptado o conforme a las directrices de la fosa tectónica que la ha generado. La zona más deprimida coincide, básicamente, con la acumulación de las

colmataciones neógenas y sus límites coinciden, sobre todo en el borde sudeste, con la traza de las fracturas que la delimitan. Los márgenes de la depresión están conformados sobre los bloques de zócalo no hundidos, compuestos por rocas paleozoicas más coherentes que las del fondo del valle. Algunos autores han reconocido antiguas superficies de erosión premiocena (después elevadas por la tectónica) que forman mesetas, como las de Calmquerdós, Calm Colomer o la Tossa Plana de Lles, en el zócalo del margen norte occidental (Solé Sabarís y Llopis, 1947).

Durante el Cuaternario (y sobre todo en el Pleistoceno reciente) los procesos geomorfológicos han originado, en una zona con elevaciones de entre los 700 y los 2.900 m y orientación contrastada, una importante variedad de procesos geomorfológicos de tipo glacial, periglacial y fluvial que han generado unas formas de modelado y, más concretamente, unos depósitos asociados, que se representan, en esencia, por los tills glaciales, las formaciones superficiales de vertiente y las terrazas fluviales (Gómez Ortiz, 1987).

Las morfologías más características de la erosión glacial son los circos, las aristas y collados, y los lagos por sobreexcavación (Estanys de la Pera, Malniu, etc.). Los tills glaciales o depósitos que conforman las morrenas son muy heterométricos y en algunos casos se conserva y reconoce bien la morfología de las acumulaciones. El nivel de las nieves perpetuas se ha situado entre 2.100-2.200 m (Gómez Ortiz y Salvador, 1996). En la mayoría de casos vemos que los tills recubren las mesetas por encima de los 2.000 m y el fondo de los circos (morrenas de circo). También destacan los cordones laterales que separan la divisoria de los valles (morrenas laterales), como sucede en los valles de la Llosa, Duran y Aránser. Tenemos evidencias de arcos morrénicos frontales en Puigcerdà, donde confluían las lenguas de los glaciares de valle del Carol y de Angostrina. El desarrollo de los glaciares en el lado sur de la fosa (zona de la Tossa d'Alp) es mucho más pobre, hasta el punto de que los restos morrénicos solo ocuparon los circos.

Las formaciones superficiales que recubren las laderas son muy diversas. Pueden encontrarse, en los sectores supraforestales, conos de derrubios formados por clastos sin matriz al pie de los taludes de roca escarpada. También son frecuentes los depósitos del tipo derrubios ordenados (o *grèzes litées*), que responderían a procesos combinados de desprendimientos rocosos y de lavado posterior de los derrubios en condiciones alternadas de hielo y de deshielo. En la mayoría de los casos, se trata de formaciones muy heterométricas y sin lechos de los clastos que indicarían la carencia de lavado diferencial sobre la ladera. En todo caso hay intervención de la gravedad y de las bajas temperaturas en condiciones que podríamos calificar de periglaciales.

Las terrazas fluviales del Segre situadas en el interior del valle ceretano, están bien representadas cerca de Bellver y Puigcerdà. Algunos conos de deyección subactuales construidos por los torrentes más destacados, como el de Alp, enlazan con las terrazas más bajas. Tradicionalmente, se han descrito cuatro niveles de terrazas en el sector de Puigcerdà (Solé Sabarís, 1970): escalonados a 3 m, a 10-12 m, a 40 m y a 100 m sobre el actual cauce del río Segre.

Algunos trabajos de síntesis de la geología regional y evolución geomorfológica (Martín-Closas, 1986; Julià, 1992; Bordonau *et al.*, 1999) incluyen itinerarios y transectos de interés para observar los afloramientos y yacimientos más representativos de la Cerdanya.

3.1.5. Vegetación y usos del suelo²

Dentro de la vegetación de la Cerdanya se pueden encontrar 3 pisos de vegetación: alpino, subalpino y montano.

El piso **alpino** se encuentra por encima de los 2.200 m y su vegetación corresponde a los prados alpinos. Estos prados, cuando se desarrollan sobre sustratos silíceos, corresponden a comunidades de la alianza *Festucion airoidis*, mientras que, los que lo hacen sobre suelos básicos o neutros, corresponden a comunidades de alianza *Festucion gautieri* (= *Festucion scopariae*).

El piso **subalpino** aparece entre 1.600 (2.000) y 2.200 m y pertenece, cuando se desarrolla sobre sustratos no carbonatados, al dominio de vegetación del pinar de pino negro (*Rhododendro-Pinetum uncinatae*) y, cuando lo hace sobre sustratos carbonatados, corresponde al dominio del pinar de pino negro calcícola (*Pulsatillo-Pinetum uncinatae*). Las comunidades arbustivas más importantes son: el matorral de rododendro (*Saxifrago-Rhododendretum*) en los lugares umbríos, y el matorral de codeso (*Genisto-Arctostaphyletum*) en las solanas. Además, también se encuentran pastos secundarios, que pertenecen a la alianza *Nardion*, cuando se desarrollan sobre suelos de reacción ácida y, a las alianzas *Festucion gautieri*, *Mesobromion* y *Primulion*, cuando lo hacen sobre suelos básicos o neutros.

El piso **montano** se encuentra por debajo de los 1.600 (2.000) m y pertenece al dominio de vegetación del robledal de roble pubescente (*Buxo-Quercetum pubescentis*) aunque actualmente se trata en general de pinares de pino silvestre (*Pinus sylvestris*). Las comunidades arbustivas, desarrolladas sobre todo en las vertientes más o menos inclinadas, pertenecen a las alianzas *Mesobromion*, *Xerobromion*, *Aphyllanthion* y *Ononidion*, y dependen de las condiciones de pH y humedad del suelo. Los prados de corte (alianza *Arhenatherion*) ocupan las llanuras. Al fondo del valle y en los lugares con altos niveles freáticos se encuentran restos, siempre muy fragmentarios, de salcedas (*Saponario-Salicetum*), alisares (*Alnetum catalaunicae*) y fresnedas (*Brachypodio-Fraxinetum*).

Los usos actuales del suelo corresponden básicamente a la actividad ganadera, fruto de una evolución que ya relató claramente el geógrafo Pau Vila en su modélica monografía sobre la geografía de la Cerdanya (Vila, 1926). La sustitución de los cultivos agrícolas se ha acentuado a lo largo de las últimas décadas, a medida que se ha pasado de la autosuficiencia comercial a una gran especialización ganadera (Pons, 2008; Bech, 2006).

El regadío siempre ha jugado un papel destacado en las zonas agrícolas y el paisaje lo refleja: en la parte baja de de la comarca el verde en verano se debe al riego.

Fillat (2008) ha descrito magistralmente como el hombre ha ido colonizando las montañas y como ha ido evolucionando dicho uso. Hay que remontarse a épocas de la Alta Edad Media para encontrar la creación de los pastos por acción del fuego que desplazó el bosque original, y que en nuestros días se ha recuperado. Por otro lado, las fuentes presiones antrópicas de los siglos XII - XIII o del XIX - XX crearon áreas de suelos fuertemente degradados como en las solanas o en el entorno de muchos de los pueblos a cualquier altitud.

La presión turística y urbanística, la marginalización agraria -apenas atenuada por las medidas de soporte a la dicha actividad- y la creación de amplios espacios de protección de la naturaleza (Parque Natural Cadí-Moixeró) conforman los aspectos externos de unos usos actuales que tienen sus raíces en el medioevo (Fillat, 2008), y que determinan la calidad e incluso topología de los suelos.

² Adaptado de Pedrol, 2008.

3.1.6. Los suelos de la Cerdanya³

Sobre materiales calizos

En la mayor parte de La Cerdanya (excepto en la zona del Cadí) las calizas son rocas metamórficas (calizas *à griottes* ricas en impurezas y, por lo tanto, con menos reserva de CaCO_3) que se descarbonatan a mayores altitudes. Los primeros suelos cálcicos aparecen hacia los 1.600 m. Por el contrario, sobre margas ricas en CaCO_3 la descarbonatación es más difícil y no se observa más que en los amplios llanos de altura (Pla d'Anyella), donde la humedad y la superficie plana se alían para favorecer el lavado de los suelos sin aportes laterales de CaCO_3 que los puedan reemplazar.

En las terrazas aluviales y los aluviones que se encuentran a una altitud de entre 1.000 y 1.100 m, los suelos son casi siempre calizos. Los situados en los contrafuertes de la orilla derecha del Segre representan una excepción puesto que no hay formaciones calizas que puedan alimentar los depósitos detríticos. En los suelos calizos la distribución del CaCO_3 es a veces irregular y corresponde a revestimientos peliculares (de algunos mm a algunos cm) alrededor de los elementos gruesos. En ocasiones dan lugar a una cementación de todo el material aluvial por los carbonatos de calcio, a partir de 30 o 40 cm de profundidad. Las terrazas fluviales están cortadas por un glacis de pequeños valles adyacentes que se han rellenado en la época moderna por aportes recientes. En ellas se encuentran suelos jóvenes aluviales: fluvisoles calcáreos, suelos afectados por una hidromorfía local.

En el flanco sur de la Cerdanya (Das, Alp, Riu) donde los materiales son calizos los suelos corresponden a Calcisoles (FAO, 1998) que normalmente son profundos. En ciertos lugares la erosión pone en superficie niveles cementados por el carbonato de calcio (Urús).

Los taludes y partes sometidas a una erosión intensa han dado lugar a *badlands*. Los suelos son en este caso inexistentes. En otros lugares donde la pendiente es menor se han podido desarrollar suelos. Su naturaleza depende de la fuente que ha proporcionado los materiales miocenos.

Sobre materiales silíceos

En el flanco norte del valle (Ger, All, Olopte) dominan las areniscas y los esquistos (Bosc de la Serra del Mas) y sobre estos materiales la edafogénesis conduce a Cambisoles (FAO, 1998).

En zonas de afloramientos graníticos a bajas altitudes (1.200 a 1.500 m) se detecta la alteración en bolos de los mismos. Una gran parte de la roca se ha alterado *in situ* y da lugar a una arena granítica que rodea algunos núcleos más resistentes, cuya medida puede superar un metro cúbico. Estos se alteran desde los bordes y acaban por dar lugar a bolas características. Desmanteladas por la erosión, estas bolas pueden desplazarse a lo largo de las laderas y acumularse localmente en caos espectaculares. La arena procedente de la meteorización se acumula en las partes bajas y forma suelos poco penetrables por las raíces. Son poco profundos y poco diferenciados (Leptosoles de la FAO, 1998), ácidos, pobres en bases y en arcilla. Debido a la sequía y al poco desarrollo de la vegetación son también pobres en materia orgánica. En estos medios sólo se desarrollan los prados secos, los codesos y pinares poco vigorosos.

En altitudes medianas, sobre rellanos naturales o en pequeñas terrazas, cuando el material original es granítico encontramos con Cambisoles (FAO, 1998).

³ Adaptado de Legros y Bathès, 2008

Por encima de 2.300 a 2.400 m, el granito ha sido fragmentado por los glaciares y las fracturas netas afloran en la superficie o a poca profundidad. Las arenas prácticamente han desaparecido. En un medio como éste, el agua se filtra lateralmente y las irregularidades de la topografía crean entonces condiciones estacionales con humedades muy variables. Las cavidades del agua y las acumulaciones orgánicas contribuirán a la formación de turberas (Histosoles) más o menos bien conservadas. En las zonas no saturadas estos suelos pertenecen a los Podzoles úmbricos, (FAO, 1998). A menudo, bajo rododendros, el horizonte A es grueso, de 30 a 50 cm, y reposa sin transición sobre la roca dura.

En orientaciones N (Bosc de La Mata), sobre un material muy rico en sílice, la evolución es extrema, pese a una altitud moderada (1.900 m). Se observa entonces la aparición de Podzoles (FAO, 1998), con horizontes E remarcables.

Simó (2005) elabora una cartografía de suelos que sintetiza el conocimiento de suelos existente en base también a prospección propia. Boixadera *et. al* (2008) presenta una toposecuencia que ilustra los grandes rasgos de la distribución de los suelos de La Cerdanya.

3.1.7. Los suelos de la excursión

Se han seleccionado cuatro perfiles que representan cuatro situaciones muy diferenciadas y que permiten ilustrar morfologías asociadas a los principales procesos formadores existentes.

3.1.7.1. Suelos de pastos sobre calizas y esquistos carbonatados del Pla d'Anyella

El Pla d'Anyella, se encuentra en la confluencia de tres comarcas, la Cerdanya, el Ripollès y el Berguedà. Este llano, situado a unos 1.900 m de altitud, está ocupada por prados calcícolas muy productivos que son aprovechados intensamente, desde por lo menos la Edad Media, por los rebaños básicamente de las tres comarcas.

Los suelos del Pla d'Anyella - y en gran medida todos los de la zona de Castellar de n'Hug - Tossa de Alp - desarrollados sobre materiales geológicos similares, situados a cotas parecidas y utilizados para pastos, tienen una estructura granular fuerte, elevada actividad de la fauna y riqueza en nutrientes (DAR, 2001), que explica la calidad de los pastos. Su contenido de nutrientes es mucho mayor que los de los suelos situados en cotas similares, pero desarrollados sobre material granítico. Debido a la elevada pluviometría, los suelos se han descarboxatado en los horizontes superiores. El lavado de carbonatos y la formación de estructura son los procesos formadores más importantes, los cuales permiten clasificar a estos suelos como Cambisoles.



FIGURA 3. Vista general del Pla d'Anyella y corte de los Cambisoles de la zona. Autor: Jean-Pierre Barthès.

Información general

Pedión: CER'94 1A

LOCALIZACIÓN: Coll del Pedró

TÉRMINO MUNICIPAL: Alp (La Cerdanya)

FECHA DESCRIPCIÓN: 13/07/94

DESCRITO POR: J.Boixadera, J.M Villar, M-Aran, R.M. Poch.

Cartografía

HOJA Cerdanya-15.

ESCALA 1:50.000

COORDENADA X: 414290

COORDENADA Y: 4686750

ALTITUD: 1.820 m

Temperatura y agua del suelo

RÉGIMEN DE TEMPERATURA DEL SUELO: Críico

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Údico

NIVEL FREÁTICO: Inaccesible

CLASE DE DRENAJE: Bien drenado

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Hectómetros

TIPO DE SUPERFICIE: Ladera

MODIFICACIONES DE LA FORMA: -

DINÁMICA DE LA FORMA: Soliflucción

INTENSIDAD DE LOS PROCESOS: Moderada

TIPO DE PENDIENTE: Compleja

LONGITUD DE LA PENDIENTE: 400 m

MORFOLOGÍA LOCAL: Corte en un camino

SITUACIÓN EN LA FORMA: En el tercio inferior de la forma

PENDIENTE GENERAL: 20 %

PENDIENTE LOCAL: 5%

ORIENTACIÓN: W

Pedregosidad superficial

No pedregoso

Afloramientos rocosos

Sin afloramientos

Material originario

Metamórficas carbonatadas y depósitos de ladera.

Vegetación

Pastos heliófilos mesófilos (Mesobromion)

Tecnología

Pastos

Utilización

Pastos

Clasificación

Original:

(SSS, 1999) Cryochrept típico, limosa gruesa, mezclada, activa

(FAO, 1998) Cambisol eutríco

Actual:

(SSS, 2010) Cryochrept típico, limosa gruesa, mezclada, activa

(WRB, 2006) Cambisol (eutríco, siltíco)



FIGURA 4. Detalle del perfil CER' 94-1A. Autor: RM Poch.

Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)**Observaciones**

La nomenclatura de horizontes genéticos corresponde a la del “*Field book for describing and sampling soils. Versión 2.0*”. Según dicho manual un horizonte O está formado por materiales orgánicos de acuerdo a Soil taxonomy (SSS, 1999, 2010). En la zona Coll del Pedró-Pla d’Anyella-Coll de la creueta, en el caso de que el suelo no estuviera saturado (potencial mátrico igual o superior a -1 KPa) más de 30 días, no aparece horizonte O (> 20 % orgánico), dado la falta de datos medidos se acepta esta como la mejor hipótesis. En dicho caso, el régimen de humedad sería Cryico /temperatura media del suelo en verano inferior a 15°C).

Dicha clasificación se correspondería plenamente con las observaciones morfológicas de la parte superficial del suelo donde los fenómenos de crioclastia son numerosísimos.

0 – 2 cm O

EST. HUMEDAD: Húmedo. EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. COLOR: De la matriz: 10 YR 3/4 (húmedo). MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: De menos de 75 mm, pocos. CONSISTENCIA: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Extremadamente abundante, horizonte orgánico. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, normal, frecuentes. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. LIMITE INFERIOR: Neto, plano.

2 – 9 cm A₁

EST. HUMEDAD: Húmedo. EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. COLOR: De la matriz: 10 YR 3/3 (húmedo). MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: De menos de 75 mm, pocos. TEXTURA: Francoarcillosa. ESTRUCTURA: Muy fuerte, gruesa, fina. CONSISTENCIA: Compacto, friable. MATERIA ORGÁNICA: Poca. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, normal, frecuente. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. LÍMITE INFERIOR: Neto, plano EPIPEDIÓN: ÓCRICO.

9 – 24 cm A₂

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz 10 YR 3/4 (húmedo); Color del material desmenuzado y presionado entre los dedos 7,5 YR 3/3 (húmedo) y 10 YR 6/3 (seco) EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: De menos de 75 mm, pocos. TEXTURA: Francoarcillosa. ESTRUCTURA: Muy fuerte, gruesa, mediana. CONSISTENCIA: Compacto, friable. MATERIA ORGÁNICA: Poca. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, normal, frecuente. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. LIMITE INFERIOR: Gradual, plano. EPIPEDIÓN: ÓCRICO.

24 – 69 cm Bw

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz 10 YR 4/4 (húmedo); EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: Frecuentes, por mezcla de materiales. ELEMENTOS GRUESOS: frecuentes, metamórficas carbonatadas. TEXTURA: Francolimoso. ESTRUCTURA: Fuerte, en bloques subangulares, mediana. CONSISTENCIA: Compacto, friable. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, normal, frecuente. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. ESTUDIO DE SUPERFÍCIES: Pocos revestimientos asociados a los poros y canales de raíces y frecuentes revestimientos carbonatados asociados a los elementos gruesos, moderadamente gruesos. ENDOPEDIÓN: CÁMBICO.

> 69 cm 2C

ELEMENTOS GRUESOS: frecuentes. ENSAYOS DE CAMPO: Alrededor de los elementos gruesos; respuesta al HCl (11 %), muy alta.

Datos analíticos										
Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5		Carbono orgánico (%)		Materia orgánica (%)		Nitrógeno Kjeldahl (%)		C/N
O ₁	0-2	6,5		9,4		16,0		0,7		12,9
A ₁	2-9	6,1		4,3		7,4		0,5		9,1
A ₂	9-24	6,1		1,3		2,3		-		-
Bw	24-69	8,4		1,2		2,0		-		-
Granulometría (%)										
Arena (ø en mm)			Limo (ø en mm)			Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA	CIC cmol+/kg		
2,00-0,50	0,50-0,05	Total	0,05-0,02	0,02-0,002	Total					
-	-	-	-	-	-	-	-	30,2		
6,3	18,7	25,0	13,5	28,9	42,4	32,6	FAG	19,2		
11,1	18,6	29,7	12,0	28,3	40,3	30,3	FAG	13,3		
7,6	21,3	28,9	26,1	33,1	59,2	11,9	FL			

3.1.7.2. Suelos aluvio/coluviales con horizonte petrocálcico. Perfil de la Tartera

En el tercio inferior del cono de deyección del torrente de la Fonseca, en la partida denominada la Tartera del municipio de Prats i Sansor, se encuentra el pedión Cer 04-01. Se trata de un cono de deyección formado por gravas y cantos mayormente calizos, pero también con presencia de calizas metamórficas, esquistos y cuarcitas, a través del cual circula agua de filtración del torrente que, debido a la litología del área de procedencia, es carbonatada.

Dicho cono fosiliza los depósitos de la terraza SQ3 del Segre (IGC, 2006), los depósitos de la cual afloran más al norte, cerca de la antigua mina de lignito de Sanavastre. En el valle, donde el régimen de humedad es ústico, los carbonatos se acumulan en el suelo, precipitando alrededor de las gravas, cementándolas parcialmente y formando horizontes Bkm o petrocálcicos.

Las limitaciones para el uso de este suelo son la falta de agua y la poca profundidad, por lo cual se dedican a cultivos marginales (centeno), se dejan baldíos, se aprovechan como graveras o se dedican a urbanizaciones.



FIGURA 5. Vista general del perfil. Autor: Brigitte Van-Vliet Lanöe.



FIGURA 6. Detalle del perfil. Autor: Brigitte Van-Vliet Lanöe.

Información general

Pedión: CER-04-01

EMPLAZAMIENTO: La Tartera

TÉRMINO MUNICIPAL: Prats i Sansor

FECHA DESCRIPCIÓN: 08-07-2004

DESCRITO POR: J.Boixadera, O.De Cirugeda, I. Simó

Cartografía

EDITOR: ICC

ESCALA: 1:50000

HOJA NÚM.: Cerdanya-15

COORDENADA X: 404625

COORDENADA Y: 691900

ALTITUD: 1.050

Pedregosidad superficial

Moderadamente pedregoso, fragmentos de caliza

Afloramientos rocosos

Sin afloramientos rocosos

Material originario

Materiales detríticos terrígenos

Material subyacente

Gravas

Vegetación

Cultivo agrícola, abandonado

Tecnología

Secano

Temperatura y agua del suelo

RÉGIMEN DE TEMPERATURA DEL SUELO: mésico

RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: ústico

NIVEL FREÁTICO: inaccesible

CLASE DE DRENAJE: bien drenado

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Kilométrica

TIPO DE SUPERFICIE: abanico aluvial

DINÁMICA DE LA FORMA: erosión laminar

TIPO DE PENDIENTE: simple

LONGITUD DE LA PENDIENTE: 3000 m

MORFOLOGÍA LOCAL: rectilínea

SITUACIÓN EN LA FORMA: en el tercio inferior de la forma

PENDIENTE GENERAL: suave (2-5%)

ORIENTACIÓN: N

Clasificación

ORIGINAL:

(SSS, 1999): Calciustept petrocálcico

(FAO, 1998): Calcisol pétrico

ACTUAL:

(SSS, 2010): Calciustept pétrico

(WRB, 2006): Calcisol pétrico



FIGURA 7. Vista de los horizontes superiores del perfil CER-04-01, donde se puede apreciar claramente el fuerte encostramiento de las gravas. Autor: J. Boixadera.

Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

Observaciones

La descripción se realiza aprovechando una extracción de áridos del abanico aluvial de la Tartera a Prats i Sansor. La explotación está situada en el tercio inferior del abanico. Se describe a partir de 3 puntos separados unos 300 m (sección es 1, 2 y 3) por la accesibilidad a un corte de hasta 4,5 m. El depósito es bastante homogéneo, y consta de dos paquetes:

- Tramo superior** (sección 1 y 2): de 3.3 m. Depósito de gravas y cantos hasta 20 cm rubefactado, con materiales mal clasificados y muestras claras de karstificación. Se describen con más detalle, especialmente los primeros horizontes. La disposición de algunos elementos gruesos puede llevar a indicar posibles procesos periglaciares. La morfología del corte soporta claramente la idea de un horizonte encostrado (Bkm) ya que forma a unos 50 cm una especie de resalte y tiene un material fino y rojizo. El tramo 70-180 tiene gravas y arenas cementadas y el de 180 a 280 está menos cementado, aunque aparecen bandas más cementadas.
- Tramo inferior** (básicamente la sección 3): Depósito más gris y granoclasificado. Cerca del lugar de descripción se encuentran bloques cementados del petrocálcico conglomerático de la extracción de áridos.

El cono presenta una clara valleficación que causa una ondulación en el perfil transversal del mismo.

— Sección 1: 0-77 cm (Ap- Bkm4)

— Sección 2: 77-280 cm (Bkm4-Bk6)

— Sección 3: 280-420 cm (Bk6-Bk9)

En la descripción de los horizontes se ha indicado la principal discontinuidad litológica entre los dos grandes paquetes del depósito y se han omitido otras discontinuidades menores.

En un punto próximo de la extracción de áridos (unos 200 m) se ha podido observar por debajo de la profundidad estudiada la presencia de un nivel de gravas con presencia de granitos que corresponde a la terraza 3 del Segre (IGC, 2006).

0-12 cm

Ap1

EST. HUMEDAD: ligeramente húmedo COLOR: De la matriz: 5 YR 3 / 4 (húmedo), mezclado y amasado 10 YR 4 / 4 (húmedo) MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes, calizas y fragmentos de costra caliza, redondeado-tabular. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: Moderada, granular compuesta, muy fina. CEMENTACIONES: No cementado. CONSISTENCIA: Muy friable. MATERIA ORGÁNICA: Frecuente. RAÍCES: Aspecto global: normales. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. ACUMULACIONES: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Neto. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: ÓCRICO.

12-28/33 cm

Ap2

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: 7.5 YR 4 / 6 (húmedo). MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes, calizas y fragmentos de caliza, subangular -tabular. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: Fuerte, granular compuesta, media. CEMENTACIONES: No cementado. CONSISTENCIA: Muy friable. MATERIA ORGÁNICA: Frecuente. RAÍCES: Aspecto global: normal. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. ACUMULACIONES: Inexistentes. LÍMITE INFERIOR: Neto. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: ÓCRICO.

28/33-45/47 cm (gravas esqueléticas) Bk1

EST. HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes, calizas y presencia de calizas metamórficas y esquistos. CEMENTACIONES: débilmente cementado. RAÍCES: limitado por un horizonte cementado. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. ACUMULACIONES: Abundantes, cemento geopetal, duras, morfologías de redisolución. ENDOPEDIÓN CÁLCICO.

45/47-50/52 cm

Bk2

EST. HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: No hay. ESTADO DE OXIDACIÓN: Oxidado. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes, caliza. CEMENTACIONES: no cementado. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. ACUMULACIONES: Abundantes pisólitos. ENDOPEDIÓN CÁLCICO.

Itinerarios edáficos por Cataluña: el Priorat, la Cerdanya y el Penedès

50/52-58 cm (gravas esqueléticas) Bkm1

EST. HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes, caliza. CEMENTACIONES: ligeramente cementado. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. OBSERVACIONES: Horizonte esquelético de calizas con poros llenos de arena cementados por carbonato y a la vez con redisolución. ENDOPEDIÓN PETROCÁLCICO.

58-77 cm Bkm2

EST. HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes, caliza. CEMENTACIONES: Moderadamente cementado. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. ACUMULACIONES: Horizonte de acumulación. OBSERVACIONES: Se observan revestimientos blandos, blanquecinos. ENDOPEDIÓN PETROCÁLCICO.

77-180cm Bkm3

EST. HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes, calizas. CEMENTACIONES: Moderadamente cementado entre gravas y arena. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. ENDOPEDIÓN Cálculo OBSERVACIONES: Tramos más limosos y otro más arenosos.

180-280/320 cm Bkm4

EST. HUMEDAD: Húmedo. MANCHAS: pocas, de manganeso. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes, calizas y calcoesquistos. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. OBSERVACIONES: menos cemento que el anterior, aunque hay algunas bandas más cementadas. Redistribución de carbonatos en formas cristalinas. Grandes cristales como cemento geopetal, redisolución de acumulaciones de carbonatos. Segregaciones de manganeso. ENDOPEDIÓN CÁLCICO.

280/320-330 cm Btk

COLOR: De la matriz: 5 YR 4 / 6 (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, calizas. CEMENTACIONES: Moderadamente-fuertemente cementado. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta, revestimientos de arcillas y calcita.

330-345 cm Btkm

COLOR: De la matriz: 10 YR 5 / 6 (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, calizas. CEMENTACIONES: Moderadamente-fuertemente cementado. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. ENDOPEDIÓN petrocálcico. OBSERVACIONES: petrocálcico con manchas de manganeso. La parte cementada no siempre aparece.

345/420 cm 2Btk

COLOR: De la matriz: 10 YR 5 / 6 (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, calizas. CEMENTACIONES: Moderadamente cementado. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz respuesta al HCl 11%, muy alta. OBSERVACIONES: revestimientos de calcita.

Datos analíticos

Referencia	Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5	CE _{1:5} (dS/m a 25°C)	Carbono orgánico (%)	Materia orgánica (%)	Carbonato cálcico eq. (%)
Cer/04-01/1	Ap1	0-10	8,3	0,18	2,0	3,44	5
Cer/04-01/2	Ap2	15-33	8,4	0,17	1,8	3,03	5
Cer/04-01/3	Bk1	30-47	8,4	0,18	0,8	1,41	52
Cer/04-01/5	Bk2	45-50	8,3	0,18	1,4	2,34	34
Cer/04-01/4	Bkm3	52-58	8,5	0,19			41
Cer/04-01/13-1	Btk7	320-330	8,5	0,17	0,08	0,14	22
Cer/04-01/13/2	Bkm8	330-345	8,5	0,16			41
Cer/04-01-13/3	2Btk9	400-420	8,7	0,13	0,11	0,19	20

Arena (ϕ en mm)	Granulometría (%)			Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA	CIC cmol+/kg	Complejo de cambio				V (%)
	Limo (ϕ en mm)						Cationes de cambio (cmol(+)/kg)				
	0,05-0,02	0,02-0,002	Total				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
Total 2,00-0,05											
52,3	11,9	25,5	37,4	10,3	F	13,7	13,0	0,3	0,2	0,25	100
56,6	10,6	22,5	33,1	10,3	F-A	12,0	11,4	0,2	0,21	0,16	100
70,5	10,1	13,3	23,4	6,1	F-A						
59,0	17,1	18,3	35,4	5,6	F-A						
74,9	3,3	6,3	9,9	15,5	F-A	6,8	6,4	0,1	0,19	0,08	100
83,5	3,0	5,3	8,3	8,2	A-F						

Micromorfología

15-33 cm

Ap2

MICROESTRUCTURA Migajosa, agregados tamaño arena media. POROSIDAD 30%, poros empaquetamiento compuesto, arena media, 20%; cavidades 10%. LÍMITE g/f 20 μ m, RELACIÓN g/f 3/1, DISTRIBUCIÓN RELACIONADA g/f: Porfírica cerrada. COMPONENTES GRUESOS: Fragmentos de caliza y de horizonte Bkm, heterométricos, arena fina hasta gravas. MICROMASA: arcilla, limo fino y micrita; fábrica b cristalítica. MATERIA ORGÁNICA ausente. EDAFORRASGOS: (1) Revestimientos compuestos laminados de cemento geopetal, calcíticos, alrededor de los elementos gruesos sin orientación, que corresponden a fragmentos de costra caliza. (2) Nódulos tamaño grava, formados por cristales de esparita, en el cemento de los fragmentos de Bkm.

30-47 cm

Bk1

MICROESTRUCTURA Migajosa, fuertemente desarrollada, agregados tamaño arena fina. POROSIDAD 40%, empaquetamiento complejo LÍMITE g/f 20 μ m, RELACIÓN g/f 19/1 DISTRIBUCIÓN RELACIONADA g/f enáulica en las pocas áreas que contienen material fino. COMPONENTES GRUESOS: Gravas de calizas metamórficas, redondeadas subtabulares, subhorizontales, cuarcitas y pocos fragmentos de esquistos. MICROMASA: arcilla, limo fino y micrita, fábrica b cristalítica por limos micáceos. MATERIA ORGÁNICA: ausente. EDAFORRASGOS: (1) Cemento geopetal de calcita esparítica en empalizada, de 0.5 a 0.8 (algunos hasta 5) mm de espesor, con un bandeado interior paralelo a la superficie del elemento grueso más rico en arcilla, alternado bandas gruesas (100 μ m) con delgadas (10 μ m), que tienen continuidad a través de los cristales de esparita. (2) Cemento geopetal discontinuo de calcita esparítica en abanico o amorfo. (3) Cemento geopetal discontinuo en forma de bandas de calcita micrítica. (4) Formas de disolución en cristales de esparita dentro de la caliza metamórfica, siguiendo los planos de exfoliación. (5) Rellenos sueltos discontinuos de calcita tabular, tamaño arena fina y muy fina. (6) Revestimientos continuos y rellenos sueltos discontinuos de calcita acicular, 100 μ m de longitud.

52-58 cm

Bkm1

MICROESTRUCTURA bloques subangulares, tamaño 3 mm, POROSIDAD 30% LÍMITE g/f 20 μ m, RELACIÓN g/f 5/1 DISTRIBUCIÓN RELACIONADA g/f: quitónica COMPONENTES GRUESOS: arena fina de calcita y cuarzo, arena muy gruesa a grava de calizas metamórficas, cuarcitas y esquistos; subredondeados, sin forma ni orientación definida. MICROMASA: arcilla y limo muy fino, fábrica b estriada en mosaico / cristalítica (micrita) EDAFORRASGOS (1) Cemento geopetal de calcita esparítica en empalizada, de 0.5 a 0.8 mm de espesor, con un bandeado interior paralelo a la superficie del elemento grueso más rico en arcilla, alternado bandas gruesas (100 μ m) con delgadas (10 μ m), que tienen continuidad a través de los cristales de esparita. (2) Revestimientos de arcilla iluviada, moteados a lípidos, de unas 100 μ m de grosor, con revestimientos superpuestos de calcita acicular densamente empaquetada. A veces se observa otra secuencia de revestimientos encima. (3) Revestimientos continuos y rellenos sueltos discontinuos de calcita acicular, 100 μ m de longitud. (4) Revestimientos de calcita esparítica alrededor de arena muy gruesa.

58-77 cm

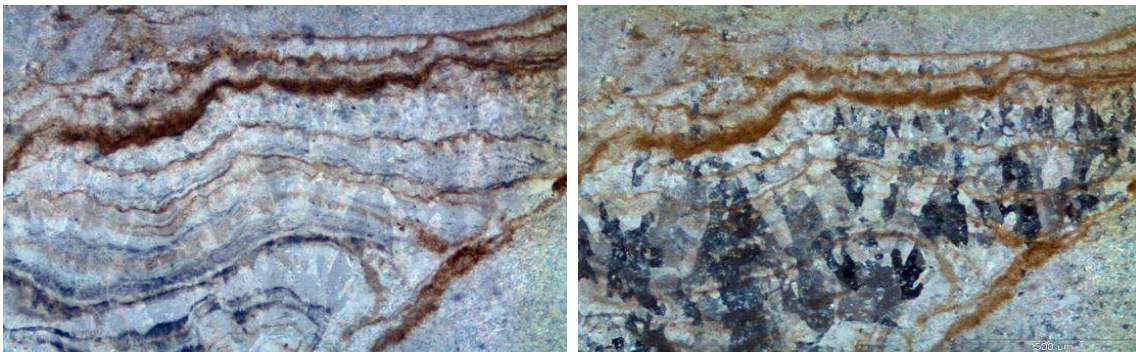
Bkm2

MICROESTRUCTURA apedral, cavitaria. POROSIDAD 30%, cavidades, huecos de empaquetamiento compuesto LÍMITE g/f 20 μ m, RELACIÓN g/f quitónica. DISTRIBUCIÓN RELACIONADA g/f 5/1 COMPONENTES GRUESOS: Gravas y arenas muy gruesas de calizas metamórficas, cuarcitas y esquistos, redondeadas subtabulares, subhorizontales. MICROMASA: calcita micrítica, fábrica b cristalítica. EDAFORRASGOS: (1) rellenos continuos

incompletos de calcita micrítica, con el aspecto de haber sido paquetes de calcita acicular. (2) Revestimientos de calcita acicular. (3) Nódulos de calcita esparítica. (4) Revestimientos en elementos gruesos de calcita esparítica en empalizada, de 0.5 a 0.8 mm de espesor, con un bandeado interior paralelo a la superficie del elemento grueso más rico en arcilla, alternado bandas gruesas (100 μm) con delgadas (10 μm), que tienen continuidad a través de los cristales de esparita. (5) Formas de disolución-reprecipitación de calcita en el interior de fragmentos de caliza (posiblemente también dolomías), que a veces dan lugar a fantasmas de residuos. (4) Revestimientos de calcita esparítica alrededor de arena muy gruesa.

180-280/320 cm Bkm4

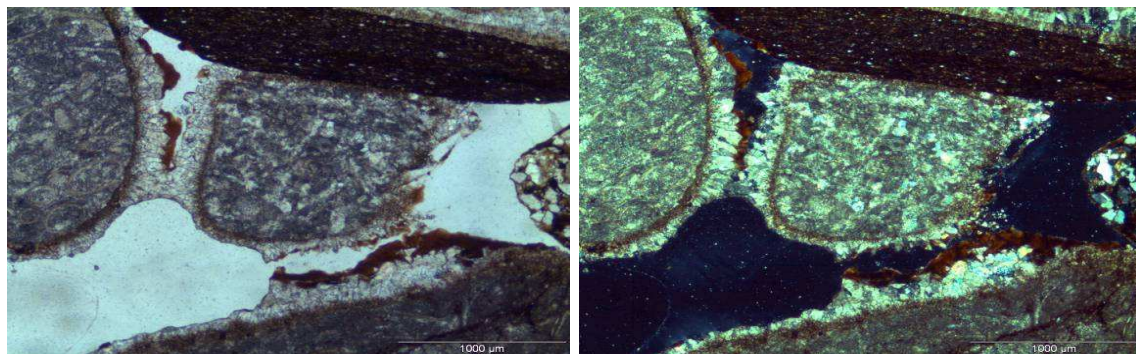
Bloque de caliza con (1) cemento geopetal de calcita esparítica en empalizada, de 0,5 a 0,8 mm. de espesor, con un bandeado interior paralelo a la superficie del elemento grueso más rico en arcilla, alternado bandas gruesas (100 μm) con delgadas (10 μm), que tienen continuidad a través de los cristales de esparita. En la parte inferior gravas y arenas gruesas de caliza metamórfica, cuarzo y cuarcitas, con una porosidad del 30%, y con (2) revestimientos de calcita esparítica (3) revestimientos de arcilla y micrita, moteados, de unas 100 μm de grosor, alternando con revestimientos de calcita micrítica. (4) Pocos revestimientos de calcita acicular.



FIGURAS 8 Y 9. Cemento geopetal (pendent) de calcita esparítica en empalizada con intercalaciones de arcilla.(PPL y XPL), horizonte Bkm6, pedión La Tartera.

320 – 330 cm Btk

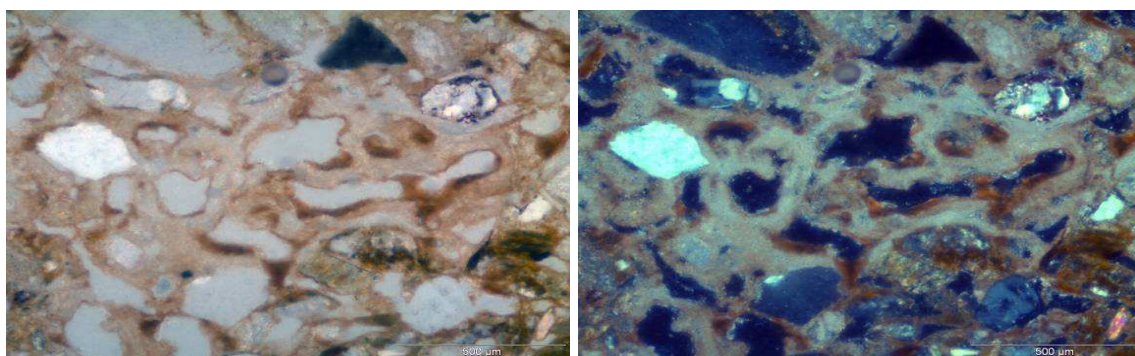
MICROESTRUCTURA apedral POROSIDAD 40%, empaquetamiento compuesto LÍMITE g/f 50 μm , RELACIÓN g/f quitónica. DISTRIBUCIÓN RELACIONADA g/f 10/1 COMPONENTES GRUESOS bloque de caliza, con algunas formas de disolución, arenas gruesas y gravas de calizas metamórficas, cuarcitas y esquistos, redondeadas subtabulares, subhorizontales. MICROMASA: arcilla y limo. Fábrica b cristalítica por cristales de mica o cuarzo, aparentemente sin carbonatos, a partir de los pocos fragmentos de micromasa observables. EDAFORRASGOS (1) Cemento geopetal discontinuo de calcita esparítica en empalizada, de 0,5 a 0,8 (hasta 2) mm de espesor, con un bandeado interior paralelo a la superficie del elemento grueso más rico en arcilla, alternado bandas gruesas (100 μm) con delgadas (10 μm), que tienen continuidad a través de los cristales de esparita. (2) Revestimientos de calcita esparítica en empalizada alrededor de elementos gruesos, que a veces llegan a rellenar los huecos de empaquetamiento. (3) Revestimientos de micrita, hasta 2 mm espesor. (4) Revestimientos de arcilla moteada, moderadamente orientada externos a los mencionados previamente, de unos 250 μm de espesor y también directamente sobre los elementos gruesos que no tienen revestimientos de calcita. (5) Revestimientos de arcilla y micrita externos a los de calcita esparítica (probablemente han perdido la orientación por recrystalización de micrita) (6) Revestimiento compuesto de micrita y microesparita en fragmento de cuarcita (0,2 mm), revestido exteriormente por arcilla medianamente orientada, limo y arena fina, a bandas (0.6 mm) (en lámina 2).



FIGURAS 10 Y 11. Revestimientos de calcita esparítica en empalizada con revestimiento exterior de arcilla microlaminada.(PPL y XPL), horizonte Btk, pedión La Tartera.

330 – 345 cm Btkm

MICROESTRUCTURA apedial, cavitaria. POROSIDAD 15%, cavidades, arena muy gruesa 10%, poros de empaquetamiento simples, arena gruesa 5%. LÍMITE g/f 50 μm , RELACIÓN g/f porfirica DISTRIBUCIÓN RELACIONADA g/f 2/1 COMPONENTES GRUESOS arenas gruesas y gravas de calizas metamórficas, cuarcitas y esquistos, redondeadas subtabulares, sin orientación definida. MICROMASA: micrita y microesparita, fábrica b cristalítica. EDAFORRASGOS (1) Revestimientos de calcita esparítica en empalizada alrededor de elementos gruesos, que a veces llegan a rellenar los huecos de empaquetamiento. (2) Revestimientos discontinuos de calcita esparítica en empalizada, de 0.5 mm de espesor, con un bandeado interior paralelo a la superficie del elemento grueso más rico en arcilla, alternado bandas gruesas (100 μm) con delgadas (10 μm), que tienen continuidad a través de los cristales de esparita. (3) Revestimientos de calcita acicular. (4) Revestimientos de arcilla moteada, moderadamente orientada alrededor de huecos, y en todo caso encima de los edaforrasgos anteriores, en la mitad de la superficie de la lámina. (5) Impregnaciones de arcilla en partes de la micromasa alrededor de cristales de microesparita y esparita. (6) Puntuaciones de oxi-hidróxidos de hierro y manganeso, en los revestimientos de calcita, que a veces fragmentan.



FIGURAS 12 Y 13. Revestimientos de arcilla moteada, moderadamente no orientada en los poros de un fragmento cementado por calcita micrítica (PPL y XPL), horizonte Bkm, pedión La Tartera.

400 – 420 cm

2Btk

MICROESTRUCTURA apedial, cavitaria. POROSIDAD 50%, empaquetamiento simple y complejo 40%, cavidades 10%. LÍMITE g/f 20 μm , RELACIÓN g/f 10/1 DISTRIBUCIÓN RELACIONADA g/f quitónica / enáulica COMPONENTES GRUESOS gravas de caliza metamórfica, arenas de esquistos, calizas, cuarcitas y cuarzo. Algunas calizas con rasgos de disolución. MICROMASA: moteada, fábrica b cristalítica y moteada, según áreas. EDAFORRASGOS (1) Revestimientos discontinuos de calcita esparítica en empalizada, de 0.5 mm de espesor, con un bandeado interior paralelo a la superficie del elemento grueso más rico en arcilla, alternado bandas gruesas (100 μm) con delgadas (10 μm), que tienen continuidad a través de los cristales de esparita. (2) Puntuaciones de oxi-hidróxidos de hierro y manganeso, en los revestimientos de calcita y en la micromasa. (3) Revestimientos de arcilla moteada, moderadamente orientada alrededor de huecos, y en todo caso encima de los edaforrasgos anteriores.

3.1.7.3. Suelos sobre depósitos glaciales graníticos: espodosol con fragipán del Bosc de la Mata

El perfil **CER 1-96** se encuentra a unos 2.000 m pasado el refugio de Cap de Rec, en el municipio de Lles, en una ladera suave orientada al este. Se trata de uno de los pocos podzoles que se pueden observar en la vertiente mediterránea de la península Ibérica, dada una particular combinación de factores formadores: un material parental favorable, una vegetación acidófila, una elevada precipitación (régimen de humedad údico) y bajas temperaturas (régimen de temperatura frío).

La mineralización de la materia orgánica es difícil y el tipo de humus poco evolucionado, formado principalmente por ácidos fúlvicos de bajo peso molecular. La carencia de cationes básicos favorece la complejación de estos ácidos con Fe y Al que son transportados por el agua y acumulados en horizontes inferiores. Se puede observar un horizonte O y un A de acumulación de materia orgánica procedente de acículas de pinos y de vegetación acidófila (rododendros, brezos...) que a duras penas se combina con la materia mineral, dando un aspecto de sal y pimienta. Debajo se encuentra un horizonte blanquecino pobre (horizonte álbico, E), y a más profundidad se encuentran unos horizontes rojizos (espódicos, Bsh) donde esta materia orgánica finalmente se acumula junto con óxidos de hierro y aluminio.

En la base encontramos unos materiales extremadamente compactados, que no cementados, en los que un limo silíceo empasta las gravillas. Corresponde a un fragipán, formado probablemente en un máximo glacial por desecación debido al hielo, con acumulaciones de arcilla y limo, muy compacto y poco permeable, lo cual hace que en esta ladera el agua circule a través del espacio poroso de los horizontes superiores más arenosos. El resultado es un suelo extremadamente ácido que sostiene un ecosistema frágil adaptado a condiciones particulares de pobreza de nutrientes.

Perfiles con horizontes espódicos han sido descritos en la vecina montaña de Andorra (Bech, *et al.* 1981) y aparecen en numerosas fuentes en esta zona camino dels Estanys de la Pera, (donde pueden encontrarse horizontes plácicos) y de Aransa (Poch *et al.* 2008, Boixadera *et al.* 2008) sobre tills de naturaleza granítica.



FIGURA 14. Vista del corte donde puede apreciarse la alternancia de colores debido a los horizontes álbico y espódico. Autor: RM Poch.

Información general

Pedión: CER'96-1

LOCALIZACIÓN: Bosc de la Mata
 TÉRMINO MUNICIPAL: Lles (La Cerdanya)
 FECHA DESCRIPCIÓN: 30/06/96; 23/10/99
 DESCRITO POR: J.Boixadera, R. M. Poch

Cartografía

EDITOR: ICC
 HOJA Cerdanya-15.
 ESCALA 1:50.000
 COORDENADA X: 391157
 COORDENADA Y: 469932
 ALTITUD: 2.060 m

Temperatura y agua del suelo

RÉGIMEN DE TEMPERATURA DEL SUELO: Frígido
 RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Údico
 NIVEL FREÁTICO: No accesible
 CLASE DE DRENAJE: bien drenado

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Hectómetros
 TIPO DE SUPERFICIE: Ladera
 DINÁMICA DE LA FORMA: Soliflucción
 INTENSIDAD DE LOS PROCESOS: Ligera
 MORFOLOGÍA LOCAL: Ladera-corte de camino
 SITUACIÓN EN LA FORMA: Posición lateral
 PENDIENTE GENERAL: 8-10%
 ORIENTACIÓN: NE

Pedregosidad superficial

Algunos bloques

Afloramientos rocosos

Sin afloramientos

Material originario

Till

Vegetación

Bosque de pino negro con rododendro con: *Pinus uncinata*, *Rhododendron ferrugineum*, *Calluna vulgaris*, *Vaccinium myrtillus*...

Tecnología

Bosque explotado y pastoreado

Utilización

Forestal, bosque explotado

Clasificación

ORIGINAL:

(SSS 1996, 1999): Fragiorthod típico, arenoso sobre franco, silíceo, activa.

(FAO1990, 1998): Podzol frágico

ACTUAL:

(SSS, 2010) Haplocryod

(WRB, 2006) Podzol rutrico, albico (frágico)

Observaciones

A lo largo del corte de camino de 400 m se alternan materiales color ceniza y materiales oxidados en bolsas a una profundidad de 1m. Horizontes discontinuos. En la zonal, el cuarzo fue explotado para extraer magnetita como mena de hierro. Frecuentes árboles caídos.

Se considera el régimen de temperatura críico por un razonamiento similar al de Pla d'Anyella.



FIGURA 15. Perfil CER'96-1. Autor: RM Poch.

Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

- 0,5 - 0 cm **O_i**

Horizonte discontinuo formado por acículas de pino y hojas de rododendro sin descomponer.

0 - 10 cm **O_a**

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: 7,5 YR 3/1 (húmedo), y 7,5 YR 3/2 (seco). EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: No hay. CONSISTENCIA: Poco compacto. MATERIA ORGÁNICA: Horizonte orgánico, residuos vegetales descompuestos, moder forestal oligotrófico. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. SISTEMA RADICULAR: RAÍCES $\phi < 10$ mm frecuentes, de muy finas a medias, verticales, vivas. LÍMITE INFERIOR: Neto y plano.

10-20 cm **A**

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: 7,5 YR 5/2 (húmedo), y 7,5 YR 6/2 (seco). EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: muy abundantes, de 0,6 a 2 cm, subangular-esferoidales, sin orientación, cuarcitas. TEXTURA: Arenosa. CONSISTENCIA: No coherente, friable. ESTRUCTURA: Sin estructura por abundancia de elementos gruesos. MATERIA ORGÁNICA: Poca, forestal oligotrófico, yuxtapuesta a la materia mineral. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. SISTEMA RADICULAR: RAÍCES $\phi < 10$ mm frecuentes, de muy finas a medias, verticales, vivas. LÍMITE INFERIOR: Gradual y plano. EPIPEDIÓN: ÓCRICO.

20 - 22/62 cm **E**

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: 10 YR 5/3 (húmedo), y 10 YR 7/2 (seco). EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes, de 0,2 a 25 cm, subangular-esferoidales, Sin orientación, cuarcitas. TEXTURA: Arenosa. CONSISTENCIA: No coherente, friable. ESTRUCTURA: Sin estructura por abundancia de elementos gruesos. MATERIA ORGÁNICA: Inapreciable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. SISTEMA RADICULAR: Raíces $\phi < 10$ mm frecuentes, de muy finas a medias, verticales, vivas. LÍMITE INFERIOR: Neto y ondulado. ENDOPEDIÓN: ÁLBICO.

22/62- 33/77 cm **Bsh₁**

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: desmenuzado y presionado entre los dedos 7,5 YR 4/5 (húmedo), y 7,5 YR 6/6 (seco). EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: Frecuentes, pequeñas, límite abrupto, poco contrastadas, dendriformes, de oxidación, asociadas a las caras de elementos de estructura, poros y raíces. ELEMENTOS GRUESOS: muy frecuentes, de 0,2 a 25 cm, subangular-esferoidales, Sin orientación, cuarcitas. TEXTURA: Arenoso-franca. CONSISTENCIA: Compacto, friable. ESTRUCTURA: Sin estructura. CEMENTACIONES: muy débilmente cementado por hierro. SISTEMA RADICULAR: Raíces $\phi < 10$ mm muy pocas, de muy finas a medias, verticales, vivas. ACUMULACIONES: Generalizadas, de sesquióxidos. LÍMITE INFERIOR: Gradual y ondulado. ENDOPEDIÓN: ESPÓDICO.

33/77 -78/88 cm **Bsh₂**

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: 7,5 YR 5/6 (húmedo), 7,5 YR 7/7 (seco). EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: Escasas, pequeñas, límite abrupto, poco contrastadas, dendriformes, de oxidación, asociadas a las caras de elementos de estructura, poros y raíces. ELEMENTOS GRUESOS: muy frecuentes, de 0,2 a 25 cm, subangular-esferoidales, sin orientación, cuarcitas. TEXTURA: Arenoso-franca. CONSISTENCIA: Compacta, friable. ESTRUCTURA: Sin estructura. CEMENTACIONES: muy débilmente cementado por hierro. SISTEMA RADICULAR: Raíces $\phi < 10$ mm muy pocas, de muy finas a medias, verticales, distribución irregular. ACUMULACIONES: Generalizadas, de sesquióxidos. LÍMITE INFERIOR: Limpio y ondulado. ENDOPEDIÓN: ESPÓDICO.

78/88 - 105 cm **Bx₁**

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: 10 YR 6/6 (húmedo), 10 YR 8/4 (seco). EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: muy escasas, pequeñas, límite abrupto, poco contrastadas, dendriformes, de oxidación, asociadas a poros. ELEMENTOS GRUESOS: muy frecuentes (<35%), de 0,2 a 25 cm, subangular-esferoidales, sin orientación, cuarcitas. TEXTURA: Arenoso-franca. CONSISTENCIA: muy compacta, extremadamente firme. ESTRUCTURA: Moderada, laminar, media en la parte superior. SISTEMA RADICULAR: Limitado por horizonte muy compacto, raíces tapizando el límite superior en algunas partes. ESTUDIO DE SUPERFICIES: Revestimientos de arcilla y cappings de limo en algunos elementos gruesos. ACUMULACIONES: Algunas bandas de Bs de 0,5 cm de grosor, discontinuas, onduladas. A capacidad de campo se deshacen en agua en la mayor parte. ENDOPEDIÓN: FRAGIPÁN.

105 – 120 cm

Bx₂

EST. HUMEDAD: Húmedo. COLOR: De la matriz: 10 YR 6/6 (húmedo), 10 YR 8/4 (seco). EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: muy escasas, pequeñas, límite abrupto, poco contrastadas, dendriformes, de oxidación, asociadas a poros. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (35-70%), de 0,2 a 25 cm, subangular-esferoidales, sin orientación, cuarcitas. TEXTURA: Arenoso-franca. CONSISTENCIA: Compacta, extremadamente firme. ESTRUCTURA: Masiva. ESTUDIO DE SUPERFICIES: Grietas verticales rellenas de material del Bhs, material orgánico amorfo y algunas raíces muertas; cappings de limo de hasta 2 mm de grosor en bloques, por debajo gravillas de cuarzo limpias; revestimientos de arcilla y limo haciendo puentes entre los granos de cuarzo. ACUMULACIONES: Algunas bandas de Bs de 0,5 cm de grosor, discontinuas, onduladas. ENDOPEDIÓN: FRAGIPÁN.

Datos analíticos								
Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH			Carbono orgánico (%)	Materia orgánica* (%)		
		H ₂ O 1:2,5	H ₂ O 1:1					
Oa	0 a10	3,7	3,9	19,1	32,7			
A	10 a 20	4,1	4,5	1,8	3,1			
E	20-22 a 62	4,1	4,6	0,2	0,4			
Bsh ₁	22-62 a 33/77	4,5	3,7	3,0	5,1			
Bsh ₂	33/77 a 78/88	4,8	5,6	4,5	7,7			
Bx1	78/88-105	5,3	5,5	0,05	0,1			
Bx2	105-140	-	-	-	-			

Granulometría (%)								
Arena (ø en mm)			Limo (ø en mm)			Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA	Densidad aparente (M. agr.) kg/m ³
2,00-0,50	0,50-0,05	Total	0,05-0,02	0,02-0,002	Total			
-	-	-	-	-	-	-	-	-
26,3	54,4	80,8	4,4	7,5	11,9	7,3	ArF	-
32	43,1	75,2	9,2	12,9	22,1	2,7	FAr	-
32	33	65	7,5	9,4	16,9	18,1	FAr	-
36,4	28,7	65,2	8,3	15,7	24	10,8	FAr	-
32,8	23,2	56	16	17,8	33,8	10,3	FAr	2110
-	-	-	-	-	-	-	-	-

Complejo de cambio								
CIC cmol+/kg	CICE cmol+/kg	Cationes de cambio (cmol(+)/kg)					Total	V (%)
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺			
-	-	-	-	-	-	-	-	-
8,3	5,4	1,83	0,3	0,28	0,23	2,64	31,7	
6,2	5,1	0,8	0,2	0,4	0,2	1,6	25,7	
18,2	4,8	0,79	0,2	0,15	0,26	1,4	7,7	
3,8	2,1	ip	0,03	0,04	0,16	0,23	6,1	
15,6	-	0,37	0,1	ip	0,24	0,71	4,5	
-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Método de Walkley – Black

Análisis tomados de Camps-Arbestain et al. (2002), pH, CICE, Cp, C-LECO, Al, Fe, Si, DOEO, SO₄²⁻, PO₄³⁻

Horizonte genético	Prof. (cm)	pH (1:2,5)			C-Leco g kg ⁻¹	Al (g kg ⁻¹)					Fe (g kg ⁻¹)			Fe dit/ Fe ox	Si (g kg ⁻¹)		Al+1/2Fe (%)
		H ₂ O	KCl	FNa		n	ox	pirof	ca	la	dit	ox	pirof		n	ox	
A	10 a 20	4,1	2,9	7,6	31,8	14,7	0,6	0,6	0,4	0,3	2,3	0,5	0,6	1,9	3	0,9	0,085
E	20-22 / 62	4,1	2,9	7,6	3,7	32,1	0,7	0,7	0,3	0,3	9,7	0,2	0,3	9,5	3,9	0,9	0,080
Bsh ₁	22/62 - 33/77	4,5	3,8	7,7	14,4	47,8	5,9	4,5	1,4	0,5	16,6	10,6	4,5	6	3,7	1,3	1,12
Bsh ₂	33/77 - 78/88	4,7	4,0	9,0	12,6	53,5	5,1	3,9	0,9	0,1	4,2	3,7	1,8	0,5	3,3	1,6	0,70

Cp (g/kg)	DOEO	SO ₄ ²⁻ mmol kg ⁻¹		PO ₄ ³⁻ mmol kg ⁻¹	
		H ₂ O	KH ₂ PO ₄	H ₂ O	Ox
6,1	0,019	0,1	<d,l.	0,28	0,85
1,5	0,003	0,04	<d,l.	0,06	0,48
12,2	0,244	0,11	0,7	0,02	9,7
8,3	0,215	0,11	0,7	0,02	13

Cp: Carbono extraíble en pirofosfato sódico
n: extracción con NaOH
dit: extracción con ditionito-citrato
ox: extracción con oxalato amónico
pirof: extracción con pirofosfato sódico
Ca: extracción con ClCu₂
la: extracción con Cl₂La
KH₂PO₄: Extracción con KH₂PO₄

H₂O: Extracción con H₂O
CICE: Σ cationes+Al+H⁺ Intercambiable
Da: densidad aparente, método del agregado
DOEO: Densidad óptica del extracto de oxalato
Mineralogía de arcillas de Bsh₁ y Bsh₂: Cuarzo, mica, hidromica, feldspatos y haloisita (Camps Arbestain et al. 2002, por XRD o transformada de Fourier espectroscopia de infrarrojos)

Micromorfología

78-88 cm

Bx₁

MICROESTRUCTURA: Apedial, vesicular. POROSIDAD: 10 %, vesículas y cavidades. MASA BASAL: límite g/f 20 µm, relación g/f 10/3. ELEMENTOS GRUESOS: Heterométricos, de gravillas a sorra fina, angulosos, cuarcitas, ópalas, alguna plagioclasa, láminas de moscovita; fracturados, poco alterados. Caolinita pseudomorfoseando plagioclasas. MICROMASA: Mezcla de limo y arcilla gruesa (caolinita), color pardo amarillento. Fábrica de birrefringencia cristalítica para los limos cuarcíticos. COMPONENTES ORGÁNICOS: Inexistentes. EDAFORRAGOS: Revestimientos y rellenos frecuentes de limo y arcilla orientados alrededor de poros, aproximadamente el 30% del material fino. Casquetes de limo cuarcítico sobre elementos gruesos, de 1 a 2 mm de grosor.

95-105 cm

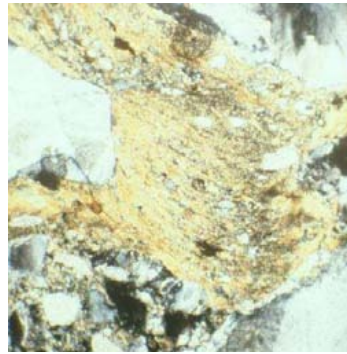
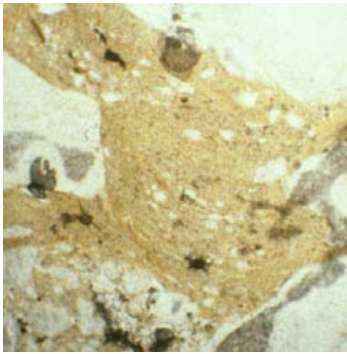
Bx₁

MICROESTRUCTURA: Apedial, compleja. POROSIDAD TOTAL: 25%, vesículas, arena gruesa, 10%; planars, arena gruesa, medianamente acomodados, 5%; cavidades, arena muy gruesa, 10%. MASA BASAL: límite g/f 50 µm, relación g/f 2/1, distribución relacionada g/f porfirica cerrada. COMPONENTES GRUESOS: Cuarzo y cuarcitas, arena fina a muy gruesa, angulosos, frescos, 50%; granos de caolinita pseudomorfoseando plagioclasas, 25%. Fragmentos de clorita. MICROMASA: Caolinita y limo cuarcítico, color amarillo claro, fábrica b cristalítica. COMPONENTES ORGÁNICOS: Ausentes. EDAFORRAGOS: Nódulos impregnativos y puntuaciones de oxihidróxidos de hierro. Revestimientos e intercalaciones moteadas y granoclasificados de arena fina, limo y arcilla orientada, frecuentes. Intercalaciones de caolinita. Revestimientos de arcilla moteada microlaminada en poros.

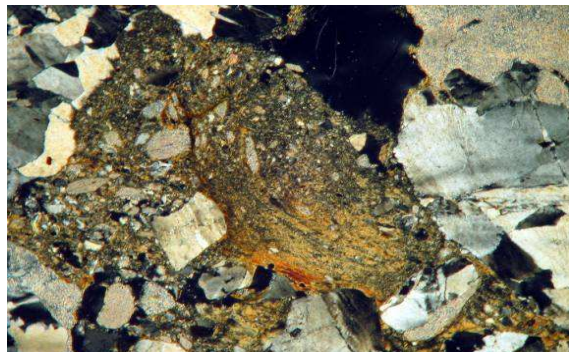
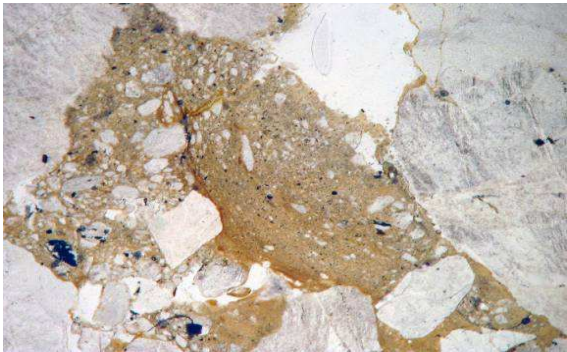
105-120 cm

Bx₂

MICROESTRUCTURA: Apedial, vesicular. POROSIDAD TOTAL: 20%, huecos de empaquetamiento simple, arena muy gruesa, 5%; vesículas y cavidades, arena fina a media, 15%. MASA BASAL: Límite g/f 50 µm, relación g/f 2/1, distribución relacionada g/f porfirica cerrada. COMPONENTES GRUESOS: Cuarzo y cuarcitas, arena fina a gravas, angulosos, frescos. Caolinita pseudomorfoseando plagioclasas. MICROMASA: Caolinita y limo cuarcítico, color amarillo claro, fábrica b cristalítica. COMPONENTES ORGÁNICOS: Ausentes. EDAFORRAGOS: Nódulos impregnativos y puntuaciones de oxihidróxidos de hierro. Revestimientos e intercalaciones moteadas de limo y arcilla frecuentes, frecuentes, orientados al azar. Intercalaciones de limo cuarcítico. Revestimientos de arcilla moteada microlaminada en grietas de fragmentos de roca.



FIGURAS 16 Y 17. Revestimiento de limo dentro de poros en el horizonte Bx₁ del pedión Bosc de la Mata (PPL y XPL, Longitud: 2 cm).



FIGURAS 18 Y 19. Revestimiento de limo dentro de poros en el horizonte Bx₁ del pedión Bosc de la Mata (PPL y XPL, Longitud: 5.5 mm).

3.1.7.4. Suelos sobre depósitos fluvio-glaciales: alfisol del Pla de Malamort (Bolvir)

Los suelos más antiguos de La Cerdanya son los desarrollados sobre las morrenas frontales de los glaciares que llegaban hasta el valle, principalmente en la solana. Su litología, teniendo en cuenta el área fuente, es principalmente granítica y esquistosa, sin carbonatos.

Estas morrenas han sido removidas posteriormente por el Segre y sus afluentes, por lo tanto se trata probablemente de formaciones fluvio-glaciales.

Los suelos situados sobre estas formaciones permiten observar el material parental, formado por gravas y grandes bolos de granitos arenizados y esquistos muy alterados que muestran la antigüedad del suelo, ya que la alteración ha debido tener lugar necesariamente *in situ*.

Los procesos de génesis de suelos han sido, principalmente, la formación y movilización de arcilla a partir de la alteración de los feldspatos y micas, tal y como lo muestran los espectaculares revestimientos que se observan en el microscopio en los horizontes Bt de acumulación (horizontes argílicos). Cuando esta acumulación es muy intensa, llega a modificar la textura de los horizontes de forma que los horizontes superficiales que pierden arcilla se vuelven más arenosos y descansan con un límite abrupto sobre los horizontes más arcillosos. En este caso, el cambio de textura que se da entre los horizontes A y B no se debe a este proceso, sino a una discontinuidad litológica (un material nuevo aportado en superficie), tal como lo muestra la diferente granulometría de la fracción sin arcilla y las diferencias en minerales de arena entre los horizontes.

Estos suelos no son muy productivos a menudo, yermos que presentan nombres tan ilustrativos como "Pla de Malamort" (*Llano de mala muerte*). Cerca de Puigcerdà estos terrenos están ocupados por urbanizaciones o campos de golf.



FIGURA 20. Vista general del perfil CER' 99-2. Autor: RM Poch.

Información general

Pedión: CER'99-2

LOCALIZACIÓN: La Corona
 TÉRMINO MUNICIPAL: Bolvir
 FECHA DESCRIPCIÓN: 20-06-99
 DESCRITO POR: J.Boixadera, R.M. Poch.

Cartografía

EDITOR: ICC,
 HOJA Cerdanya-15.
 ESCALA 1:50.000
 COORDENADA X: 410250
 COORDENADA Y: 469700
 ALTITUD: 1.130 m

Temperatura y agua del suelo

RÉGIMEN DE TEMPERATURA DEL SUELO: Mésico
 RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO: Ústico
 NIVEL FREÁTICO: Inaccesible
 CLASE DE DRENAJE: Bien drenado

Geomorfología

ESCALA DE OBSERVACIÓN: Hectómetros
 TIPO DE SUPERFICIE: Ladera
 MODIFICACIONES DE LA FORMA: -
 DINÁMICA DE LA FORMA: Erosión laminar
 INTENSIDAD DE LOS PROCESOS: Ligera
 TIPO DE PENDIENTE: Simple
 LONGITUD DE LA PENDIENTE: 100
 MORFOLOGÍA LOCAL: Área rectilínea
 SITUACIÓN EN LA FORMA: En el centro de la forma
 PENDIENTE GENERAL: 3%
 PENDIENTE LOCAL: 1%
 ORIENTACIÓN: S

Pedregosidad superficial

Pedregoso

Afloramientos rocosos

Sin afloramientos

Material originario

Gravas y bloques poligénicos, predominan granitos y esquistos.

Vegetación

Prado muy degradado

Tecnología

Abandonado

Observaciones

El material originario a partir del tercer horizonte, cerca de la carretera tiene de 5 a 7 m de potencia y se observan granitos alterados hasta la base del depósito. Los horizontes A₁ y A₂ tienen una gran continuidad espacial tal como se ve en las zanjas de los cimientos de la urbanización.

El perfil se sitúa en la superficie denominada Corona de Bolvir, que es un glacis terraza adosado a los relieves de esquistos de la solana en Torre del Remei y que se corresponde a la terraza SQt3 (IGC, 2006) de 40 m sobre el río Segre.

Utilización

Urbanización en construcción

Clasificación

ORIGINAL: (SSS, 1999) Ustalf
 (FAO, 1998) Skeletic, Cutanic Profundic Luvisol
 ACTUAL: (SSS, 2010) Paleustalf típico
 (WRB, 2006) Luvisol cutánico (rúptico, hypereutrico, esquelético)



FIGURA 21. Detalle del perfil CER-1'99 donde se aprecia claramente la meteorización del granito y situado a unos 500 m del perfil CER'-99-2. Autor: RM Poch.

Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

-1/0 – 0 cm **O**

0 – 10 cm **A₁**

EST. HUMEDAD: Seco. EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. COLOR: De la matriz: 10 R 6/4 (seco), 10 R 5/4 (húmedo). MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: muy frecuentes (16-35%), cuarcitas. ESTRUCTURA: granular porosa. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, normal, raíces gruesas. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. EPIPEDIÓN: ÓCRICO.

10 – 30/34 cm **A₂**

EST. HUMEDAD: Seco. EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. COLOR: De la matriz: 10 R 5/4 (húmedo). MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (35-70%), cuarcitas. ESTRUCTURA: Débil, en bloques subangulares. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, normal, raíces gruesas. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. EPIPEDIÓN: ÓCRICO.

30/34 – 97 cm **2Bt₁**

EST. HUMEDAD: Seco. COLOR: No descrito. EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: No hay. ELEMENTOS GRUESOS: muy abundantes (70-90%), depósito sostenido por el esqueleto, de gravillas a bloques > 1 m, rodados, granitos muy alterados pero con biotitas reconocibles y feldespatos muy alterados, esquistos medianamente alterados y gneis. ESTRUCTURA: Sin estructura por la abundancia de elementos gruesos. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, normal, raíces gruesas. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. ESTUDIO DE SUPERFICIES: Pocos revestimientos de material fino asociados a los elementos gruesos. EPIPEDIÓN: ARGÍLICO.

97 – 160 cm **2Bt₂**

EST. HUMEDAD: Seco. COLOR: No descrito. EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: abundantes, asociadas a los elementos gruesos, de alteración (oxido-reducción), color 2,5 YR 2/1 (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: muy abundantes (70-90%), depósito sostenido por el esqueleto, de gravillas a bloques > 1 m, rodados, granitos muy alterados pero con biotitas reconocibles y feldespatos muy alterados, esquistos medianamente alterados y gneis. ESTRUCTURA: Sin estructura por la abundancia de elementos gruesos. SISTEMA RADICULAR: Aspecto global, limitado por materiales esqueléticos, raíces gruesas. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. ESTUDIO DE SUPERFICIES: Pocos revestimientos de material fino asociados a la superficie exterior e interior (planos de fractura) de los elementos gruesos. EPIPEDIÓN: ARGÍLICO.

160 - 220 cm **3Btg₃**

EST. HUMEDAD: Seco. COLOR: No descrito. EST. DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidación. MANCHAS: muy abundantes (>50%), asociadas a los elementos gruesos, de alteración (oxido-reducción), color 2,5 YR 2/1 (húmedo). ELEMENTOS GRUESOS: muy abundantes (70-90%), depósito sostenido por el esqueleto, gravillas y gravas. TEXTURA: Arcillosa. ESTRUCTURA: Sin estructura por la abundancia de elementos gruesos. POROSIDAD: muy alta, quedan espacios vacíos entre los granos de arena. ENSAYOS DE CAMPO: En la matriz, respuesta al HCl (11 %), nula. ESTUDIO DE SUPERFICIES: revestimientos de arcilla y limo, continuos, haciendo puentes entre los granos de arena. EPIPEDIÓN: ARGÍLICO.

Datos analíticos						
Horizonte genético	Profundidad (cm)	pH H ₂ O 1:2.5	Carbono orgánico (%)	Materia orgánica (%)	Nitrógeno Kjeldahl (%)	C/N
A ₁	0-10	5,7	2,3	3,9	0,17	13,6
A ₂	10-35	5,4	0,4	0,6		
2Bt ₁	35-95	5,8	0,3	0,4		
2Bt ₂	95-160	6,5	0,1	0,1		
3Btg ₃	160-170	6,7	0,2	0,3		

Granulometría (%)								
Arena (ø en mm)			Limo (ø en mm)			Arcilla < 0,002 mm	Clase textural USDA	Complejo de cambio
2,00-0,50	0,50-0,05	Total	0,05-0,02	0,02-0,002	Total			CIC cmol+/kg
32	36	69	12	11	24	6	FAr	6
33	32	65	8	12	20	13	FAr	5
29	37	67	6	8	15	17	FAr	4
35	33	68	45	4	9	21	FAGAr	6
36	29	66	6	6	12	20	FAGAr	6

Granulometría de la fracción sin arcillas (%)						
Arena (ø en mm)			Limo (ø en mm)			
2,00-0,50	0,50-0,05	Total	0,05-0,02	0,02-0,002	Total	
34	39	74	13	12	25	
38	37	76	9	14	23	
36	45	81	7	10	18	
45	43	88	5	6	11	
46	37	84	8	7	15	

Horizonte genético	Profundidad (cm)	Mineralogía de arcillas				
		Cl (%)	K (%)	I (%)	Sm (%)	I/Sm (%)
A ₁	0-10	1	6	76	1	16
A ₂	10-35	1	4	83	1	12
2Bt ₁	35-95	-	4	80	1	15
3Btg ₃	160-170	1	5	75	3	15

(diferenciación de Rayos X, Plana y Elvira, 2002)

Cl:Clorita - K:Caolinita - I:Illita - Sm:Esmectita - I/Sm: Interstratificado illita/esmectita

Mineralogía de arenas	Horizonte y Profundidad (cm)				
	A1 0-10	A2 10-35	2Bt1 35-95	2Btg2 95-160	3Btg3 >160
Arena fina (0.05-0.5 mm):					
Minerales pesados (% en peso)	2,0	2,9	3,9	2,9	2,4
Minerales ligeros (% en peso)	95,1	92,9	86,5	92,8	93,2
Arena gruesa (0,5-2 mm):					
Minerales pesados (% en peso)	1,8	1,2	1,3	2,3	1,8
Minerales ligeros (% en peso)	94,8	94,6	93,1	95,5	95,0
Minerales pesados en arena fina (conteo):					
Opacos	5	11	4	9	9
Rutilo	5	9	1	5	2
Kianita	3	-	12	5	3
Sillimanita	1	1	6	-	2
Andalusita	-	-	4	1	-
Staurolita	-	-	1	-	-
Hornblenda	3	1	1	1	3
Augita	3	4	-	2	4
Hiperstena	-	2	1	4	-
Epidota	-	-	-	1	-
Enstatita	-	-	-	1	-
Biotita	20	27	29	14	30
Moscovita	-	-	-	1	-
Fragmentos de roca *	35	24	30	40	35
Alteritas	25	22	11	16	11
Minerales ligeros en arena fina (conteo):					
Cuarzo	48	43	38	40	32
Feldespatos K	13	18	23	13	13
Feldespatos Ca	22	25	34	37	38
Fragmentos de roca **	17	14	5	10	17
Minerales ligeros en arena grande (conteo):					
Cuarzo	39	33	45	30	32
Feldespatos K	13	22	15	20	14
Feldespatos Ca	25	26	12	24	25
Fragmentos de roca **	23	19	28	26	29

* Cuarzitas y Esquistos

** Cuarzitas

Micromorfología

10-35 cm

A₂

POROSIDAD: 60%, microestructura granular porosa. COMPONENTES MINERALES GRUESOS: Arena finas y medias de cuarzos, cuarcitas, plagioclasas, esquistos y micas poco alteradas. MICROMASA: Indiferenciada. COMPONENTES ORGÁNICOS: muy abundantes, restos de raíces, hojas tallos, excrementos y pigmentos orgánicos. EDAFORRASGOS: Inexistentes.

35-95 cm

2Bt₁

POROSIDAD: 50%, microestructura granular fina poco desarrollada. COMPONENTES MINERALES GRUESOS: Arenas de finas a gruesas, heterométricas, subredondeadas, poco granoclasificada de cuarzo, cuarcitas, esquistos agrietados y rubefactados a lo largo de las fisuras, micas parcialmente abiertas. MICROMASA: cristalítica (filamentos de mica y limo de cuarzo). COMPONENTES ORGÁNICOS: Algunos restos de tejidos y pigmentos orgánicos. EDAFORRASGOS: rellenos y revestimientos de arcilla orientada en fisuras y poros dentro y alrededor de elementos gruesos; revestimientos de arcilla microlaminada alrededor de algunas fisuras y planos de esquistosidad de fragmentos de esquistos y cuarcitas, con hiporevestimientos de impregnación de óxidos de hierro de hasta 1 mm de grosor.

95-160 cm

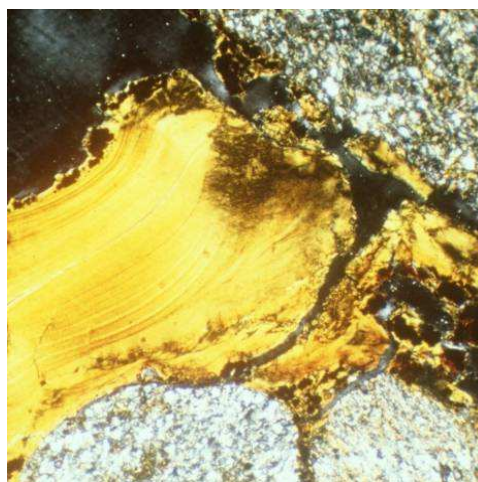
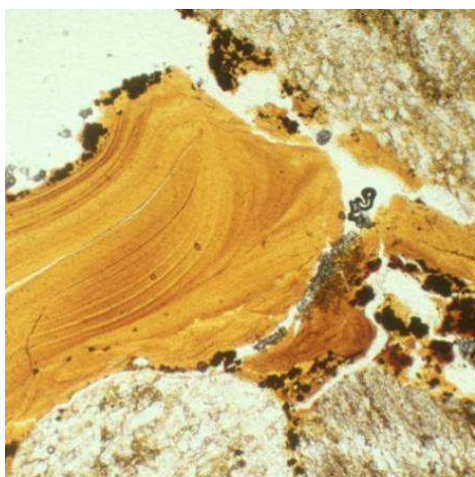
2Bt₂

POROSIDAD: 45%, apedial, huecos de empaquetamiento compuesto. PROPORCIÓN GRUESO/FINO: 2/1. COMPONENTES MINERALES GRUESOS: Arenas finas a gravas, heterométricas, subredondeadas, esquistos silíceos rubefactados y fragmentados, cuarzos, feldespatos, láminas de biotita y moscovita fragmentadas y alteritas. Algunas biotitas muy alteradas. MICROMASA: Arcilla anaranjada, microlaminada y orientada revistiendo y haciendo puentes entre las partículas grandes. COMPONENTES ORGÁNICOS: Algunos restos de tejidos y pigmentos orgánicos. EDAFORRASGOS: Toda la micromasa se encuentra como edaforrasgo en forma de rellenos y revestimientos de arcilla orientada.

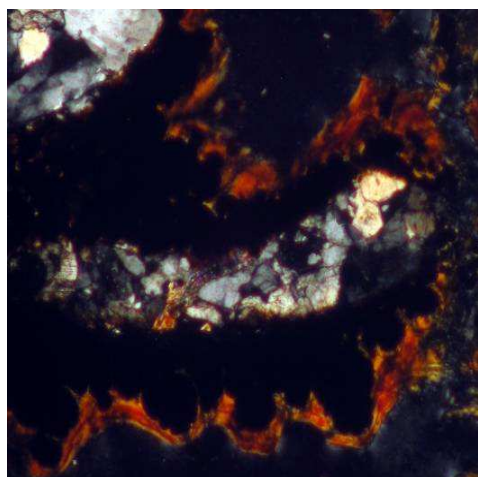
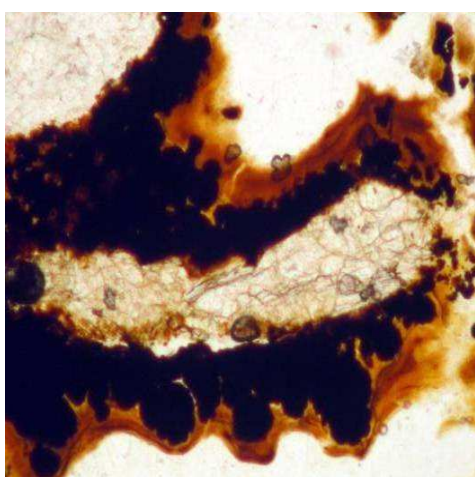
160- 180 cm

3Btg₃

POROSIDAD: 45%, apedial. COMPONENTES MINERALES GRUESOS: De arenas finas a gravas, heterométricas, subredondeadas, esquistos silíceos rubefactados y fragmentados, cuarzos, feldespatos, láminas de biotita y moscovita fragmentadas, más abundantes que en el horizonte superior, y alteritas. Algunas biotitas muy alteradas. MICROMASA: Arcilla anaranjada, microlaminada y orientada revistiendo y formando puentes entre las partículas gruesas. COMPONENTES ORGÁNICOS: algunos restos de tejidos y pigmentos orgánicos. EDAFORRASGOS: Toda la micromasa se encuentra como edaforrasgo en forma de rellenos y revestimientos de arcilla orientada. Nódulos impregnativos agregados en forma de puntuaciones de oxihidróxidos de hierro y manganeso en la micromasa.



FIGURAS 22 Y 23. Revestimientos microlaminados de arcilla iluviada alrededor de los elementos gruesos. Horizonte Bt, perfil CER99-2. (PPL y XPL, Longitud: 2mm).



FIGURAS 24 Y 25. Revestimientos de óxidos de hierro alrededor de un elemento grueso. Horizonte Btg, perfil CER99-2. (PPL y XPL, Longitud: 2mm). Indican condiciones redox anteriores a la iluviación de arcilla.

3.1.8. Referencias bibliográficas

- ANADÓN, P.; CABRERA, L.; JULIÀ, R.; ROCA, E.; ROSELL, L. "Lacustrine oil-shale basins in Tertiary grabens from NE Spain (Western European rift system)". *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, v. 70 (1989), p.7-28.
- AGUSTÍ, J.;ROCA, E. "Síntesis bioestratigráfica de la fosa de la Cerdanya (Pirineos Orientales)". *Estudios Geológicos*, 43 (1987), p.521-529.
- BALASCH, J.C. "La Cerdanya: una fossa tectonica al cor del Pirineu. En: POCH, RM I BOIXADERA, J. "Sòls de la Cerdanya. Guia de camp." Departament de Medi Ambient i Ciències del sòl (UdL), Secció d'Avaluació de Recursos Agraris (Generalitat de Catalunya). Lleida (2008), 189p.
- BECH, J., VALLEJO, VR., JOSA, R., FRANSI, A., FLECK, I. "Study of the podzolic character in acid soils on the high mountain of Andorra-Spain, soil morphology and profiles". *Anales de Edafología y Agrobiología*, 40 (1/2): (1981), p.119-132.
- BECH, N. "Avaluació del cicle del nitrogen mitjançant l'anàlisi de fluxos, aplicació a la comarca de la Cerdanya". PFC, Universitat de Lleida, Lleida (2006).
- BOIXADERA, J., ANTÚNEZ, M., POCH, RM. "Soil evolution along a toposequence on glacial and periglacial materials in the Pyrenees range". *New trends in soil micromorphology, Berlin*, (2008).
- BORDONAU, J.; COPONS, R.; ROCA, E. "Trobada amb la Ciència 1999 al Ripollès i a la Cerdanya. Evidències de paisatges passats. Guia de camp 10-16 de juliol de 1999". (inédita). Dep. de Geodinàmica i Geofísica. Univ. de Barcelona. (1999), 45 p.
- CABRERA, L.; ROCA, E.; SANTANACH, P. "Basin formation at the end of a strike-slip fault: the Cerdanya Basin (Eastern Pyrenees)". *Journal of the Geological Society, London*, 145 (1988), p.261-268.
- CAMPS ARBESTAIN, M., BARREAL M.E.; MACÍAS, F. "Phosphate and Sulfate Sorption in Spodosols with Albic Horizon from Northern Spain". *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66 (2002), p.464-473.
- DELMAS, M. "La déglaciation dans le massif du carlit (pyrénées orientales): Approches géomorphologique et géochronologique nouvelles". *Quaternaire*, 16, (1), (2005) p. 45-55.
- FILLAT, F. "Bosquejo histórico de la actividad pastoril en el pirineo" en *Pastos del Pirineo*. Ed. C.S.I.C. Huesca (2008). p. 25-35.
- GÓMEZ ORTIZ, A."La experimentación periglacial en la alta montaña mediterranea. El caso de las mirofiguraciones geometricas". Ed. Cuadernos de Investigación Geográfica. Tomo VIII. Logroño (1982). p 69-82.
- GÓMEZ ORTIZ, A. "Contribució geomorfològica a l'estudi dels espais supraforestals pirinencs. Gènesi, organització i dinàmica dels modelats glacials i periglacials de la Cerdanya i l'Alt Urgell". Resumen de la tesi doctoral. Publ. Inst. Cartogràfic de Cat., Barcelona. (1987), 161 p.
- GÓMEZ ORTIZ, A.; SALVADOR, F. "Glaciarismo en el extremo oriental del Pirineo: Baixa Cerdanya y sur de Andorra". En C. Martí Bono i J.M. García-Ruiz (eds) "El glaciarismo surpirenaico. Nuevas aportaciones". Ed. Geoforma. Logroño. (1994). p.65-90.
- GÓMEZ ORTIZ, A.; SALVADOR, F., SCHULTE, L., GARCÍA, A. "Evolución térmica de la capa activa en la estación geomorfológico de la planicie La Feixa – La màniga, 2150 m (Macizo

- de Calmquerdós. Pirineo Oriental)". *Procesos biofísicos actuales en medios fríos*. Publicaciones de la Universidad de Barcelona, Barcelona (1998). p. 73-97.
- HERRERO, C. Y BOIXADERA, J. "Sòls forestals per a l'inventari ecològic i forestal de Catalunya del CREAM: Comarca del Bergadà" (1997) DARP. Trabajo inédito. Lleida.
- IGC, ICC. "Mapa geològic comarcal de Catalunya, 1:50.000" (15)". La Cerdanya, Barcelona (2006).
- IUSS Working Group WRB. "World Reference Base for Soil Resources". World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome (2007), 128p.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. "Base Referencial Mundial del Recurso Suelo". Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma (2007), 128p.
- JARAUTA, E. "Modelos matemáticos del régimen de humedad de los suelos. Aplicación a la determinación del régimen de humedad de los suelos del área meridional de Lleida". Universitat Politècnica de Catalunya. Tesis Doctoral (1989).
- JULIÀ, R. "The Neogene lacustrine deposits from the Cerdanya intramontane basin (Eastern Pyrenees)". En J. Catalan I J.L. Pretus (eds): Mid- Congres Excursions. XXV SI Limnology Congress. Barcelona (1992), p.13.1-13.7.
- LEGROS, J.P I BARTHÈS J.P. "Trets fonamentals de la distribució dels sòls de La Cerdanya" En: POCH, RM I BOIXADERA, J. "Sòls de la Cerdanya. Guia de camp." Departament de Medi Ambient i Ciències del sòl (UdL), Secció d'Avaluació de Recursos Agraris (Generalitat de Catalunya). Lleida (2008), 189p.
- MAPA "Métodos oficiales de análisis de suelos" vol. 3. Madrid (1994), 662p.
- MARTÍN-CLOSAS, C. "La Cerdanya: una fossa miocena en el Pirineu". Inst. d'Estudis Penedesencs. Guia de la 8ª sortida de la Secció de Geologia (inédita). (1986), 20 p.
- PEINADO, A. "Lecciones de Climatología. Conceptos y técnicas". INM. Publicación B-21. Madrid. (1985), 111p.
- PEDROL, J. "Introducció a la vegetació de la Cerdanya". En: POCH, RM I BOIXADERA, J. "Sòls de la Cerdanya. Guia de camp." Departament de Medi Ambient i Ciències del sòl (UdL), Secció d'Avaluació de Recursos Agraris (Generalitat de Catalunya). Lleida (2008), 189p.
- PHILLIPS, J. D., MARION, D.A. "Pedological memory in forest soil development". *Forest ecology and Management* 188, (2004), p.363-380
- PLANA Y ELVIRA. "Informe de l'estudi de la mineralogia de sòls de la Cerdanya per difracció de raig X". Ed. Institut Jaume Almera, CSIC, Barcelona (2002).
- POCH, RM I BOIXADERA, J. "Sòls de la Cerdanya. Guia de camp." Departament de Medi Ambient i Ciències del sòl (UdL), Secció d'Avaluació de Recursos Agraris (Generalitat de Catalunya). Lleida (2008), 189p.
- POCH, RM I BOIXADERA, J. "Suelos de montaña y cambio global. Guía de excursión: Los suelos de la Cerdanya." Universitat d'Estiu (UdL), Secció d'Avaluació de Recursos Agraris (Generalitat de Catalunya). Lleida (2010).
- PONS, C. "Usos del sòl: Agricultura" En: POCH, RM I BOIXADERA, J. "Sòls de la Cerdanya. Guia de camp." Departament de Medi Ambient i Ciències del sòl (UdL), Secció d'Avaluació de Recursos Agraris (Generalitat de Catalunya). Lleida (2008), 189p.
- PORTA, J., ARAN, M., VILLAR, J.M. "Estudio de suelos de la Cerdanya. Evaluación APRA el regadío" MAPA. Lleida (1985). 180p.

- ROCA, E. "Estudi geològic de la fossa de la Cerdanya". Tesis de Licenciatura (inédita). Univ. de Barcelona. (1986), 109p.
- ROCA, E. "La fossa de la Cerdanya". En: R. Folch (ed): Història Natural del Països Catalans. Geologia. Ed. Enciclopedia Catalana. Barcelona. Vol. 2. (1992), p.301-305.
- SCHOENEBERGER, P.J., WYSOCKI, D.A., BENHAM, E.C, BRODERSON, W.D. "Field book for describing and sampling soils" Version 2.0. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln (2002).
- SIMO, I. "Base de dades georeferenciada per a l'elaboració d'un mapa de sòls de la Cerdanya". PFC. Universitat de Lleida, Lleida. (2005), 152p.
- SOLÉ SABARÍS, L.; LLOPIS, N. "Mapa Geològic de España 1:50.000. Hoja n. 216. Bellver". Inst. Geol. Min. de España. Madrid. (1947), 109 p.
- SOLÉ SABARÍS, L. "Mapa geològic de España 1:50.000". Hoja n. 217. Puigcerdà. Inst. Geol. Min. de España. Madrid. (1970). 102 p.
- SOUTADE, G. "Aspects du modelé périglaciaire supra-forestier des pyrénées orientales". Butletin de l'Association française pour l'etude da Quaternarie. p. 239-254.
- SSS - Soil Survey Staff. "A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys". 2nd edn. US Dep. Agricult. Nat. Res. Cons. Serv., Washington, DC, Agriculture Handbook 436p. (1999).
- SSS - Soil Survey Staff. "Keys to Soil taxonomy. Ninth edition". SSS Soil Conservation Service. Agric. US Gov printing office. Washington D.C. (2006), 326p.
- SSS - Soil Survey Staff." Keys to Soil taxonomy. Eleventh Edition" , SSS Soil Conservation Service. Agric. US Gov printing office. Washington D.C. (2010), 346p.
- VILA, P. "La Cerdanya". Ed. Empúries. Barcelona (1ª. Edició: Ed. Barcino. Barcelona, 1926) (1987).

4 Itinerario por las comarcas del Penedès y l’Anoia

4.1. Itinerario edáfico por la Denominación de Origen Penedès

Marc Vicens¹, Mariona Losantos¹

(1) Institut Geològic de Catalunya. C/ Balmes 209-211, 08006 Barcelona.

Resumen

Este apartado ofrece una visión general de los principales tipos de suelo que aparecen en el área donde se localiza la Denominación de Origen Penedès. Se reflejan las principales características físicas de la zona (clima, geología, vegetación y usos de territorio) y se presentan, agrupados a nivel de subgrupo, los principales tipos de suelos que se han reconocido en la zona en las distintas cartografías llevadas a cabo.

4.1.1. Introducción

La Denominación de Origen Penedès (DO Penedès) se ubica en la zona de mayor producción vitícola de Cataluña; su ámbito geográfico ocupa unas 155.000 hectáreas y comprende 64 municipios, correspondientes a 7 comarcas diferentes (figura 1).

Este territorio presenta una personalidad acusada, con pequeños promontorios, montañas visibles en la lejanía, clima seco y predominio de la viña, lo que le confiere un paisaje peculiar (figura 2).

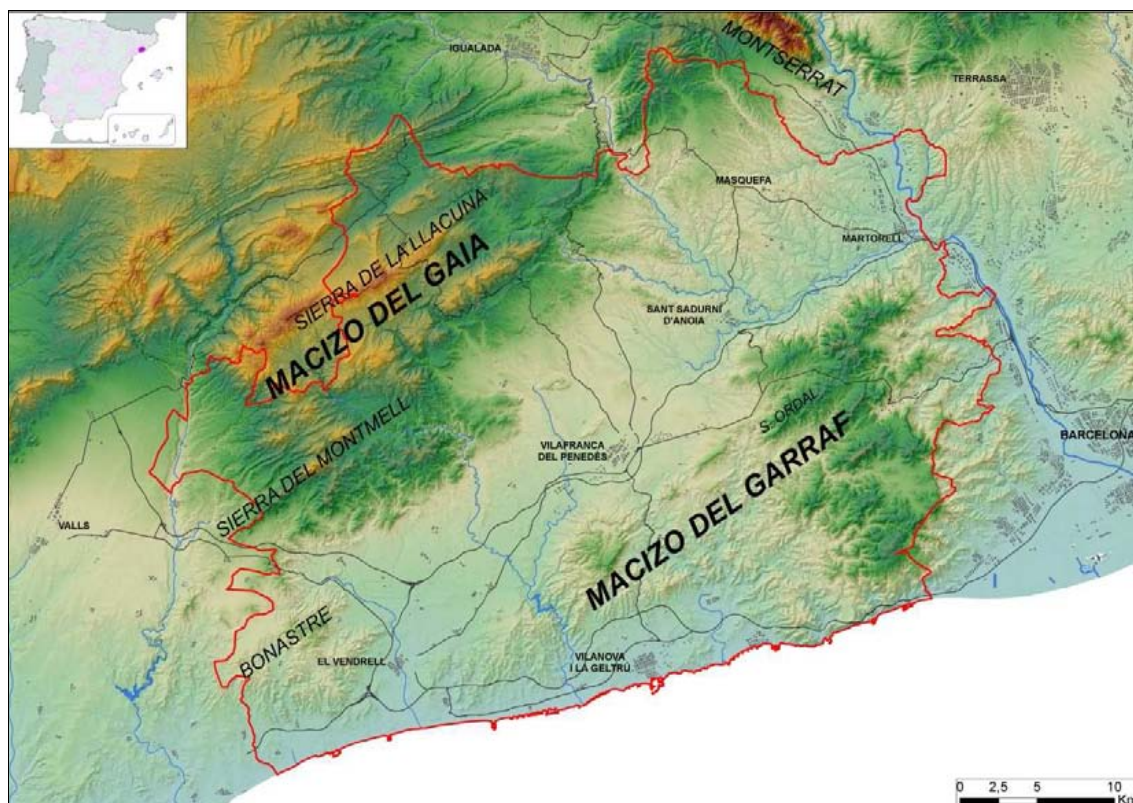


FIGURA 1. Localización de la DO Penedès.

Por lo que respecta al relieve, la DO Penedès no es más que el extremo meridional de la Depresión Prelitoral Catalana. Esta fosa, larga y estrecha, limita al SE con las montañas que forman el Macizo de Garraf, que se elevan hasta cerca de 600 m, y al NO con una franja de la Sierra Prelitoral, entre el Montmell y Montserrat, con alturas que rozan los 1.000 m.



FIGURA 2. Vista panorámica del Penedès desde el puerto del Ordal.

Las dos sierras que enmarcan la zona son paralelas y se extienden de NE a SO pero, cerca de su extremo sur, sufren un cambio importante. Por una parte, la Sierra Prelitoral forma una especie de espolón transversal, (el bloque del Gaià), que se prolonga en dirección N-S, y cierra la comarca por poniente. Por otra parte, la sierra Litoral, que forma relieves importantes en la parte septentrional donde dan lugar incluso a la denominación de Costa Brava del Garraf, pierde altura a medida que avanza hacia el sur y forma una especie de fachada litoral, cada vez más ancha y que, cuando la montaña desaparece a la altura de Calafell, acaba soldándose con la depresión interior. De esta forma, la fosa del Penedès, por la zona sur (entre el Vendrell y Calafell) se abre directamente al mar a causa de la progresiva desaparición del relieve del Macizo de Garraf.

El Penedès presenta un umbral transversal que lo divide en dos sectores; al NE la cuenca hidrográfica del río Anoia, afluente del Llobregat, y al SO la cuenca del río Foix y sus afluentes que vierten sus aguas directamente al Mediterráneo.

En resumen, en el relieve del Penedès se pueden distinguir las siguientes unidades:

- Sierra Prelitoral, constituida por los macizos del Montmell, La Llacuna y Montserrat
- Depresión del Penedès
- Sierra Litoral, constituida por el Macizo de Garraf
- Fachada litoral del Penedès

La alineación establecida por las sierras que configuran la DO Penedès determina, como es lógico, sus comunicaciones. Por ese motivo los principales ejes de la comunicación que atraviesan el territorio (autopista AP-7, carretera nacional N-340, tren de Alta Velocidad y línea férrea Barcelona-Tarragona) siguen la dirección NE-SO.

4.1.2. Descripción general de la zona

4.1.2.1. Clima

En líneas generales, el clima del Penedès es típicamente mediterráneo, es decir suave y cálido, propio del litoral y el prelitoral catalán.

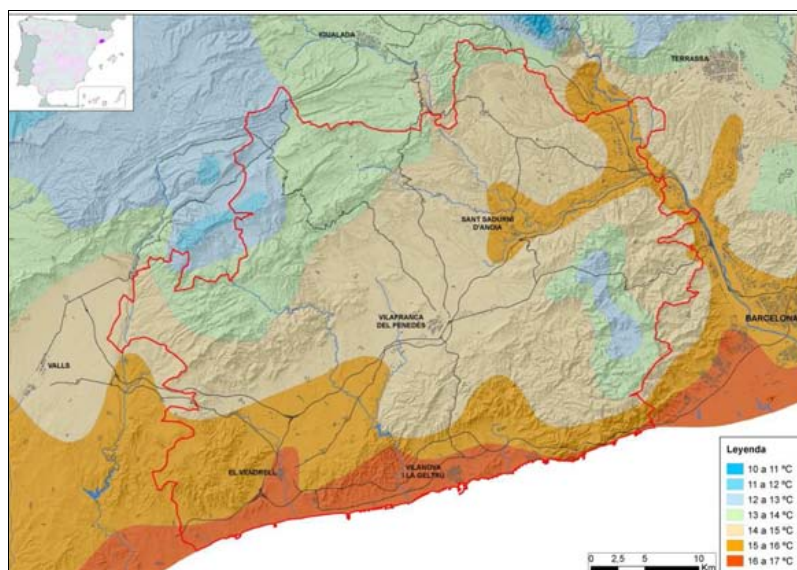


FIGURA 3. Mapa de temperatura media anual en la DO Penedès.

La temperatura media anual varía de 12,5 °C a 16,5 °C (figura 3). Los inviernos son moderados, con unas medias de 7 °C a 8 °C, y los veranos son calurosos, de 22 °C a 24 °C; lo que comporta una amplitud térmica anual media-alta. Las temperaturas mínimas se producen en enero (2-5 °C) y las máximas en julio (28-34 °C).

Las heladas suelen producirse entre el 1 de noviembre y finales de abril, aunque en algunos lugares se han producido daños más tardíos debidos a vientos fríos.

La precipitación media anual está entre 550 mm y 600 mm, aunque en algunos puntos se acerca a los 750 mm (figura 4). El máximo se da claramente en otoño (175 mm) y el mínimo en verano (84 mm). Son habituales las tormentas de elevada intensidad (>100 mm h-1), en periodos cortos de tiempo.

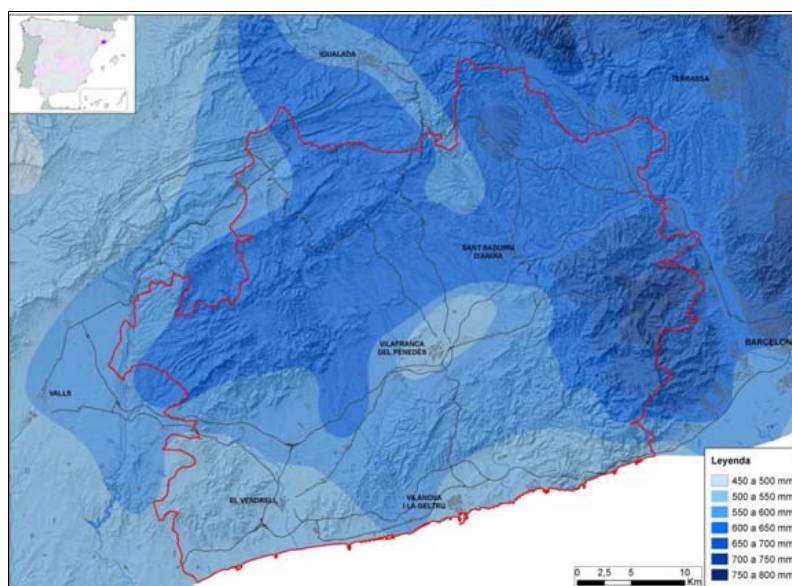


FIGURA 4. Mapa de precipitación media anual en la DO Penedès.

La evapotranspiración del cultivo de referencia ET₀, según el método Penman-Monteith, varía entre 890 y 1035 mm; con máximos en julio-agosto (145 mm) y mínimos en diciembre (25 mm).

A causa de su configuración orográfica, el Penedès queda protegido de los vientos fríos aunque la comarca está abierta al cierzo y a los vientos de poniente, y en verano predominan las brisas marinas, también denominadas marinadas en la zona.

Todas estas características del clima, unido a la proximidad del litoral y a la gran variación en altitud (se pueden encontrar viñas hasta los 700 m), hacen que la zona de la DO Penedès disponga de una gran diversidad de microclimas.

Los regímenes de humedad y temperatura se estiman en xérico y térmico, respectivamente (SSS, 1999).

4.1.2.2. Geología

El área que ocupa la DO Penedès está situada en la Cadena Costera Catalana, una de las tres unidades geológicas mayores de Cataluña junto a la Cuenca del Ebro y los Pirineos. Constituye una pequeña cordillera de intraplaca alpina (paleógena) sobre la cual se superpone un sistema de fallas en extensión más reciente (neógeno).

El Penedès forma parte de un segmento de esta cadena, muy variado geológicamente a causa de la diversidad de materiales que lo constituyen y de la superposición de estructuras y procesos geológicos que se han sucedido en ésta zona.

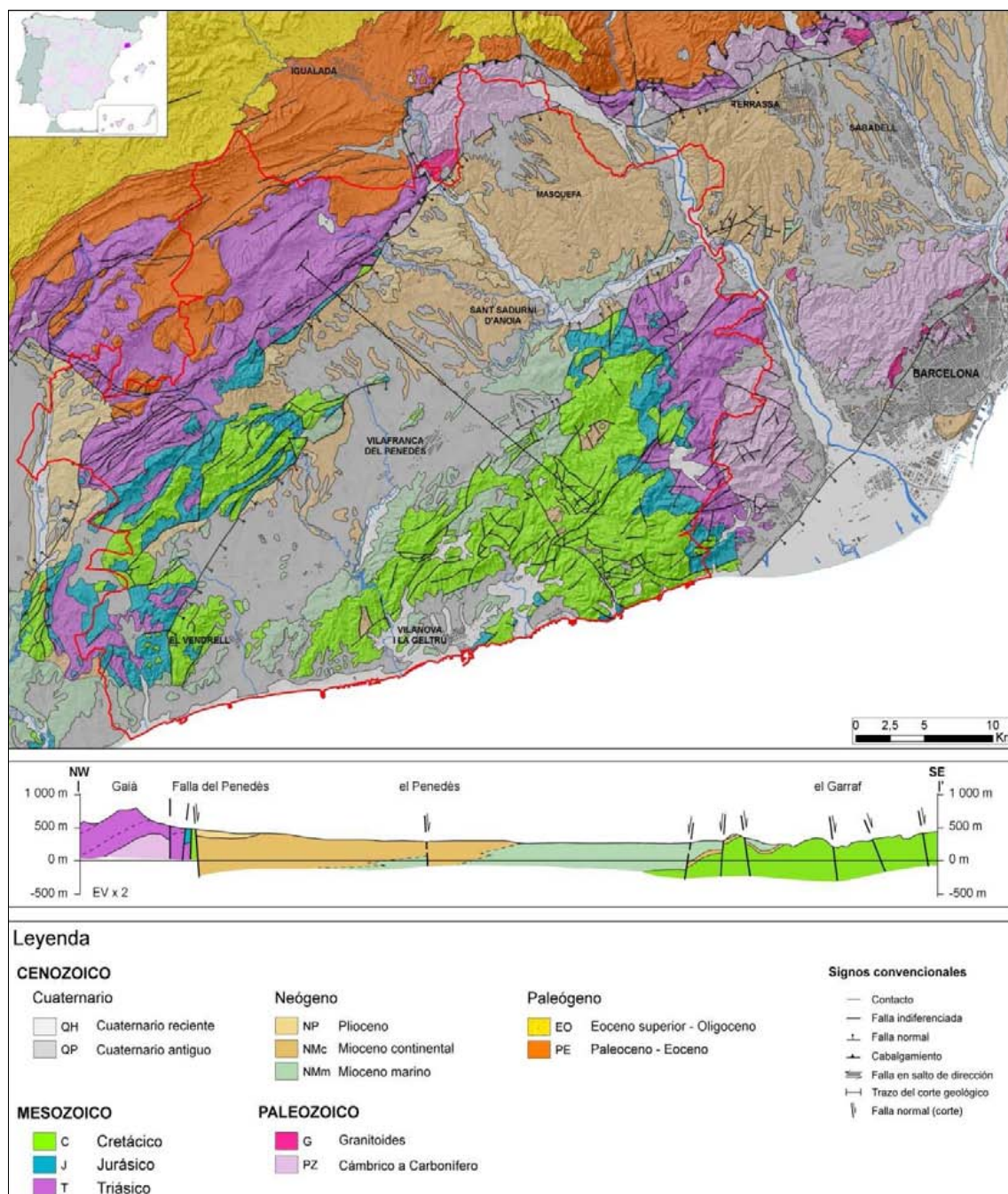


FIGURA 5. Mapa geológico de la DO Penedès y su entorno; corte geológico de la depresión del Penedès.

4.1.2.2.1. Los materiales

El registro sedimentario de este segmento de la Cadena Costera catalana es bastante completo e incluye rocas del Paleozoico, el Mesozoico y el Cenozoico (figura 5).

Paleozoico

Las rocas paleozoicas afloran en la Sierra Litoral, en concreto en el extremo NO del Macizo de Garraf, y constituyen el sustrato de los materiales mesozoicos; también se reconocen en la Sierra Prelitoral, aunque aquí con menor extensión y en una posición estructural anómala debida a la tectónica alpina.

En el Macizo de Garraf la serie paleozoica está formada por series monótonas de alternancias de areniscas y pizarras grises que se atribuyen al Cambro-Ordovícico. Les siguen las pizarras negras características del Silúrico y un tramo de calizas y dolomías con restos de fauna marina (crinoideos y cefalópodos) del Silúrico superior y Devónico inferior. Estos están localmente recubiertos por areniscas y pizarras de color gris verdoso con algunos niveles de microconglomerados de cantos de cuarzo, atribuidas al Carbonífero.

En la Sierra Prelitoral solo afloran las areniscas y pizarras del Cambro-Ordovícico; en ellas se emplazó un pequeño cuerpo de granitoides, de edad Pérmica, que aflora en Vallbona d'Anoia. A su alrededor se formaron corneanas características de la aureola de metamorfismo de contacto.

Mesozoico

El conjunto sedimentario mesozoico aflora en las sierras Litoral y Prelitoral y presenta una serie muy completa que abarca desde el Triásico al Cretácico. En el Macizo de Garraf reposa discordante sobre los materiales paleozoicos, pero en el Gaià la base de la serie mesozoica no aflora.

El Triásico se presenta con sus tres tramos característicos: los niveles inferiores son conglomerados de cantos de cuarzo (70-150 m) seguidos de areniscas cuarzosas y lutitas rojas (90 m) en facies Buntsandstein; estos materiales corresponden a sedimentos de llanura aluvial. Sobre ellos se reconocen un nivel de dolomías grises y claras (75 m), un tramo de areniscas y lutitas rojas (70 m) y un segundo nivel de dolomías grises (100 m) en facies Muschelkalk. Los tramos dolomíticos se interpretan como depósitos de plataforma marina de poca profundidad, mientras que los niveles de areniscas y lutitas rojas corresponden a depósitos de llanura aluvial. A techo de éste conjunto se hallan arcillas y margas abigarradas, localmente con yesos (150 m), típicas de las facies Keuper. Se trata de sedimentos de llanura aluvial y de *sebkha*. Sobre ellos se reconoce localmente un nivel de dolomías tableadas (15 m) que corresponden al techo de la serie triásica (figura 6).

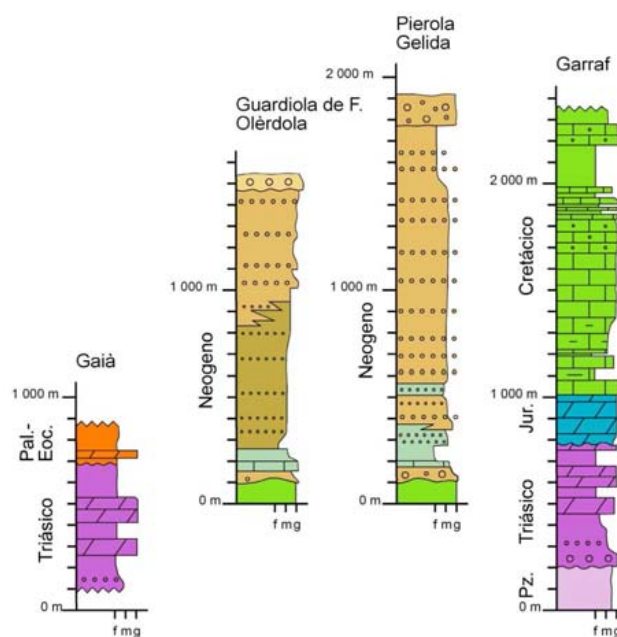


FIGURA 6. Columnas estratigráficas sintéticas del Mesozoico y Cenozoico.

El Jurásico aflora en el Macizo de Garraf y en las sierras de Bonastre y de Montmell, sobre los tramos superiores triásicos. Está constituido por brechas dolomíticas y dolomías grises, en bancos o masivas (250 m) (Fms. Cortes de Tajuña, Cuevas Labradas, les Agulles y superiores de Garraf). Localmente se reconocen las calizas originarias en sectores que no se vieron afectados por la intensa dolomitización, que también obliteró los restos fósiles que permitirían determinar con precisión la edad de éstas dolomías. En conjunto se interpretan como sedimentos de plataforma carbonatada de muy poca profundidad y en ambientes de aguas salobres. Sobre éstas se encuentra el primer nivel de calizas (50 m), parcialmente dolomitizadas (Fm. la Pleta), con abundante fauna y flora fósil, que abarca la parte alta del Jurásico y el inicio del Cretácico. Corresponden a sedimentos de plataforma muy somera, de llanura mareal y de ambientes de aguas salobres.

El Cretácico inferior aflora ampliamente en el Macizo de Garraf, en Montmell y en Bonastre, con espesores que alcanzan los 1.200 m (figura 7). En Garraf, sobre las calizas del tránsito Jurásico-Cretácico se reconoce un tramo de calizas y margas fosilíferas ocreas (15 m) depositadas en medios lacustres (Fm. Magraners). Por encima se disponen calizas arenosas y bioclásticas (50 m) con restos de fauna marina (Fm. los Polacos); y sobre ellos se reconoce en Bonastre un nivel de lateritas, que indican un episodio de emersión. La serie continua con un



FIGURA 7. Calizas del Cretácico inferior en el Macizo de Garraf.

tramo de calizas con margas intercaladas, calizas margosas y calizas ricas en restos de fauna marina (650 m) que corresponde a sedimentos lacustres, de plataforma marina de poca profundidad y plataforma marina abierta (Fm. les Artoles). Sobre este conjunto calizo se reconoce un tramo de margas de color gris verdoso con restos de radiolarios y ammonites (250 m) que afloran en el sector central de Garraf (Fm. Vallcarca); son sedimentos propios de cuenca más profunda. A techo tienen un segundo conjunto calizo (100 m), con abundante fauna de plataforma marina (Fm. Pujol Florit). Los niveles más altos del Cretácico inferior sólo afloran en Montmell; se trata de calizas lacustres y arcillas rojas (Fm. Montmell), que indican otro episodio de emersión.

El Cretácico superior está escasamente representado, sólo se reconocen las margas y calizas del Cenomaniense en Montmell (Fm. Can Xuec).

Cenozoico

En esta zona el registro sedimentario cenozoico se divide en dos grupos claramente diferenciados tanto por su edad como por el área de afloramiento: los materiales Paleógenos forman parte del margen oriental de la Cuenca del Ebro y recubren parcialmente la Cadena Costera catalana mientras que los neógenos rellenan las cuencas que se superponen a ésta.

Paleógeno

Las rocas sedimentarias paleógenas afloran exclusivamente en la Sierra Prelitoral, en concreto en las sierras de la Llacuna. Se disponen en discordancia sobre las arcillas del Triásico superior. El área de afloramiento es relativamente reducida en la DO Penedès. El tramo basal está constituido por arcillas rojas con restos de gasterópodos (20-30 m), en las que localmente se reconocen niveles de paleosuelos. Se interpretan como sedimentos aluviales y lacustres y son del Paleoceno; corresponden a la Fm. Mediona. Recubriendo las arcillas hay un tramo de dolomías (30 m) con restos de foraminíferos (Fm. Orpí) que corresponden a sedimentos de plataforma marina muy somera. Los materiales que las recubren son margas y arcillas rojizas, grises o verdosas, de origen aluvial y lacustre, con intercalaciones de calizas lacustres. Están recubiertas por arcillas y lutitas aluviales rojizas con algunas intercalaciones de areniscas y más localmente de yesos. Este conjunto se atribuye al Eoceno y constituye los tramos inferiores del Gr. Pontils. En ésta zona no se han conservado sedimentos paleógenos más recientes.

Neógeno

Los sedimentos neógenos ocupan toda la Depresión del Penedès. El relleno de esta cuenca sedimentaria estuvo condicionado por la actividad de las fallas, la formación de los relieves circundantes, los aportes de la red fluvial y las variaciones del nivel del mar (figura 8). El registro sedimentario neógeno se acumuló sobre las superficies de erosión que se desarrollaron durante el Paleógeno sobre los materiales carbonatados mesozoicos del Macizo de Garraf.



FIGURA 8. Sedimentos neógenos.

En el Penedès los materiales neógenos más antiguos afloran en el margen SE de la depresión y los más recientes en el NO. Los niveles inferiores están adosados y recubren los carbonatos mesozoicos del Macizo de Garraf y del extremo NE de Bonastre; también rellenan las pequeñas depresiones internas, como las del Ordal, Olesa de Bonesvalls, Olivella, Canyelles y Foix. Localmente se conservan restos de los paleosuelos desarrollados sobre las calizas mesozoicas. Los primeros niveles neógenos están formados por brechas heterométricas de bloques y cantos calizos, a las que siguen conglomerados, areniscas y lutitas de un color rojo intenso característico, que se interpretan como depósitos de piedemonte y torrenciales respectivamente; localmente tienen intercalados niveles de calizas lacustres. Este tramo tiene una continuidad lateral irregular y un grosor en superficie de entre 30 y 60 m, que aumenta hacia el NO. En Vilobí, intercalado en los niveles detríticos aluviales rojos se encuentra un nivel de yesos que alcanza 60 m de espesor; se interpretan como depósitos de antiguas sebkhas litorales. Todo éste conjunto constituye el llamado Complejo Continental Inferior y es de edad Aquitaniense y Burdigaliense inferior (Mioceno inferior).

Sobre el Complejo Continental inferior o directamente sobre el sustrato mesozoico se depositó un conjunto de sedimentos de litología y ambientes sedimentarios muy diversos: en los sectores septentrional y occidental de la cuenca se depositaron sedimentos detríticos aluviales; en los márgenes S y SO se formaron calizas de plataforma marina, que reflejan el ascenso del nivel del mar en esta época; en la zona central se acumularon sedimentos detríticos de abanicos litorales y sistemas deltaicos, de bahía y de estuario. La disposición general de estos materiales está reflejada en la figura 9. El conjunto de sedimentos marinos y

de transición también está recubierto parcialmente por sedimentos continentales. Todos los materiales descritos son del Mioceno.

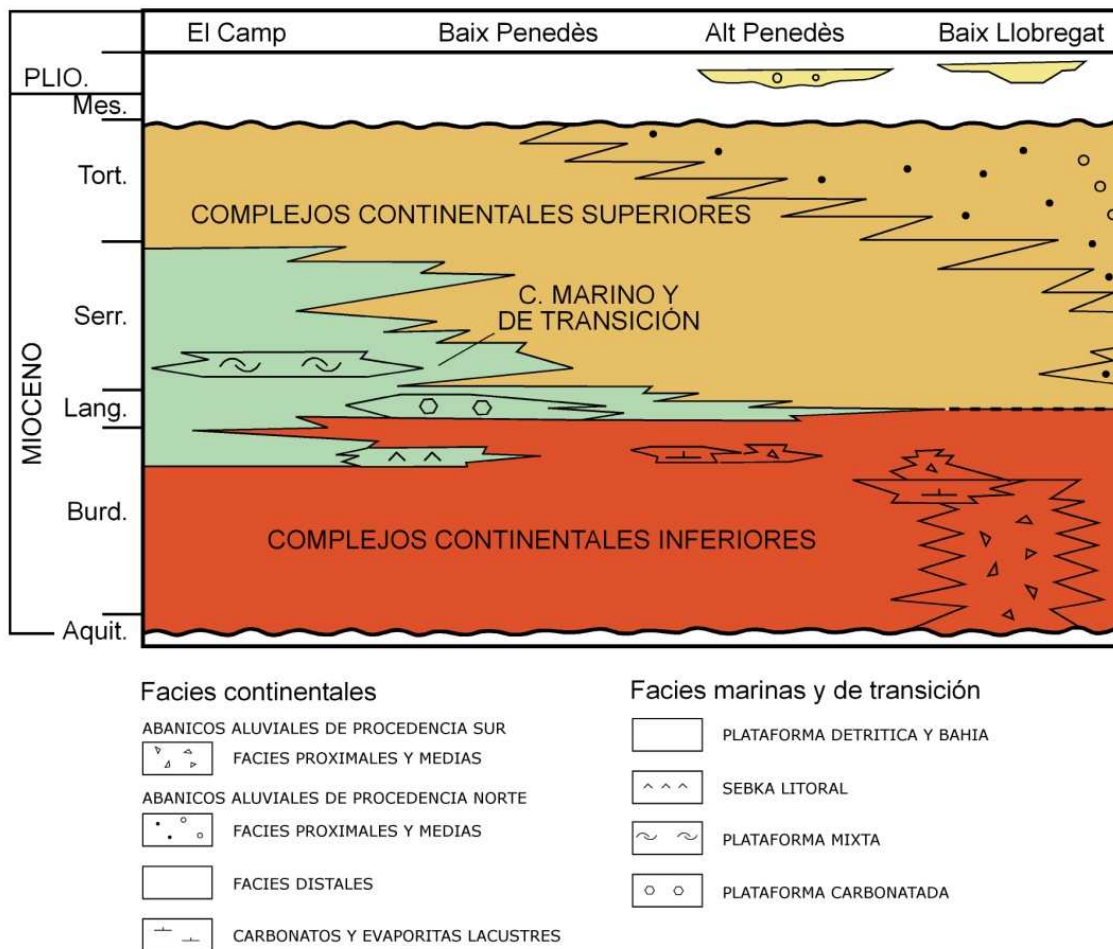


FIGURA 9. Esquema estratigráfico de la cuenca neógena del Penedès (modificado de Cabrera *et al.*, 1991).

Los materiales del llamado Complejo Marino afloran en el margen NO del Macizo de Garraf y en el extremo NE de la Sierra de Bonastre. Está formado por calizas arrecifales, coralinas y algales, así como por margas y limos ocres o amarillentos entre los que se encuentran niveles de calizas bioclásticas y calcarenitas (figura 10). Afloran, entre otros lugares, en Sant Pau d’Ordal y Sant Miquel d’Olèrdola. El conjunto marino tiene unos 100 m de grosor, que aumenta hacia el SO. Se depositaron en un golfo extenso que ocupaba buena parte de Penedès. Este conjunto está recubierto por sedimentos de plataforma marina detrítica, areniscas, limos y lutitas, de colores grises o rosados, depositados en las zonas sumergidas de los abanicos aluviales costeros y deltas, y que forman el llamado Complejo de Transición. Estos materiales se relacionan lateralmente con los tramos inferiores del Complejo Continental superior (figura 9). Los sedimentos marinos del Penedès son del Langhiense (Mioceno medio) y en las zonas más cercanas a la costa actual posiblemente más recientes (Serravaliense).



FIGURA 10. Calizas arrecifales.

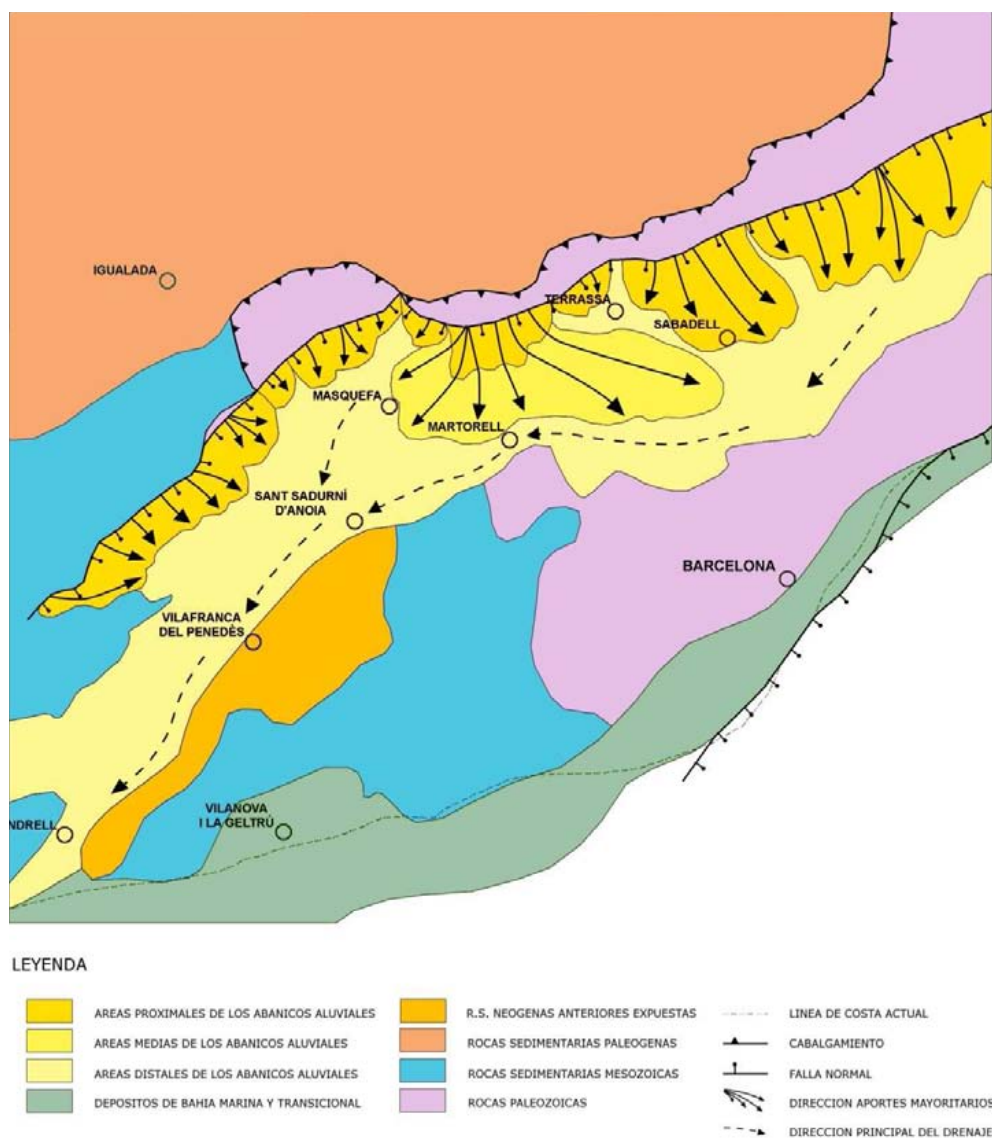


FIGURA 11 Esquema de distribución de los abanicos aluviales del Mioceno medio y superior. De Casanovas-Vilar *et al.*, 2008.

El Complejo Continental superior está formado por un conjunto de abanicos aluviales adosados a la Sierra Prelitoral; se trata de los abanicos de Collbató, els Hostalets de Pierola, y el conjunto de abanicos aluviales coalescentes de Torroelles de Foix (figura 11). En todos ellos se reconocen al NO las facies proximales, en las que predominan los tramos conglomeráticos que difieren en la composición de los cantos; en los tramos medios predominan los niveles de areniscas ocreas o rojizas mientras que los tramos distales son predominantemente lutíticos (figura 12), localmente con desarrollo de paleosuelos y niveles lacustres. En la zona de Els Hostalets de Pierola hay yacimientos fosilíferos de gran importancia. El grosor de sedimentos varía de una zona a otra y es aparentemente mayor en el área del abanico de Els Hostalets de Pierola (más de 1.250 m) y más reducida hacia el SO (más de 750 m). Los niveles inferiores se relacionan lateralmente con el complejo de Transición. Todo éste conjunto es del Langhiense, Serravaliense y Tortoniense (Mioceno medio y superior).

Al final del Mioceno, durante el Messiniense, tuvo lugar un descenso muy acusado del nivel del mar y un episodio erosivo muy importante, durante el cual se formaron superficies de erosión y se reconfiguró la red fluvial.



FIGURA 12. Complejo continental superior.

Los depósitos del Plioceno se reconocen en el margen NO de la cuenca del Penedès; se disponen discordantes sobre los materiales miocenos recubriendo la paleosuperficie de erosión mesiniense. Están formados por sucesiones de lutitas, arenas y gravas aluviales de colores rojizos, formando abanicos aluviales de poca extensión. El espesor del conjunto es relativamente reducido, de unos 100 m. Localmente, cerca de la costa actual, se han identificado sedimentos litorales pliocenos.

Cuaternario

Los depósitos y las formas erosivas del cuaternario han estado fuertemente condicionados por las oscilaciones del nivel del mar. En el Penedès se diferencian dos dominios, limitados por un umbral que discurre entre las sierras Prelitoral y Litoral, de Guardiola de Fontrubí a la Granada: al NE, los cursos de los ríos de Bitlles, Anoia y el arroyo de Masquefa, afluentes del río Llobregat, y al SO, la cuenca del río Foix y sus afluentes y los arroyos que vierten sus aguas directamente al Mediterráneo.

En el sector septentrional y durante el Pleistoceno medio, se formaron abanicos aluviales relativamente extensos procedentes de la Sierra Prelitoral, entre los que destacan el de Collbató-Esparreguera y el de Piera. Están formados por gravas con matriz arenosa o limosa y lutitas rojizas, con un grado de cementación variable. En el abanico aluvial de Collbató-Esparreguera se desarrollaron horizontes petrocálcicos de grosor métrico. A su vez, y en paralelo al encajamiento de la red fluvial, se formaron hasta 5 sistemas de terrazas fluviales, progresivamente más encajadas. Las más antiguas están formadas por gravas con matriz arenosa en la base que pasan a arenas y limos con niveles de cantos y finalmente a limos ocreos a techo de la unidad. A menudo en el tramo superior se reconocen nódulos y horizontes carbonatados. En conjunto corresponden al Pleistoceno medio y superior. Las terrazas inferiores también están formadas por un conjunto detrítico granodecreciente, con gravas, arenas y limos a techo. Se atribuyen al Pleistoceno superior y Holoceno. En todo este sector la red de drenaje está fuertemente encajada, de modo que el sistema de terrazas se dispone en un intervalo topográfico superior a 150 m.

En el sector meridional el desarrollo y encajamiento de la red de drenaje no está tan bien estructurado como en el septentrional. Los diversos sistemas de abanicos aluviales y de terrazas se disponen en un intervalo topográfico inferior a 100 m. Los depósitos cuaternarios ocupan extensiones muy amplias. Están formados por gravas con matriz arenosa y limos, en general de grosor métrico. En conjunto pueden atribuirse al Pleistoceno superior y al Holoceno.

Además de los depósitos detríticos, durante el Cuaternario se formaron acumulaciones de travertinos de considerable extensión en Sant Quintí de Mediona y en Capellades.

4.1.2.2.2. Estructura y evolución geológica

El Sistema Mediterráneo es una unidad de relieve compleja formada por fragmentos de la antigua Cadena Costera catalana cortados por grandes fallas normales que delimitan las fosas neógenas, de tal modo que se reconocen diversas estructuras de distintas edades, que afectan al conjunto Paleozoico, Mesozoico y Paleógeno de la Cadena Costera y a los materiales Neógenos de las fosas.

Los materiales paleozoicos están afectados por las estructuras de plegamiento hercínicas que no se tratará en detalle en esta introducción.

A la orogenia hercínica sucedió un período de emersión y erosión generalizada al final del cual se habían arrasado los relieves formados durante la misma. En discordancia sobre esta paleosuperficie se depositaron las series Triásica y Jurásica, aunque esta última con importantes yatos sedimentarios. Durante el Cretácico inferior el área estuvo ocupada por la zona marginal de una cuenca sedimentaria extensa, posiblemente limitada por un sistema de fallas que separaría el dominio del Gaià, sin registro cretácico, del de Bonastre, Montmell y Garraf, con series del Cretácico inferior muy potentes. Algunas de estas fallas se reactivaron posteriormente. Durante el Cretácico superior toda ésta zona estuvo emergida y sometida a erosión y formación de paleosuelos.

Al inicio del Paleoceno empezaron a acumularse sedimentos en el borde oriental de la Cuenca del Ebro, sobre los materiales triásicos del bloque del Gaià.

Durante el Paleógeno, en el contexto tectónico transpresivo alpino, se formaron las estructuras que definen la Cadena Costera Catalana. Se trata de un conjunto de pliegues, fallas inversas y cabalgamientos que afectaron a los materiales paleozoicos y mesozoicos y, parcialmente, a los sedimentos paleógenos pretectónicos y a los coetáneos a la deformación. Estas estructuras discurrían cerca del límite oriental de la Cuenca del Ebro. En la Sierra Prelitoral se reconocen pliegues en dirección NE-SO, sistemas de fallas de salto en dirección y pequeñas láminas cabalgantes que corresponden a este episodio deformativo.

La configuración paleogeográfica era radicalmente distinta a la actual: los materiales mesozoicos que forman actualmente el substrato de la cuenca del Penedès (Bonastre y Montmell y el Garraf) constituían un solo bloque elevado con el del Gaià, que cabalgaba al margen de la cuenca del Ebro, donde se depositaban los sedimentos detríticos producto de la erosión de este antiguo macizo. Estos materiales tienen su mejor representación en los conglomerados de Montserrat y de Montclar. Los vestigios de la estructura compresiva alpina se reconocen en el límite SE de la Sierra Prelitoral: son el conjunto de pliegues del Gaià, la falla de salto en dirección siniestra de Torres y las láminas cabalgantes de materiales paleozoicos de El Bruc, así como otras menores.

Pero tanto la morfología como la distribución de materiales que se reconoce actualmente en el área de la DO Penedès son el resultado del último episodio deformativo, de edad neógena, que se superpone a las estructuras anteriores. Desde finales del Paleógeno esta zona ha estado sometida a un régimen tectónico extensivo, relacionado con la abertura del Golfo de Valencia, que comportó la formación de las fallas normales en dirección NE-SO con los bloques SE hundidos. Estas fallas delimitan las semifosas y las cuencas sedimentarias que se desarrollaron y rellenaron parcialmente desde el Mioceno hasta la actualidad.

En esta zona se formó la falla del Penedès, que se superpone y aprovecha parcialmente la anterior falla paleógena. Esta estructura tiene un salto de falla superior a los 1.000 metros y limita la Sierra Prelitoral de la Depresión del Penedès. El hundimiento ocurrió mayoritariamente durante el Mioceno.

El sustrato mesozoico de la D.O. Penedès también está afectado por numerosas fallas sintéticas y antitéticas que a grandes rasgos son paralelas a la Falla del Penedès, aunque de menor salto. En la Depresión del Penedès se reconocen en los altos de Pacs y de Vilobí, donde afloran los materiales mesozoicos del sustrato; en la zona de Gelida y Sant Sadurní d'Anoia, el límite SE de la cuenca está localmente fallado y en el Macizo de Garraf hay un sistema de fallas que delimitan pequeñas cuencas neógenas intramontañosas y la cuenca de Vilanova. También se reconocen fallas en dirección NO-SE como la de Vallcarca, en Garraf.

4.1.2.3. Vegetación

La DO Penedès se sitúa en el dominio del encinar calcícola y de la maquia. El dominio del encinar litoral (*Quercetum ilicis galloprovinciale*) impera en la mayor parte del sector central, excepto en las áreas más costeras e interiores, donde se presentan diferentes variantes, más enriquecidas en carrasca (*Quercus ilex subsp. Ballota*). Sin embargo, las características de los suelos hacen que este dominio sea hipotético, y que los pinares de pino carrasco sean las únicas formaciones forestales que se puedan esperar (figura 13).

El dominio de la maquia de coscoja y palmito (*Querco-Lentiscetum*) abarca toda el área costera que arranca en el Macizo de Garraf, pasado el río Llobregat, y cubre las zonas más llanas y las laderas litorales por debajo de los 100-200 m.

La agricultura ha transformado de forma patente toda el área, de forma que ninguna zona accesible se ha escapado a su influencia. Además de los importantes núcleos de población e industria (Vilafranca del Penedès, Vilanova i la Geltrú y el Vendrell), el litoral ha experimentado un fuerte desarrollo con la actividad turística, promoviendo una urbanización dispersa en todo el territorio y, a menudo, caótica y desordenada.



FIGURA 13. Vegetación típica del Penedès.

Otro elemento destructor de máxima importancia ha sido el fuego forestal. A partir de la década de los setenta, el número e intensidad de los incendios ha aumentado, hasta el punto que podemos considerar que la práctica totalidad del área forestal situada por debajo de los 1.000 m ha resultado más o menos dañada.

El pinar de pino carrasco (*Pinus halepensis*) es la formación forestal más importante de la vegetación actual. Constituye, desde masas densas que son verdaderos bosques mixtos de pino y encina o de pino y carrasca, hasta poblaciones dispersas que apenas llegan a recubrir la superficie del suelo. El caso más común, sin embargo, es encontrarnos un matorral calcícola con un estrato arbóreo de pino carrasco.

Los bosques planifolios presentan un papel mucho menos destacado. No obstante, todavía se pueden encontrar algunas muestras de encinares y carrascales en las partes bajas de Montserrat y en algún sector poco accesible.

La maquia litoral de coscoja y palmito prácticamente ha desaparecido del territorio y ha sido substituida por una vegetación arbustiva de romero, brezo y tomillo o, simplemente, por cultivos y edificaciones. No obstante, a lo largo de todo el litoral de la costa del Garraf, quedan algunas áreas relictas.

La vegetación hidrofítica no presenta mucha importancia paisajística en la zona. Los torrentes permanecen secos la mayor parte del año y dan lugar a comunidades riparias perennifolias, como las formaciones de adelfas. Los restos del bosque de ribera que aparecen en el área de la DO Penedès corresponden a alamedas (*Vinco-Populetum albae*).

La agricultura ocupa las zonas llanas y las laderas más suaves, aunque en épocas de escasez o de gran demanda, incluso las laderas con más pendiente fueron abancaladas o aterrazadas para su uso. Domina con gran diferencia la viña, pero también encontramos algo de olivo, almendro, algarrobo, cereal de invierno y frutales.

Como vegetación arvense encontramos las comunidades anuales de rabaniza blanca (*Diploxietyum erucoïdis*), bien en su variante típica con lechetrezná de campo o, en casos de máxima nitrificación, con cenizos, amarantos, ortigas y cardos.

4.1.2.4. Usos del territorio

La agricultura tiene una fuerte implantación en la DO Penedès, favorecida por las condiciones naturales favorables: topografía plana en gran parte del territorio, buen clima y suelos de buena calidad (figura 14).

La viña ocupa actualmente unas 26.500 ha en el área geográfica de la DO Penedès, con unas densidades de 2.300 a 3.000 cepas por hectárea; sin embargo, algunas variedades emparradas como Chardonnay o Pinot Noir llegan a densidades de hasta 5.000. El paso de los cultivos tradicionales, como el cereal y el olivo, a la plantación de viña se acentuó a mediados del siglo XIX, con los problemas provocados por la filoxera en Francia. Las variedades blancas más cultivadas son Macabeo, Parellada, Xarello y Chardonnay. Por lo que respecta a las variedades negras destacan Garnacha, Tempranillo, Merlot, Cabernet-Sauvignon y Pinot Noir. Este cultivo se dedica a la producción de vinos de alta calidad y cavas bajo las normas de sus respectivas denominaciones de origen, Penedès y Cava.



FIGURA 14. Agricultura en el Penedès.

El segundo cultivo en extensión es el cereal, con unas 9.000 ha. Se concentra en los municipios más septentrionales y ocupa suelos más bien pobres; actualmente se encuentra en retroceso. En los terrenos frescales alternan frutales, básicamente melocotonero, con olivos y almendros. El resto de cultivos de secano tienen, con alguna excepción, una presencia puramente testimonial.

La DO Penedès ha experimentado en las últimas décadas una pérdida constante de explotaciones. Aproximadamente, un 57% de estas explotaciones son inferiores a 10 ha, un 20% tienen entre 5 y 10 ha, un 6% entre 20 y 50, un 2% entre 50 y 100 ha, y un 2% más de

100 ha. La estructura del régimen de tenencia de la tierra se fundamenta en el cultivo directo (65%) y la aparcería (30%).

El grado de mecanización del campo es elevado; aunque teniendo en cuenta el predominio de explotaciones pequeñas, la potencia de la maquinaria parece sobredimensionada.

La importancia de la ganadería es moderada en la zona. Como comarca mediterránea típica, en la DO Penedès el sector ganadero se centra en la producción de los animales más adaptados a la estabulación y menos ligados a prados, pastos o forrajes, como es el caso del sector avícola, con más de 3.000.000 cabezas, principalmente de engorde, y del sector porcino.

La industria tiene una larga tradición en la DO Penedès, favorecida por un conjunto de factores como la buena situación respecto a las comunicaciones, la disponibilidad de agua (ríos Anoia y de Bitlles), proximidad a los mercados consumidores y exportadores, buenas condiciones del terreno por lo que refiere a la producción de excedentes agrarios que se utilizan como materia de transformación, etc. En este sentido, la orientación de la agricultura en la DO Penedès hacia el cultivo de la viña ha permitido que se desarrollara y se consolidara un sector fundamental: la agroindustria de la elaboración y transformación del vino y el cava (figura 15).. Algo más del 50% de la producción se dedica al cava, mientras que el resto se desglosa entre el vino envasado (35%) y la venta a granel (15%). El peso específico de esta industria vitivinícola en el zona es muy importante, llegando a representar más del 20% de las empresas y del 30% de los trabajadores ocupados.

En el litoral la pesca queda reducida a una actividad testimonial, casi desprovista de significación económica. Tan sólo en el entorno de los puertos de Vilanova i la Geltrú y Sitges podemos decir que se centra una ocupación pesquera significativa, que equivale aproximadamente al 10% de la producción del litoral catalán.

Los aprovechamientos mineros en la zona de la DO Penedès son muy específicos ya que hay una gran explotación del subsuelo provocado por su propia naturaleza y por la cercanía al área metropolitana de Barcelona. Son numerosas las canteras de caliza, principalmente en la zona litoral y septentrional, y también se puede destacar la explotación de carbonato cálcico para la fabricación de cemento.



FIGURA 15. Bodegas de elaboración de vinos y cavas.

El turismo tiene una importancia capital en las zonas cercanas al litoral hasta el punto de ser considerada, en algunas zonas, la actividad económica principal. Esta actividad se basa en un tipo de turismo de segunda residencia, lo que ha hecho proliferar durante años un gran número de urbanizaciones más o menos ordenadas, con los beneficios económicos correspondientes y las problemáticas ligadas a la necesidad de proporcionar servicios y equipamientos por parte de los ayuntamientos.

El intenso impacto que ha sufrido el Macizo de Garraf (canteras abandonadas, urbanizaciones y vertederos más o menos legalizados, incendios...) y su cercanía a la gran área metropolitana de Barcelona, hicieron plantear en su momento la necesidad de dotar a las Montañas de Garraf de un plan especial de protección. En este sentido, el 30 de julio de 1986, el *Departament de Política Territorial i Obres Públiques* de la Generalitat de Catalunya aprobó, definitivamente, un plan especial para la zona (Parque Natural del Garraf, 10.638 ha). Este plan responde a diferentes objetivos: por una parte presenta una actitud restauradora, ya que considera las graves consecuencias de algunas de las actividades que han tenido lugar en el parque; por otra, propone un régimen que intenta hacer posible un dialogo racional entre el territorio y las necesidades de la sociedad actual, sin olvidar que este territorio soporta todavía algunas actividades productivas y económicas.

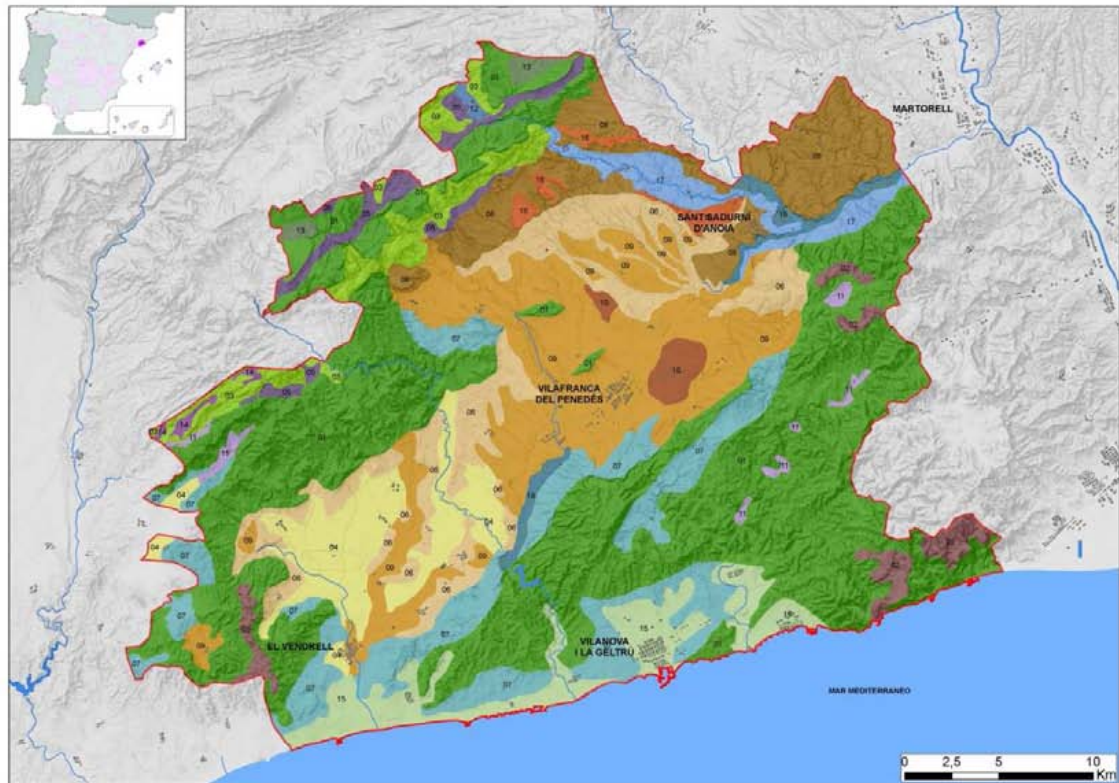
4.1.3. Tipos de suelos de la D.O. Penedès

La interacción de los factores analizados previamente proporciona una importante diversidad edáfica. El “Mapa de sòls 1:250.000 de las comarques de l’Alt Penedès, Baix Penedès i Garraf” (figura 16), obtenido a partir del “Mapa de sòls 1:25.000 de l’àmbit geogràfic de la D.O. Penedès”, destaca los 17 tipos de suelos que componen las asociaciones de suelos que presentan una mayor distribución en la zona. Estos tipos de suelos se presentan clasificados a nivel de suborden (SSS, 1999).

En la denominación de los horizontes genéticos se sigue la propuesta que en su día efectuó el grupo de trabajo “Nomenclatura d’ Horitzons de Sòls” de la Sección de Suelos de la “Institució Catalana d’Estudis Agraris (ICEA)” y la Delegación Territorial de la SECS en Catalunya. Esta nomenclatura fue adoptada, en su día, por la “Secció de Sòls i Fertilitzants” del DAAM y se mantiene en los trabajos de cartografía de suelos que se están llevando a cabo actualmente en Catalunya.

El aspecto más relevante de esta propuesta, por lo que se refiere a los suelos de la DO Penedès, es el uso de la letra “n” (en lugar de “c”) para indicar la presencia de acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de nódulos.

Otro aspecto a destacar en este capítulo, es el uso de un paréntesis para indicar que un horizonte o una característica del suelo, puede aparecer o no, en los perfiles que presenta un determinado tipo de suelo.



Legenda

Asociaciones de suelos

- 1 Xerorthent lítico (Superficial/Calizas y dolomias) y de afloramientos rocosos de caliza
- 2 Xerorthent lítico (Superficial/Calizas y dolomias), afloramientos rocosos de caliza y de Haploxeralf lítico-rúptico (Superficial/Calizas y dolomias)
- 3 Xerorthent lítico (Superficial/Calizas y dolomias) y de Xerorthent típico (Superficial/Lutitas y arenitas)
- 4 Calcixerept petrocálcico (Superficial/Petrocálcico) y de Calcixerept típico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 5 Xerorthent típico (Mod. profundo/Lutitas y arenitas), Haploxerept cálcico (Profundo/Lutitas y arenitas) y de Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 6 Xerorthent típico (Mod. profundo/Lutitas y arenitas), Haploxerept cálcico (Profundo/Lutitas y arenitas) y de Calcixerept típico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 7 Xerorthent lítico (Superficial/Calizas), Calcixerept petrocálcico (Mod. profundo/Petrocálcico) y de Haploxerept cálcico (Mod. profundo/Calizas)
- 8 Xerorthent típico (Mod. profundo/Lutitas y arenitas), Haploxerept cálcico (Mod. profundo/Gravas calizas) y de Calcixerept típico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 9 Calcixerept petrocálcico (Mod. profundo/Petrocálcico), Calcixerept típico (Muy profundo/De tríticos terrígenos) y de Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 10 Calcixerept típico (Muy profundo/De tríticos terrígenos), Calcixerept petrocálcico (Mod. profundo/Petrocálcico) y de Haploxeralf cálcico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 11 Haploxerept cálcico (Mod. profundo/Calizas y dolomias), Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/De tríticos terrígenos) y de Xerorthent lítico (Superficial/Calizas y dolomias)
- 12 Calcixerept típico (Muy profundo/Gravas calizas), Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/De tríticos terrígenos) y de Xerorthent típico (Superficial/Lutitas y arenitas)
- 13 Xerorthent típico (Mod. profundo/Lutitas y arenitas), Haploxerept cálcico (Mod. profundo/Calizas) y de Xerorthent lítico (Superficial/Calizas)
- 14 Haploxerept cálcico (Profundo/Lutitas y arenitas), Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/De tríticos terrígenos) y de Xerorthent típico (Superficial/Lutitas y arenitas)
- 15 Calcixerept típico (Muy profundo/De tríticos terrígenos), Calcixerept petrocálcico (Mod. profundo/Petrocálcico) y de Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 16 Calcixerept petrocálcico (Superficial/Petrocálcico) y de Palexeralf petrocálcico (Mod. profundo/Petrocálcico)
- 17 Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/Gravas calizas), Calcixerept típico (Muy profundo/De tríticos terrígenos) y de Haploxeralf cálcico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)
- 18 Xerofluent típico (Muy profundo/Gravas calizas) y de Haploxerept fluvéntico (Muy profundo/De tríticos terrígenos)

FIGURA 16. Mapa de suelos 1:250.000 de las comarcas del Alt Penedès, Baix Penedès y Garraf.

4.1.3.1. Xerorthents líticos

Estos suelos son poco profundos (<40 cm), bien drenados y de texturas medianas, con bastantes (5-35%) elementos gruesos. Se han desarrollado a partir de materiales procedentes de la meteorización de las calizas y/o dolomías. Se encuentran distribuidos en las divisorias, vertientes fuertes y vertientes moderadas de las sierras Litoral y Prelitoral, donde ocupan unas 31.000 ha (32% de la superficie total).

Presentan poco desarrollo edáfico. La secuencia típica de horizontes es,

A-(Bw)-R (caliza/dolomía).

El horizonte A tiene un espesor de unos 20 cm. El color (húmedo) es de castaño oscuro a marrón (10YR 4/3 - 7,5YR 4/4). La textura es media y presenta bastantes (5-35%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,1-8,5), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica medio (2-5%).

El horizonte Bw, cuando aparece, no llega más allá de los 40 cm de profundidad. Su color (húmedo) es de castaño oscuro a marrón (10YR 4/3 - 7,5YR 4/6). La textura es media y presenta bastantes (5-35%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,0-8,4) y el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%).

Por debajo aparece la roca caliza R, frecuentemente fragmentada, y que puede presentar pequeños recubrimientos formados por la disolución y la recristalización del carbonato cálcico de la misma roca.

Se clasifican como Xerorthent lítico (SSS, 1999) y Leptosol háplico (calcárico) (WRB, 2006).

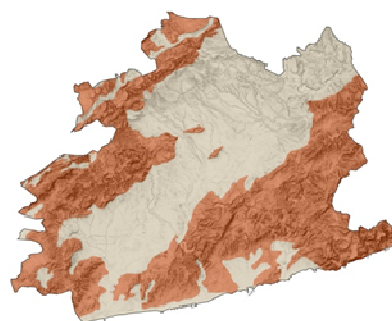


FIGURA 17. Xerorthent lítico. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.2. Xerorthents típicos (poco profundos)

Estos suelos son poco profundos (<40 cm), bien drenados y de textura mediana, con pocos (5-15%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre lutitas o areniscas. Se encuentran distribuidos en las vertientes fuertes y moderadas de la Sierra Prelitoral, donde ocupan unas 1450 ha (1,5% de la superficie total).

Presentan poco desarrollo edáfico. La secuencia típica de horizontes es,

A(p)-C (lutita/arenisca).

El horizonte A tiene un espesor de 20 a 40 cm. Su color (húmedo) es de marrón rojizo a marrón pálido (5YR 4/4 - 10YR 5/8). La textura es media y presenta pocos (1-5%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,1-8,5), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica de bajo a medio (1-5%).

Por debajo encontramos un contacto paralítico C, lutita o arenita.

Se clasifican como Xerorthent típico (SSS, 1999) y Regosol háplico (calcárico) (WRB, 2006).

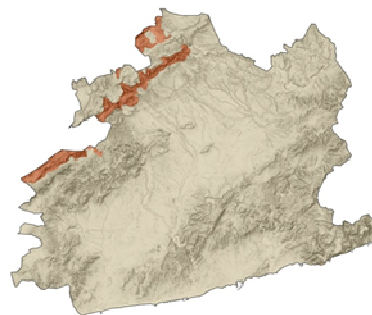


FIGURA 18. Xerorthents típicos (poco profundos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.3. Xerorthents típicos (moderadamente profundos)

Estos suelos son moderadamente profundos (40-80 cm), bien drenados y de textura media a moderadamente gruesa, con pocos (1-5%) elementos gruesos. Se han desarrollado a partir de lutitas o areniscas en las vertientes moderadas de la Sierra Prelitoral y de la Depresión del Penedès, donde ocupan unas 8.500 ha (9% de la superficie total).

Presentan poco desarrollo edáfico. La secuencia típica de horizontes es,

A(p)-Bw-C (lutita/arenisca).

El horizonte Ap tiene un espesor de 20 a 30 cm. El color (húmedo) es de castaño a marrón (7,5YR 4/3 - 10YR 5/4). La textura es media y presenta pocos (1-5%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,3-8,7), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-40%) y el de materia orgánica bajo (1-2%).

El horizonte Bw alcanza los 60-80 cm de profundidad. Su color (húmedo) es de castaño claro a marrón (7,5YR 5/8 - 10YR 6/6). La textura es de media a moderadamente gruesa y presenta pocos (1-5%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,3-8,8) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de alto a muy alto (30-40%).

Por debajo encontramos un contacto paralítico C, lutita o arenita.

Se clasifican como Xerorthent típico (SSS, 1999) y Regosol háplico (calcárico) (WRB, 2006).

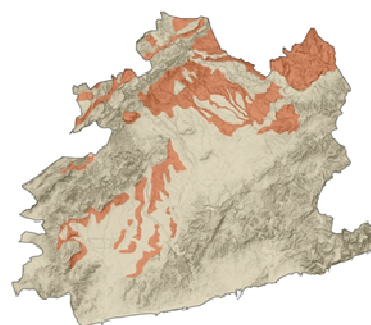


FIGURA 19. Xerorthents típicos (moderadamente profundos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.4. Xerofluents típicos

Estos suelos son muy profundos (>120 cm), bien drenados y de textura media a moderadamente gruesa, con algunos (5-15%) elementos gruesos. Son suelos desarrollados sobre materiales detríticos terrígenos en las terrazas de la Depresión del Penedès, donde ocupan unas 800 ha (1% de la superficie total).

Presentan poco desarrollo edáfico. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Bw.

El horizonte Ap tiene un espesor de unos 20 cm. El color (húmedo) es de marrón a castaño (10YR 5/4 - 7,5YR 4/4). La textura es media y presenta pocos (1-5%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,1-8,5), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de moderadamente alto a alto (20-40%) y el de materia orgánica es bajo (1-2%).

Diferentes horizontes Bw van alternándose hasta profundidades superiores a los 120 cm. Su color (húmedo) es de marrón a castaño (10YR 4/6 - 7,5YR 4/4). La textura es de media a gruesa y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,1 - 8,7) y el contenido de carbonato cálcico equivalente es moderadamente alto (20-30%).

Se clasifican como Xerofluent típico (SSS, 1999) y Fluvisol háplico (calcárico) (WRB, 2006).



FIGURA 20. Xerofluents típicos. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.5. Haploxerolls líticos

Estos suelos son poco profundos (<40 cm), bien drenados y de textura media, con bastantes (5-35%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre materiales procedentes de la meteorización de las rocas calizas y/o dolomías en las plataformas, divisorias y vertientes fuertes de la Sierra Prelitoral, donde aparecen como inclusiones y ocupan unas 150 ha (0,1% de la superficie total).

El perfil presenta un horizonte mólico, caracterizado por unos contenidos elevados de materia orgánica, unos colores oscuros, una buena estructura y una saturación de bases superior al 50%. Estos suelos son conocidos como “terra bruna”. La secuencia típica de horizontes es,

Oe-A-(Bw)-R (caliza).

El horizonte orgánico Oe tiene un espesor de 2 a 4 cm y es producto de la descomposición de restos vegetales;.

El horizonte A tiene un espesor de unos 20 cm. El color (húmedo) es castaño oscuro (7,5YR 3/3). La textura es media y presenta bastantes (5-35%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,1–8,5), el contenido de carbonato cálcico equivalente moderadamente alto (30-40%) y el de materia orgánica abundante (5-10%).

El horizonte Bw, cuando está presente, tiene un espesor de menos de 20 cm. Su color es marrón (7,5YR 4/4). La textura es de media a moderadamente fina y presenta bastantes (5-35%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,1–8,5) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de moderadamente alto a alto (20-40%).

A continuación encontramos la roca caliza, horizonte R.

Se clasifican como Haploxeroll lítico (SSS, 1999) y Leptosol mólico (calcárico) (WRB, 2006).



FIGURA 21. Haploxerolls líticos. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.6. Haploxerepts cálcicos (moderadamente profundos)

Estos suelos son moderadamente profundos (60-80 cm), bien drenados y de texturas medias, con bastantes (5-35%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre sedimentos detríticos terrígenos en las vertientes aterrazadas de pendiente moderadas, en las vertientes suaves y en los fondos de valle de las sierras Litoral y Prelitoral, donde ocupan unas 2.500 ha (2,5% de la superficie total).

El perfil presenta acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios o pequeños nódulos que dan lugar a un horizonte cámbico. La secuencia típica de horizontes es,

A(p)-Bwk(n)-R (caliza).

El horizonte A(p) tiene un espesor de unos 20 cm. El color (húmedo) es marrón (10YR 4/4 – 10YR 5/4). La textura es media y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,2-8,5), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica medio (2-5%).

El horizonte Bwk(n) alcanza los 60-80 cm de profundidad. Su color (húmedo) es marrón (10YR 5/4). La textura es media y presenta bastantes (5-35%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,4-8,7) y el contenido de carbonato cálcico equivalente es muy alto (>40%). Presenta acumulaciones secundarias (1-5%) de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios, o nódulos pequeños, que dan lugar a un horizonte cámbico.

Por debajo aparece la roca caliza R, frecuentemente fragmentada, y que puede presentar pequeños recubrimientos formados por disolución y recristalización del carbonato cálcico de la misma roca.

Se clasifican como Haploxerept cálcico (SSS, 1999) y Cambisol léptico (calcárico) (WRB, 2006).

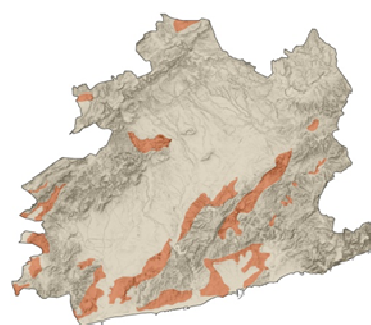


FIGURA 22. Haploxerepts cálcicos (moderadamente profundos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.7. Haploxerepts cálcicos (moderadamente profundos y esqueléticos)

Estos suelos son moderadamente profundos (60-80 cm), bien drenados y de texturas medias a gruesas, con abundantes (>35%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre sedimentos detríticos terrígenos con gravas en las áreas más elevadas de la Depresión del Penedès, donde ocupan unas 2.500 ha (2,5% de la superficie total).

El perfil presenta acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de revestimientos de los elementos gruesos, dando lugar a un horizonte cámbico. La secuencia típica de horizontes es,

A(p)-Bk(gravas)-C (lutita/arenisca).

El horizonte A(p) tiene un espesor de unos 20-30 cm. El color (húmedo) es marrón (10YR 4/4). La textura es de media a gruesa y presenta bastantes (5-35%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,4 - 8,7), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de moderadamente alto a alto (20-40%) y el de materia orgánica de bajo a medio (1-5%).

El horizonte Bk (gravas) llega hasta 60-80 cm de profundidad. La matriz es de textura gruesa y el volumen ocupado por los elementos gruesos de más del 35%. Presenta acumulaciones secundarias (2-5%) de carbonato cálcico en forma de revestimientos de los elementos gruesos que dan lugar a un horizonte cámbico.

Por debajo aparece un contacto paralítico C, correspondiente a una lutita o a una arenisca.

Se clasifican como Haploxerept cálcico (SSS, 1999) y Cambisol léptico (calcárico, esquelético) (WRB, 2006).

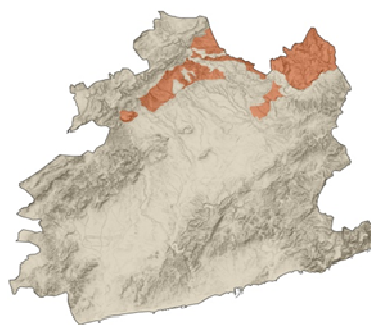


FIGURA 23. Haploxerepts cálcicos (moderadamente profundos y esqueléticos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.8. Haploxerepts cálcicos (profundos)

Estos suelos son profundos (80-120 cm), bien drenados y de texturas medias, con pocos (1-5%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre sedimentos detríticos terrígenos en las laderas aterrazadas de pendiente moderada y en las laderas de pendiente suave de la Depresión del Penedès, así como en las laderas de pendiente suave y en fondos de valle de la Sierra Prelitoral, donde ocupan unas 3.800 ha (4% de la superficie total).

El perfil presenta acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios o pequeños nódulos que dan lugar a un horizonte cámbico. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Bwk(n)-C (lutita/arenisca).

El horizonte Ap tiene un espesor de unos 20-40 cm. El color (húmedo) es de castaño claro a marrón (7,5YR 7/3 – 10YR 5/4). La textura es media, y presenta pocos (1-5%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,2-8,7), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica bajo (1-2%).

El horizonte Bwk(n) llega hasta 60-80 cm. El color (húmedo) es de castaño a marrón pálido (7,5YR 6/6 – 10YR 4/6). La textura es media, y presenta pocos (1-5%) elementos gruesos. Presenta acumulaciones secundarias (1-5%) de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios, o nódulos pequeños, que dan lugar a un horizonte cámbico. El pH es ligeramente alcalino (8,3 - 8,9) y el contenido de carbonato cálcico equivalente muy alto (>40%).

Por debajo aparece un contacto paralítico C, lutita o arenisca.

Estos suelos se clasifican como Haploxerept cálcico (SSS, 1999) y Cambisol háplico (calcárico) (WRB, 2006).

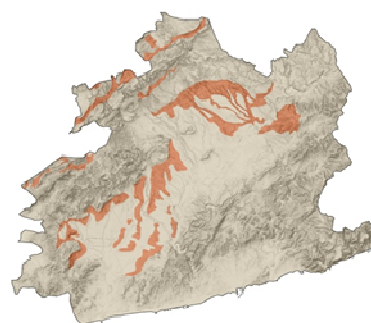


FIGURA 24. Haploxerepts cálcicos (profundos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.9. Haploxerepts fluvénticos

Estos suelos son muy profundos (>120 cm), bien drenados y de texturas medias, con algunos (5-15%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre sedimentos detríticos terrígenos en las terrazas y fondos de la Depresión del Penedès y de la sierra Litoral, donde ocupan unas 3.800 ha (4% de la superficie total).

El perfil presenta pocas (1-5%) acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios o pequeños nódulos que dan lugar a un horizonte cámbico. Además el perfil muestra una distribución irregular en profundidad del contenido de materia orgánica, muchas veces relacionado con la presencia de horizontes A enterrados. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Bw(k)-(Ab(k))

El horizonte Ap tiene un espesor de entre 20 y 30 cm. El color (húmedo) es de marrón oscuro a marrón fuerte (10YR 4/3 - 10YR 5/8). La textura es media y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,1-8,6), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica de bajo a medio (1-5%).

Los horizontes Bw(k) alcanzan profundidades superiores a los 120 cm. Su color (húmedo) es de marrón a marrón fuerte (10YR 3/4 - 10YR 5/8). La textura es media y presentan algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,3-8,7) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de alto a muy alto (30-50%). Pueden presentar acumulaciones secundarias (1-5%) de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios, o pequeños nódulos, que dan lugar a un horizonte cámbico.

En algunos perfiles aparece un horizonte Ab(k), que suele corresponder con un antiguo epipedión actualmente enterrado. La textura es media y presenta pocos (1-5%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,2-8,8) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de alto a muy alto (30-50%). Pueden presentar acumulaciones secundarias (1-5%) de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios, o pequeños nódulos, que dan lugar a un horizonte cámbico.

Estos suelos se clasifican como Haploxerept fluvéntico (SSS, 1999) y Cambisol flúvico (calcárico) (WRB, 2006).

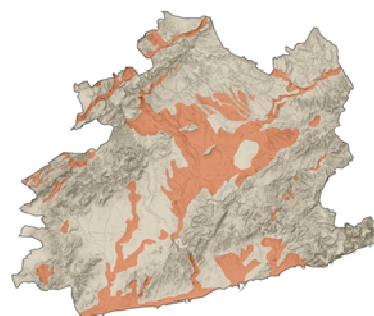


FIGURA 25. Haploxerepts fluvénticos. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.10. Haploxerepts fluvénticos (esqueléticos)

Estos suelos son muy profundos (>120 cm), bien drenados y de texturas medias a moderadamente gruesas, con abundantes (35-70%) elementos gruesos. Se han desarrollado a partir de materiales detríticos terrígenos gruesos en las terrazas y fondos de la Depresión del Penedès, donde ocupan unas 1.000 ha (1% de la superficie total).

El perfil presenta pocas (1-5%) acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios o pequeños nódulos que dan lugar a un horizonte cámbico. Además el perfil muestra una distribución irregular en profundidad del contenido de materia orgánica. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-(Bw)-Bk (gravas).

El horizonte Ap tiene un espesor de entre 20 y 30 cm. El color (húmedo) es de marrón rosado a marrón fuerte (7,5 YR 7/3 - 10YR 5/6). La texturas es de media a moderadamente gruesa y presenta muchos (15-70%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,3-8,6), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica de bajo a medio (1-5%).

El horizonte Bw, cuando aparece, tiene un espesor de 30 a 40 cm. El color (húmedo) es de marrón a castaño oscuro (7,5 YR 4/3 - 10YR 4/6). La texturas es de media a gruesa y presenta muchos (15-70%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,3-8,9) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de alto a muy alto (30-50%).

A continuación, y hasta profundidades superiores a los 120 cm, encontramos un horizonte Bk. Se trata de un horizonte con abundantes elementos gruesos (>35 %), que presenta una matriz de textura gruesa y acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de revestimientos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (7,9-9,0) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de alto a muy alto (30-50%).

Estos suelos se clasifican como Haploxerept fluvéntico (SSS, 1999) y Cambisol flúvico (calcárico, esquelético) (WRB, 2006).



FIGURA 26. Haploxerepts fluvénticos (esqueléticos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.11. Calcixerepts típicos

Estos suelos son muy profundos, bien drenados y de textura media, con algunos (5-15%) elementos gruesos. Se han desarrollado a partir de sedimentos detríticos finos en las laderas de pendientes moderadas y suaves y en las terrazas altas de la Depresión del Penedès, donde ocupan unas 14.000 ha (14% de la superficie total).

El perfil presenta muchas acumulaciones secundarias de carbonato cálcico que da lugar a un horizonte cálcico. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Bwkn.

El horizonte Ap tiene un espesor de 30 a 40 cm. El color (húmedo) es de castaño oscuro a amarillo parduzco (7,5YR 5/8 – 10YR 6/6). La textura es media y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,2-8,6), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica medio (2-5%).

El horizonte Bwkn alcanza más de 120 cm de profundidad. El color (húmedo) es de castaño fuerte a amarillo parduzco (7,5YR 5/8 – 10YR 6/6). La textura es media y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,3-8,8) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de alto a muy alto (30-50%). Presenta acumulaciones secundarias (>5%) de carbonato cálcico en forma de nódulos y/o rizoconcreciones que dan lugar a un horizonte cálcico.

Estos suelos se clasifican como Calcixerept típico (SSS, 1999) y como Calcisol háplico (WRB, 2006).

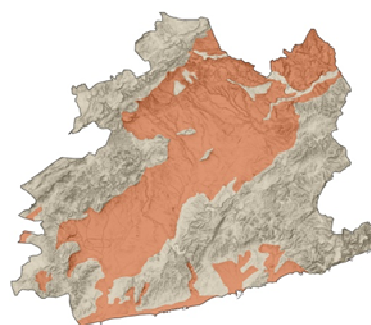


FIGURA 27. Calcixerepts típicos. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.12. Calcixerepts típicos (Esqueléticos)

Estos suelos son muy profundos, bien drenados y de textura media a moderadamente fina, con abundantes (>35%) elementos gruesos. Se han desarrollado a partir de sedimentos detríticos con gravas en las laderas con pendientes suaves y moderadas de la Sierra Prelitoral, donde ocupan unas 100 ha (0,1% de la superficie total).

El perfil presenta acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de revestimientos y nódulos que da lugar a un horizonte cálcico. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Bwk(n)-Bk (gravas).

El horizonte Ap tiene un espesor de 20 a 40 cm. El color (húmedo) es marrón (7,5YR 4/4). La textura es de media a moderadamente fina y presenta muchos (35-70%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,1-8,5), el contenido de carbonato cálcico equivalente es alto (30-40%) y el de materia orgánica de bajo a medio (1-5%).

Hasta los 40-80 cm encontramos un horizonte Bwk(n). El color (húmedo) es marrón (7,5YR 4/4). La textura es moderadamente fina y presenta muchos (35-70%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,3-8,6) y el contenido de carbonato cálcico equivalente alto (30-40%). Presenta acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de nódulos y/o revestimientos de elementos gruesos que dan lugar a un horizonte cálcico.

A continuación, y hasta profundidades superiores a los 120 cm, encontramos un horizonte Bk. Se trata de un horizonte con abundantes elementos gruesos (>35 %), que presenta una matriz de textura media y acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de revestimientos, que dan lugar a un horizonte cálcico.

Estos suelos se clasifican como Calcixerept típico (SSS, 1999) y como Calcisol háplico (esquelético) (WRB, 2006).



FIGURA 28. Calcixerepts típicos (esqueléticos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.13. Calcixerepts petrocálcicos (poco profundos)

Estos suelos son poco profundos, bien drenados y de textura media, con algunos (5-15%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre sedimentos detríticos finos en las plataformas residuales y en los abanicos aluviales de la depresión del Penedès, donde ocupan unas 4.500 ha (5% de la superficie total).

El perfil presenta, a menos de 40 cm de profundidad, un horizonte cementado por carbonato cálcico (horizonte petrocálcico). La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Bkm.

El horizonte Ap tiene un espesor de 25 a 40 cm. El color (húmedo) es de castaño rojizo a castaño amarillento (5YR 4/4 – 10YR 5/4). La textura es media y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,2-8,7), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica medio (2-5%).

A continuación aparece el horizonte Bkm. Se trata de una capa muy fuertemente cementada por carbonato cálcico que constituye un endopedión petrocálcico.

Estos suelos se clasifican como Calcixerept petrocálcico (SSS, 1999) y como Calcisol epipétrico (WRB, 2006).

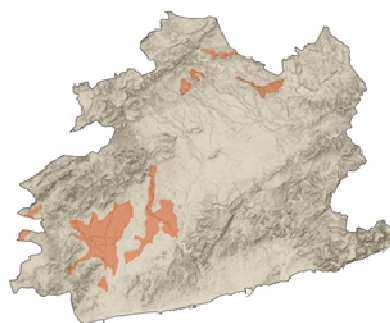


FIGURA 29. Calcixerept petrocálcicos (poco profundos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.14. Calcixerepts petrocálcicos (moderadamente profundos)

Estos suelos son moderadamente profundos, bien drenados y de textura media, con algunos (5-15%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre sedimentos detríticos finos en las plataformas residuales y en los abanicos aluviales de la Depresión del Penedès, donde ocupan unas 11.150 ha (12% de la superficie total).

El perfil presenta, entre 60 y 80 cm de profundidad, un horizonte cementado por carbonato cálcico (horizonte petrocálcico). La secuencia típica de horizontes es Ap-Bwkn-Bkm.

El horizonte Ap tiene un espesor de 20 a 40 cm. El color (húmedo) es de castaño rojizo a castaño amarillento (7,5YR 4/6 - 10YR 4/6). La textura es media y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,1-8,6), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica medio (2-5%).

El horizonte Bwkn alcanza una profundidad que normalmente no excede los 80 cm. El color (húmedo) es de castaño oscuro a amarillo parduzco (7,5YR 5/8 - 10YR 6/6). La textura es media, y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,3-8,7) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de alto a muy alto (30-50%).

Por debajo, aparece el horizonte Bkm; se trata de una capa muy fuertemente cementada por carbonato cálcico que constituye un endopedión petrocálcico.

Se clasifican como Calcixerept petrocálcico (SSS, 1999) y como Calcisol pétrico (WRB, 2006).

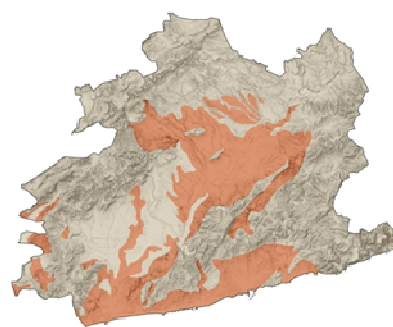


FIGURA 30. Calcixerepts petrocálcicos (moderadamente profundos). Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.15. Haploxeralfs lític-rúptic-incépticos

Estos suelos son poco profundos (<40 cm), bien drenados y de texturas finas, con un contenido variable (5-35%) de elementos gruesos. Se han desarrollado a partir de los materiales procedentes de la meteorización de las rocas calizas y/o dolomías en las plataformas y divisorias de las sierras Litorales, donde ocupan unas 100 ha. (0,1% de la superficie total).

Son suelos parcialmente decarbonatados y que muestran, en algunas zonas, translocaciones de la arcilla. Estos movimientos de la arcilla son, en ocasiones, muy difíciles de apreciar debido a los continuos procesos de edafoturbación. La secuencia típica de horizontes es,

A-(Bt)-R (caliza/dolomía).

El horizonte A tiene un espesor variable de 10 a 40 cm, debido al límite irregular con la roca subyacente. El color (húmedo) es de marrón oscuro a marrón (7,5YR 3/4 - 7,5YR 4/4). La textura es fina y presenta un contenido variable (5-35%) de elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,1 - 8,3), el contenido de carbonato cálcico equivalente es bajo (5-10%) y el de materia orgánica es medio (2-5%).

El horizonte Bt se desarrolla cerca del límite con la roca subyacente, y es más fácilmente observable en las fracturas de la roca caliza. Su color (húmedo) va de rojo oscuro a marrón rojizo (2,5YR 4/4 - 5YR 4/4). La textura es fina y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,3 - 8,4) y el contenido de carbonato cálcico equivalente es bajo (5-10%). Presenta evidencias de iluviación de arcilla, básicamente revestimientos de poros y canales de raíces, lo que da lugar a un horizonte argílico.

Por debajo aparece la roca caliza R, frecuentemente fragmentada hasta profundidades superiores a 120 cm.

Se clasifican como Haploxeralf lítico-rúptico-incéptico (SSS, 1999) y Luvisol léptico (rúptico, crómico) (WRB, 2006).

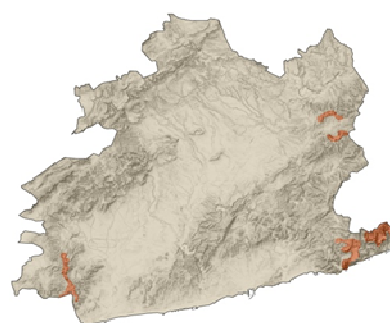


FIGURA 31. Haploxeralfs lític-rúptic-incépticos. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.16. Haploxeralfs cálcicos

Estos suelos son muy profundos (>120 cm), moderadamente bien drenados y de texturas medias a finas, con algunos (5-15%) elementos gruesos. Se han desarrollado sobre sedimentos detríticos finos en las plataformas y divisorias residuales de la Depresión del Penedès, donde ocupan una superficie de unas 450 ha (0,5% de la superficie total).

Aparecen en posiciones muy estables, donde sufrieron decarbonatación, translocación de arcillas y formación de un horizonte argílico. Posteriormente sufrieron la recarbonatación del perfil que dio lugar a la acumulación secundaria de carbonatos en forma de pseudomicelios y/o nódulos, dando lugar a horizontes cálcicos. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Bwk(n)-Btkn.

El horizonte Ap tiene un espesor de unos 20 a 30 cm. El color (húmedo) es de marrón rojizo a rojo amarillento (5YR 4/4 - 5YR 4/6). La textura es de media a moderadamente fina, y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,1 - 8,6), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de moderadamente alto a alto (20-40%) y el de materia orgánica de bajo a medio (1-5%).

El horizonte Bwk(n) tiene un espesor de unos 30 a 40 cm. El color (húmedo) es de marrón rojizo a rojo amarillento (5YR 4/4 - 5YR 4/6). La textura es de media a moderadamente fina y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,4 - 8,7) y el contenido de carbonato cálcico equivalente es de moderadamente alto a alto (20-40%). Presenta acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios y/o nódulos que dan lugar a un horizonte cálcico.

El horizonte Btkn se alcanza profundidades superiores a los 120 cm. Su color (húmedo) es de rojo oscuro a marrón rojizo (2,5YR 4/4 - 5YR 4/4). La textura es de moderadamente fina a fina, y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es moderadamente básico (8,2 - 8,5) y el contenido de carbonato cálcico equivalente de

medio a moderadamente alto (10-30%). Presentan evidencias de translocación de arcilla en poros y canales de raíces, que dan lugar a un horizonte argílico, y acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios y/o nódulos, que dan lugar a un horizonte cálcico.

Se clasifican como Haploxeralf cálcico (SSS, 1999) y Calcisol luvico (crómico) (WRB, 2006).

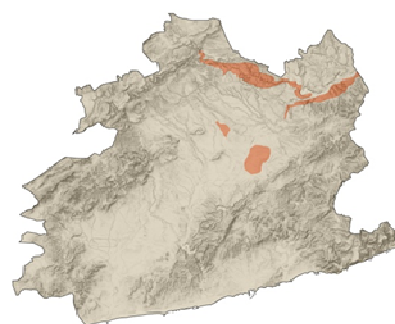


FIGURA 32. Haploxeralfs cálcicos. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.3.17. Palexeralfs petrocálcicos

Estos suelos son moderadamente profundos (40-80 cm), moderadamente bien drenados y de texturas medias a moderadamente finas, con algunos (5-15%) elementos gruesos. Se han desarrollado a partir de sedimentos detríticos finos en plataformas residuales y terrazas altas de la Depresión del Penedès, donde ocupan unas 300 ha (0,3% de la superficie total).

Aparecen en posiciones muy estables, donde sufrieron decarbonatación, translocación de arcillas y formación de un horizonte argílico. Posteriormente sufrieron la recarbonatación del perfil que dio lugar a la acumulación secundaria de carbonatos en forma de pseudomicelios y/o nódulos, dando lugar a horizontes cálcicos y petrocálcicos. La secuencia típica de horizontes es,

Ap-Btk(n)-Bkm.

El horizonte Ap tiene típicamente un espesor de unos 20 a 30 cm. El color (húmedo) es de castaño amarillento oscuro a castaño pálido (10YR 4/3 - 10YR 6/4). La textura es media, y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,1-8,6), el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%) y el de materia orgánica de bajo a medio (1-5%).

El horizonte Btk(n) se extiende hasta los 60 o 80 cm de profundidad. Su color (húmedo) es rojo amarillento (5YR 5/6). La textura es de moderadamente fina a fina y presenta algunos (5-15%) elementos gruesos. El pH es de moderadamente básico a ligeramente alcalino (8,4-8,7) y el contenido de carbonato cálcico equivalente es de alto a muy alto (30-50%). Presentan evidencias de translocación de arcilla en poros y canales de raíces, que dan lugar a un horizonte argílico, y acumulaciones secundarias de carbonato cálcico en forma de pseudomicelios y/o nódulos, que dan lugar a un horizonte cálcico.

Por debajo, aparece el horizonte Bkm; se trata de una capa muy fuertemente cementada por carbonato cálcico que constituye un endopedión petrocálcico.

Se clasifican como Haploxeralf petrocálcico (SSS, 1999) y Calcisol pétrico lúvico (crómico) (WRB, 2006).

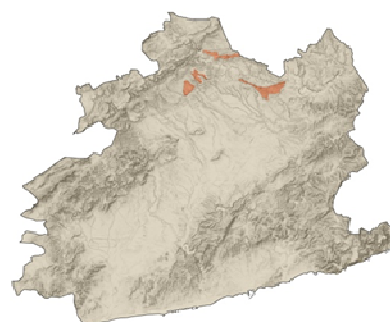


FIGURA 33. Palexeralfs petrocálcicos. Perfil tipo y área de distribución.

4.1.4. Referencias bibliográficas

- ALBRICH, S., J.M. BERNAUS, C. BOIX, E. CAUS, C. MARTÍN-CLOSAS, R. SALAS, V. VICEDO, R. VILLALONGA (2006). Caracterización bioestratigráfica y paleoambiental del Cretácico inferior (Berriasiense-Barremiense) del Macizo de Garraf (Cadena Costera Catalana). *Rev. Española de Micropaleontología*, 38.
- ANADÓN, P., L. CABRERA, J. GUIMERÀ, P. SANTANACH (1985). Paleogene strike-slip deformation and sedimentation along the southeastern margin of the Ebro Basin. *Soc. Econ. Paleontologist and Mineralogist*, 37.
- CABRERA, L., F. CALVET, J. GUIMERÀ, A. PERMANYER. (1991). El registro sedimentario miocénico en los semigrabens del Vallès-Penedès y del Camp: organización secuencial y relaciones tectónica-sedimentación. I Congreso del Grupo Español del Terciario. Libro-Guia excursión nº 4.
- CASANOVAS-VILLAR, I., D.M. ALBA, S. MOYÀ, J. GALINDO, L. CABRERA, M. GARCÉS, M. FURIÓ, J.M. ROBLES, M. KÖHLER, C. ANGELONE (2006). Biochronological, taphonomical, and paleoenvironmental background of the fossil great ape *Pierolapithecus catalanicus* (Primates, Hominidae). *Journal of Human Evolution*, 55.
- CBSA. 1983. Sistema de información Edafológica y Agronómica de España. SINEDARES. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo. MAPA. Madrid. 137 pp.
- DAAM. (2008). "Mapa de sòls (1:25.000) de l'àmbit geogràfic de la DO Penedès". Vilafranca del Penedès.
- ENCICLOPÈDIA CATALANA (1986). Història Natural dels Països Catalans, Vol. 2: Geologia II.
- ENCICLOPÈDIA CATALANA. (1986). Història Natural dels Països Catalans. Vol. 7: Vegetació.
- ENCICLOPÈDIA CATALANA (1992). Gran Geografia Comarcal de Catalunya: Alt Penedès, Baix Penedès, Garraf i Anoia.
- ESPAIS D'INTERÉS GEOLÒGIC. Fichas descriptivas. (2004). EIG 332, Successió miocena dels Hostalets de Pierola; EIG 340, Esculls miocens de Sant Pau d'Ordal - Can Sala; EIG 341, Guixeres de Vilobí del Penedès; EIG 342, Turons de Pacs del Penedès; EIG 345, Falles normals de l'Arboçar del Penedès; EIG 346, Sant Miquel d'Olèrdola; EIG 348, Massís del Garraf; EIG 349, Miocè de Castellet i la Gornal. Disponibles en: <http://www20.gencat.cat/portal/site/dmah/menuitem.64be942b6641a1214e9cac3bb0c0e1a0/?vgnnextoid=118c1a22693d7210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=118c1a22693d7210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default>. (22/3/2011).
- GALLART, F. (1981). Neógeno superior y Cuaternario del Penedès (Cataluña, España) (1981). *Acta Geológica Hispánica*, 16-3.
- GARCIA, A. (Editor) (1982). El Cretácico de España. Disponible en: <http://www.ucm.es/centros/cont/descargas/documento23469.pdf>. (22/3/2011).
- Grup de Treball "Nomenclatura d'horitzons de sòls". (1993). Denominació d'horitzons genètics (i capes). Secció de sòls de la ICEA i Delegació Territorial de la SECS. Quaderns agraris, 16 desembre 1993. Pàg. 111-126
- INSTITUT GEOLÒGIC DE CATALUNYA – INSTITUT CARTOGRÀFIC DE CATALUNYA (2010). Atlas geològics de Catalunya.
- MAPA GEOLÒGIC DE ESPAÑA 1:50.000. Memorias descriptivas. Hojas 419, Vilafranca del Penedès (1972); 420, Hospitalet del Llobregat (1973); 447, Villanueva y Geltru (1972).
- MAPA GEOLÒGIC DE ESPAÑA 1:200.000. Hoja 42, Tarragona. (1986)

- MARTÍN CLOSAS, C. (1984). L'origen de la depressió del Penedès i la seva evolució geològica. Miscel·lània Penedesenca.
- SALAS, R., C. MARTÍN-CLOSAS. (1991). El Cretácico inferior del Nordeste de Iberia. Guía de Campo de las excursiones, III Coloquio del Cretácico de España.
- SOIL SURVEY DIVISION STAFF (1993). Soil Survey Manual. USDA, 473 pp. Washington.
- SOIL SURVEY STAFF (1999). Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. NRCS-USDA. Washington, D.C., 869 pp.
- VERA, J.A. (Editor) (2004). Geología de España.

4.2. Mapa y evaluación de los suelos del ámbito geográfico de la Denominación de Origen Penedès

Jaume Boixadera¹, Carmen Herrero¹, Marc Vicens²

(1) Servei de Producció Agrícola, DAAM, Generalitat de Catalunya. Campus ETSEA. 25198 Lleida.

(2) Institut Geològic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. C/ Balmes, 209-211. 08006 Barcelona.

Resumen

Se presenta la cartografía a escala (1:25.000) de los suelos del ámbito geográfico de la Denominación de Origen Penedès (DO Penedès), un resumen de las principales características de los suelos cartografiados y la descripción de algunos suelos representativos de la DO, a modo de ejemplo. En la segunda parte se explica la metodología para la evaluación de estos suelos con fines vitícolas, desarrollada a partir de la información del mapa de suelos, y se discuten los principales resultados obtenidos. También se incluye un método para la obtención de un mapa de potencial de vigor del suelo.

4.2.1. Introducción

La creciente competencia entre mercados vitivinícolas en el ámbito mundial, con un aumento de la demanda de vinos de calidad y en especial de vinos con tipicidad, ha conducido a los técnicos y entidades de las distintas áreas vitícolas a promover actuaciones para la zonificación. Dichas actuaciones tienen como principal objetivo la identificación de binomios material vegetal-parcela que optimicen el potencial productivo y cualitativo en las zonas productivas, posibilitando, además, la determinación del destino enológico del mosto obtenido en ellas, y la identificación de las prácticas de cultivo más adecuadas a cada realidad manteniendo una adecuada calidad del medio, especialmente del suelo. La delimitación de áreas de gran aptitud para un uso agrícola debería tener, además, importancia en la elaboración de planes generales de ordenación del territorio.

Los suelos son un componente fundamental de las unidades de gestión y/o evaluación del territorio, como son los *terroirs*, en el caso de la viña. Su conocimiento, a una escala y forma adecuada, constituye uno de los desafíos para los edafólogos, especialmente para los cartógrafos de suelos. El caso del ámbito geográfico de la DO Penedès, que coexiste en su territorio con las Denominaciones de Origen Cava y Catalunya, es un ejemplo de ello. Con una superficie total de 156.000 ha, de las cuales 42.000 son agrícolas y de ellas 'solo' 26.000 están plantadas de viña. Esta significativa extensión constituye un problema cuando se desea cartografiar a una escala suficientemente detallada y producir una evaluación con fines vitícolas.

4.2.2. El mapa de suelos 1:25.000 del ámbito geográfico de la DO Penedès

El mapa de suelos (1:25.000) del ámbito geográfico de la DO. Penedès se enmarca en el proyecto cooperativo del Mapa de Suelos 1:25.000 de Cataluña, que desde el año 1984 está llevando a cabo la *Secció d'Avaluació de Recursos Agraris del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural* (DAAM) de la Generalitat de Catalunya. En este caso se ha ejecutado en colaboración con los Consejos Reguladores de la DO Cava y de la DO Penedès, el *Consell Comarcal de l'Alt Penedès* y especialistas del mundo vitivinícola de la zona, del Instituto Catalán de la Viña y el Vino (INCAVI) y del DAAM.

El mapa culmina el esfuerzo realizado por diversos grupos durante más de 15 años de trabajos en el área. En este sentido cabe destacar los inicios, con la cartografía de suelos 1:50.000 llevada a cabo por Martínez-Casasnovas en 1998 y el Mapa de suelos (1:25.000) de

los términos municipales de la Granada, les Cabanyes, Pacs, Santa Fe y Vilafranca del Penedès (Alt Penedès) (Nogués *et al.*, 1999), que constituyó el trabajo piloto de la zona.

El mapa final presenta más de 1600 unidades cartográficas, organizadas en una leyenda de tipo fisiográfico, y añade 78 nuevas unidades taxonómicas de suelos al Catálogo de Series del DAAM, definidas a nivel de serie (SSS, 1999) (tabla 1). Para su ejecución se han descrito más

de 1.450 perfiles (figura 1) y se han analizado más de 3.600 muestras.

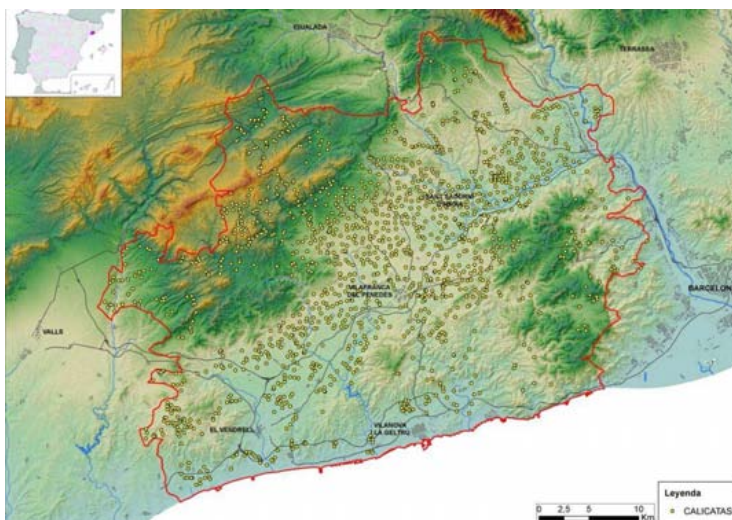


FIGURA 1. Localización de los perfiles descritos para la ejecución del Mapa de suelos (1:25.000) del ámbito geográfico de la D.O. Penedès.

Como metodología de referencia se ha utilizado la propuesta en el “Soil Survey Manual” (SSS, 1993). La nomenclatura utilizada se basa en la recogida por CBDSA, 1983 y por el *Grup de treball ‘nomenclatura d’horitzons de sòls’*, 1993. Para el resto de aspectos metodológicos se han empleado los habituales del Mapa de Suelos 1:25.000 de Cataluña, que se pueden

consultar en la página web del DAAM (<http://www.gencat.cat/daam/mapasols/>)

4.2.3. Características principales de los suelos de la D.O. Penedès

La tabla 1 recoge la clasificación, a nivel de subgrupo, de los tipos de suelos más interesantes en la DO Penedès, tanto por la superficie que ocupan, como por su singularidad.

TABLA 1. Series de suelos cartografiados en la DO Penedès

Subgrupo (Soil Taxonomy, SSS 1999)	Denominación de la serie	Familia (Soil Taxonomy, SSS 1999)
Xerorthent lítico	Bonastre	Xerorthent lítico, franca, carbonàtica, tèrmica, superficial
	Cales	Xerorthent lítico, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Aguilera	Xerorthent lítico, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Cancanals	Xerorthent lítico, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Ponderosa	Xerorthent lítico, franca, mezclada, tèrmica, superficial
Xerorthent típic	Avellana	Xerorthent típic, esquelètica franca, mezclada, tèrmica
	Begues	Xerorthent típic, franca fina, mezclada, tèrmica
	Cangras	Xerorthent típic, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Canvalls	Xerorthent típic, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Masjover	Xerorthent típic, franca fina, mezclada, tèrmica
	Arbocet	Xerorthent típic, franca, carbonàtica, tèrmica
	Banyeres	Xerorthent típic, franca, carbonàtica, tèrmica, superficial
	Somera	Xerorthent típic, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Fassina	Xerorthent típic, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Cairot	Xerorthent típic, franca, mezclada, tèrmica, superficial
	Avellana	Xerorthent típic, esqueletica franca, mezclada, tèrmica
	Mas	Xerorthent típic, franca, carbonàtica, tèrmica, superficial
	Colza	Xerorthent típic, franca fina, mezclada, tèrmica
	Maspalau	Xerorthent típic, franca fina, mezclada, tèrmica

Itinerarios edáficos por Cataluña: el Priorat, la Cerdanya y el Penedès

Subgrupo (Soil Taxonomy, SSS 1999)	Denominación de la serie	Familia (Soil Taxonomy, SSS 1999)
Xerorthent típico	Pujador	Xerorthent típico, franca gruesa, carbonática, térmica
	Espobles	Xerorthent típico, franca, carbonática, térmica, superficial
Calcixerept típico	Vilafranca	Calcixerept típico, franca fina, carbonática, térmica
	Marges	Calcixerept típico, franca gruesa, carbonática, térmica
	Bonaterra	Calcixerept típico, franca fina, mezclada, térmica
	Carreres	Calcixerept típico, franca gruesa, mezclada, térmica
	Grijañç	Calcixerept típico, esqueletica franca, carbonática, térmica
	Marquet	Calcixerept típico, esqueletica franca, mezclada, térmica
	Saliner	Calcixerept típico, franca fina, mezclada, térmica
	Domenys	Calcixerept típico, franca fina, carbonática, térmica
	Olèrdola	Calcixerept típico, franca fina, carbonática, térmica
	Claret	Calcixerept típico, esqueletica franca, mezclada, térmica
	Miralles	Calcixerept típico, limosa fina, mezclada, térmica
	Selma	Calcixerept típico, franca fina, carbonática, térmica
	Llacuna	Calcixerept típico, esqueletica franca, mezclada, térmica
	Roges	Calcixerept típico, franca fina, carbonática, térmica
	Calcixerept petrocálcico	Calafell
Pujols		Calcixerept petrocálcico, franca, carbonática, térmica, superficial
Llorenç		Calcixerept petrocálcico, franca fina, mezclada, térmica
Vendrell		Calcixerept petrocálcico, franca fina, carbonática, térmica
Arboç		Calcixerept petrocálcico, franca fina, mezclada, térmica
Haploxerept cálcico	Badorc	Haploxerept cálcico, esqueletica franca, mezclada, térmica
	Cabanyes	Haploxerept cálcico, franca fina, carbonática, térmica
	Ventosa	Haploxerept cálcico, franca fina, mezclada, térmica
	Vilobí	Haploxerept cálcico, franca fina, mezclada, térmica
	Cogullada	Haploxerept cálcico, franca fina, mezclada, térmica
	Pontons	Haploxerept cálcico, franca gruesa, mezclada, térmica
	Gornal	Haploxerept cálcico, franca fina, mezclada, térmica
	Avinyonet	Haploxerept cálcico, franca gruesa, mezclada, térmica
	Rovira	Haploxerept cálcico, franca fina, mezclada, térmica
	Puigmoltó	Haploxerept cálcico, franca gruesa, mezclada, térmica
Haploxerept fluvéntico	Aranyons	Haploxerept fluvéntico, franca fina, mezclada, térmica
	Guirreta	Haploxerept fluvéntico, franca gruesa, mezclada, térmica
	Dalt	Haploxerept fluvéntico, limosa fina, mezclada, térmica
	Llera	Haploxerept fluvéntico, franca gruesa, mezclada, térmica
	Hostalets	Haploxerept fluvéntico, franca gruesa, mezclada, térmica
	Rofes	Haploxerept fluvéntico, franca fina, mezclada, térmica
	Albinyana	Haploxerept fluvéntico, esqueletica franca, mezclada, térmica
	Pierola	Haploxerept fluvéntico, esqueletica franca, mezclada, térmica
	Jonc	Haploxerept fluvéntico, esqueletica franca, mezclada, térmica
	Xerofluent típico	Canyadell
Canyissar		Xerofluent típico, franca fina, carbonática, térmica
Feixet		Xerofluent típico, limosa fina, mezclada, térmica
Sadurní		Xerofluent típico, franca fina, mezclada, térmica
Portella		Xerofluent típico, franca fina, mezclada, térmica
Marmellar		Xerofluent típico, esqueletica franca, mezclada, térmica
Alber		Xerofluent típico, esqueletica franca, mezclada, térmica
Margantí		Xerofluent típico, esqueletica franca, mezclada, térmica

Subgrupo (Soil Taxonomy, SSS 1999)	Denominación de la serie	Familia (Soil Taxonomy, SSS 1999)
Haploxeralf lítico-rúptico-incéptico	Campdasens	Haploxeralf lítico-rúptico-incéptico, argilosa, mezclada, térmica, superficial
Haploxeralf cálcico	Cugat	Haploxeralf cálcico, franca fina, mezclada, térmica
	Hortons	Haploxeralf cálcico, franca fina, mezclada, térmica
	Riudebitlles	Haploxeralf cálcico, esqueletica argilosa, carbonática, térmica
	Falguerar	Haploxeralf cálcico, franca fina, mezclada, térmica
Haploxeroll lítico	Sapera	Haploxeroll lítico, franca, mezclada, térmica, superficial
Xerofluvent oxiácuico	Arboçar	Xerofluvent oxiácuico, franca fina, mezclada, térmica
Palexeralf cálcico	Sesgarrigues	Palexeralf petrocálcico, franca fina, mezclada, térmica
Haploxerert típico	Romà	Haploxeralf incéptico, fina, mezclada, térmica
Calcixerept típico (oxiácuico)	Molanta	Calcixerept típico (oxiácuico), limosa fina, mezclada, térmica

La única propiedad común a prácticamente todos los suelos del Penedès es su naturaleza calcárea. Sólo aparecen algunas excepciones en áreas muy limitadas de suelos desarrollados sobre pizarras, sobre travertinos, sobre arcillas del Keuper o sobre alguna plataforma decarbonatada. A lo largo de la realización del Mapa de Suelos (1:25.000) de Cataluña y otros trabajos de la *Secció d'Avaluació de Recursos Agraris* se ha encontrado una excelente correlación entre el carbonato cálcico equivalente y la caliza activa para esta zona.

La mayoría de los suelos presentan bajos contenidos de materia orgánica, con frecuencia entorno al 1 %, fruto, sin duda, de un cultivo secular en estos suelos. Son muy numerosos los suelos profundos con elevada capacidad de retención de agua, especialmente en los fondos y partes bajas de las laderas. En las áreas forestales o no cultivadas, con abundantes afloramientos rocosos, predominan los suelos superficiales. El limo es la fracción granulométrica predominante, lo que da lugar a suelos de textura franco-limosa, franca o franco-arcillolimosa. La pedregosidad y los elementos gruesos, en general, son poco abundantes.

Los suelos actualmente cultivados en la DO Penedès se han desarrollado prácticamente en su totalidad sobre materiales calcáreos blandos, que rellenan la Depresión del Penedès. Las superficies geomorfológicas son predominantemente modernas formadas por laderas y fondos de valle. La red fluvial se ha encajado fuertemente, especialmente en el sector N al pie del macizo de Montserrat, lo que ha provocado una erosión muy activa en los parajes de Masquefa-Piera (Boixadera, 1983). Existe una notable superficie ocupada por barrancos y áreas similares a *badlands* debido a los intensos fenómenos erosivos existentes.

El cultivo de la viña, desarrollado en la región durante decenios, ha jugado también un papel clave en los procesos de formación de suelos y ello en una doble vertiente: los procesos de erosión-deposición y la pérdida de materia orgánica. También, la práctica tradicional del desfonde, ocasionado al arrancar las viñas, ha provocado que los horizontes Ap adquieran un espesor de hasta 60-80 cm con presencia de horizontes A enterrados y de endopediones cálcicos en superficie (Nogués *et al.*, 1999).

Los procesos de sedimentación al pie de las laderas erosionadas han conducido a la formación de suelos de gran profundidad que presentan, con frecuencia, un carácter fluvéntico. En las superficies situadas a mayor cota, muy abundantes y extensas, sobre calizas domina el uso forestal, encontrándose horizontes oscuros y ricos en materia orgánica que, en algunas ocasiones, cualifican para mólicos, pero que frecuentemente no es así por los fenómenos de erosión soportados.

Las superficies geomorfológicas más estables presentan horizontes argílicos, rubefactados y con distinto grado de recarbonatación (Btkn). Menos frecuente es la presencia de plataformas residuales con horizontes petrocálcicos. Merece citarse la existencia de superficies relativamente recientes con horizontes argílicos (Nogués *et al.*, 1999), así como de argílicos al pie de las laderas que han sido descritos también por Bech (1999) y Carrillo *et al.* (2007). Las relaciones suelos-geomorfología han sido estudiados entre otros por Josa (1985), cuyas conclusiones sirvieron para orientar la cartografía.

Uno de los principales procesos formadores es la redistribución –que no lavado- de carbonatos, ampliamente representado en toda la región, con variedad de morfologías (nódulos, rizoconcrecciones, etc) y que con frecuencia llegan a confundirse con los paleosuelos diagenizados que rellenan la fosa. Otro proceso formador notable es la presencia de suelos con incorporación de materia orgánica a gran profundidad similar al carácter páchico de los Xerolls.

Unos pocos suelos presentan rasgos de hidromorfismo. Una parte de ellos se distribuyen alrededor de Vilafranca sobre sedimentos cuaternarios y otros están dispersos por el territorio, en lugares puntuales, allí donde el substrato de calcilutita es favorable por ser muy arcilloso.

Hay que señalar, finalmente, la presencia de importantes superficies donde los fuertes movimientos de tierra, para crear nuevas plantaciones mecanizadas, han alterado drásticamente la secuencia de horizontes genéticos. Debido a que en muchos lugares donde se han realizado estas operaciones, no existía un horizonte B, que una vez removido conservara sus características diferenciadoras (Bk, Bt, Bkm, etc), el resultado ha sido la formación de Xerorthents y, tan sólo puntualmente, de Xerarents.

En la DO Penedès un porcentaje significativo de suelos tiene buen potencial productivo y son capaces de producir vinos de moderado grado alcohólico y buena acidez. El siguiente grupo de suelos en importancia sería el de aquellos con un potencial productivo ligeramente inferior, pero todavía elevado.

4.2.4. Descripción de algunos tipos de suelos de la D.O. Penedès

4.2.4.1. Serie Can Vall (Perfil 70CE-033)

Información general

DESCRIPTOR: Marc Vicens

FECHA: 11/04/2006

SITUACIÓN:

Paraje: La viña del Biendó

Término municipal: Masquefa

COORDENADAS UTM:

X: 399500

Y: 4594397

COTA (m): 250

HOJA: 280-121

Geomorfología

Superficie de erosión ondulada, fuertemente disectada, 5-10 % de pendiente

Material original

Areniscas y lutitas miocenas

Uso del suelo y vegetación

Viñedo en secano, en mosaico con cereal de invierno y almendros

Pinar de pino carrasco (*Pinus halepensis*)

Profundidad efectiva: 50 cm

Pedregosidad superficial

Poco pedregoso, grava (2-6 cm)

Sin afloramientos rocosos

Drenaje

Bien drenado

CRAD(USDA, 1983)

Baja (64-127 mm/1,5m)

Clima del suelo (STS)

Régimen de humedad: xérico

Régimen de temperatura: térmico

Clasificación tentativa

Regosol háplico (eútrico, calcáreo). WRB (IUSS, 2006)

Xerorthent típico. STS (SSS, 1999)



Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)**0-30 cm****Ap**

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): marrón amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: algunos (5-15% en volumen), caliza, de tamaño de grava grande (2-6 cm), de forma redondeada esferoidal, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco-arcillosa. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques subangulares, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: finas y muy finas, de aspecto global normal. TEST DE CAMPO: Alta reacción de la matriz al HCl 11%. LÍMITE INFERIOR: neto, plano. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: ÓCRICO.

30-50 cm**BC**

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO DE OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): marrón amarillento claro (10YR 6/4) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: muy pocos (1-5% en volumen), caliza, de tamaño de grava grande (2-6 cm), de forma redondeada esferoidal, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco-limosa. ESTRUCTURA: Débil, en bloques angulares, mediana. COMPACIDAD: Compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: muy finas, de aspecto global limitado por contacto paralítico. TEST DE CAMPO: Alta reacción de la matriz al HCl 11%. LÍMITE INFERIOR: Neto, plano.

>50 cm**C (lutita)****Datos analíticos**

Propiedades químicas					
Horizontes (profundidades)	pH H ₂ O 1:2,5	CE 1:5 (dS/m a 25 °C)	Materia Orgánica (%)	Carbonato cálcico eq %	Caliza Activa (%)
Ap (0-30 cm)	8,6 (8,5-9,0)	0,32 (0,2-0,3)	1,7 (0,4-2,1)	31 (19-32)	4,4 (3,9-5,7)
BC (30-50 cm)	8,8 (8,7-9,2)	0,25 (0,2-0,3)	-	27 (22-30)	4,6 (3,7-4,6)

Humedad y complejo de cambio (AcONH ₄)				
Horizontes (profundidades)	Capacidad de campo (θ ₋₃₃) (g H ₂ O/100g suelo)	Punto de marchitez (θ ₋₁₅₀₀) (g H ₂ O/100g suelo)	CRAD (mm/10 cm)	CIC (cmol(+)kg ⁻¹)
Ap (0-30 cm)	30,5 (19,0-29,8)	17,4 (7,0-14,3)	16,2 (15,0-20,1)	- (10,0-17,1)
BC (30-50 cm)	26,1 (23,3-34,2)	11,7 (11,6-18,2)	17,8 (17,0-23,3)	- (15,4-22,3)

Granulometría				
Horizontes (profundidades)	Arena total (%)	Limo total (%)	Arcilla total (%)	Clase textural (USDA)
Ap (0-30 cm)	38 (10-40)	30 (37-60)	31 (18-39)	Franco-arcillosa
BC (30-50 cm)	38 (16-43)	44 (36-54)	18 (19-33)	Franca

(entre paréntesis se indican los percentiles 10 y 90 de la serie de suelos Can Vall).

4.2.4.2 Serie Vilafranca (Perfil 70CE-131)

Información general

DESCRIPTOR: Emilio Ascaso

FECHA: 17/05/2006.

SITUACIÓN:

Paraje: Terracuques

Término municipal: l'Arboç

COORDENADAS UTM:

X: 382525

Y: 4571098

COTA (m): 156

HOJA: 275-131

Geomorfología

Abanico aluvial, depresión del Penedès

2-5 % de pendiente

Material original

Detríticos terrígenos finos

Uso del suelo y vegetación

Viñedo en secano, en mosaico con almendros

Pinar de pino carrasco (*Pinus halepensis*)

Profundidad efectiva

>120 cm

Pedregosidad superficial

Poco pedregoso, grava (2-6 cm).

Sin afloramientos rocosos

Drenaje

Bien drenado

CRAD (USDA, 1983)

Alta (190-250 mm/1,5m)

Clima del suelo (STS)

Régimen de humedad: xérico

Régimen de temperatura: térmico

Clasificación tentativa

Calcisol háplico (eútrico, calcáreo). WRB (IUSS, 2006)

Calcixerept típico. Soil Taxonomy (SSS, 1999)



Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)**0-34 cm****Ap**

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): rojo amarillento (7,5YR 4/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: algunos (5-15% en volumen), caliza, de tamaño de grava media (0,6-2 cm), de forma redondeada tabular, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques subangulares, mediana. COMPACIDAD: Compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Aparente, galerías y turrículas. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: finas y muy finas, de aspecto global normal. TEST DE CAMPO: Muy alta reacción de la matriz al HCl 11%. Límite inferior: Neto, plano. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: ÓCRICO.

34-50 cm**Bkn**

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): rojo amarillento (7,5YR 5/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: algunos (5-15% en volumen), caliza, de tamaño de grava media (0,6-2 cm), de forma redondeada tabular, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franca. ESTRUCTURA: Muy débil, en bloques subangulares, mediana. COMPACIDAD: Muy compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: muy finas, de aspecto global normal. TEST DE CAMPO: Muy alta reacción de la matriz al HCl 11%. ACUMULACIONES: Dominantes (>40% en volumen). LÍMITE INFERIOR: Gradual, plano. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: CÁLCICO.

50-170 cm**Bwkn**

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO OXIDACIÓN-REDUCCIÓN: redox: Oxidado. COLOR (de la matriz del suelo): rojo amarillento (7,5YR 5/6) en húmedo. MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: algunos (5-15% en volumen), caliza, de tamaño de grava media (0,6-2 cm), de forma redondeada tabular, sin orientación definida, distribución regular. TEXTURA AL TACTO: Franco limoso. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques subangulares, grandes. COMPACIDAD: Muy compacto, friable. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No aparente. ACTIVIDAD ANTRÓPICA: No aparente. RAÍCES: muy finas, de aspecto global normal. TEST DE CAMPO: Muy alta reacción de la matriz al HCl 11%. ACUMULACIONES: Dominantes (>40% en volumen). HORIZONTE DIAGNÓSTICO: CÁLCICO.

Datos analíticos**Propiedades químicas**

Horizontes (profundidades)	pH H ₂ O 1:2,5	CE 1:5 (dS/m a 25 °C)	Materia Orgánica (%)	Carbonato cálcico eq %	Caliza Activa (%)
Ap (0-34 cm)	8,6 (8,2-8,6)	0,17 (0,13-0,26)	2,2 (0,7-2,1)	37 (30-55)	5,4 (3,3-14,1)
BC (34-50 cm)	8,9 (8,3-8,8)	0,16 (0,14-0,28)	- (0,2-1,5)	46 (33-55)	6,0 (4,8-15,5)
Bwkn (50-170 cm)	9,0 (8,3-8,8)	0,16 (0,14-0,28)	- (0,2-1,5)	44 (33-55)	6,0 (4,8-15,5)

Humedad y complejo de cambio (AcONH₄)

Horizontes (profundidades)	Capacidad de campo (θ ₃₃) (g H ₂ O/100g suelo)	Punto de marchitez (θ ₁₅₀₀) (g H ₂ O/100g suelo)	CRAD (mm/10 cm)	CIC (cmol(+)kg ⁻¹)
Ap (0-34 cm)	26 (20-26)	13 (8-13)	19 (15-20)	10 (8-15)
Bkn (34-50 cm)	26 (20-28)	11 (7-14)	21 (15-20)	9 (8-15)
Bwkn (50-170 cm)	24 (20-28)	8 (7-14)	24 (15-20)	7 (8-15)

Granulometría

Horizontes (profundidades)	Arena total (%)	Limo total (%)	Arcilla total (%)	Clase textural (USDA)
Ap (0-30 cm)	42 (24-44)	37 (34-49)	21 (15-29)	Franca
Bkn (30-50 cm)	36 (17-43)	45 (35-58)	19 (18-32)	Franca
Bwkn (50-170 cm)	35 (17-43)	57 (35-58)	8 (18-32)	Franco limosa

(entre paréntesis se indican los percentiles 10 y 90 de la serie de suelos Vilafranca).

4.2.5. Evaluación, con finalidad vitivinícola, de los suelos de la D.O. Penedès

4.2.5.1. Introducción

Los trabajos de zonificación, aplicados a la viña, se han ido generalizando y se han abordado desde distintos puntos de vista: índices bioclimáticos (Fregoni *et al.*, 1992; Intriери *et al.*, 1993; Carbonneau, 1999), estudios edáficos y/o geomorfológicos (Falcetti *et al.*, 1992; Fregoni *et al.*, 1992; Lebon, 1993; ESAV, 1996; Morlat, 1997; Gomez-Miguel *et al.* 2000), balance hídrico, agrupación de parcelas a partir de los resultados cualitativos de los mostos y/o vinos obtenidos de ellas (Morlat, 1984; Cotencin *et al.*, 1992; Fregoni *et al.*, 1992; Barbeau *et al.*, 1998; Vaudour, 1998). La información proporcionada por los índices bioclimáticos puede parecer una excelente aproximación, aunque tiene como limitación que sólo es de aplicación directa y significativa en la macrozonación; para estudios de microzonación o mesozonación, la presencia de los otros factores descritos se hace imprescindible.

Así, los conceptos de *terroir*, Unidad de *Terroir* Base (UTB) o de Unidad Natural de *Terroir* Base (UNTB) han ido evolucionando y presentan como característica común la integración de factores edáficos, geomorfológicos y climáticos que determinan un paisaje y, por tanto, las características de los cultivos establecidos en él. Riou (1995) habla de las UNTB como del estudio de la respuesta de la vid a través del vino. Se reconoce la importancia de componentes que definirían las características de una UTB (Lebon *et al.*, 1993; Riou *et al.*, 1995; Vaudour *et al.*, 1998), como son la naturaleza y el grado de alteración del material original del suelo y aspectos del paisaje, como la pendiente o la orientación. Pero la descomposición factorial del *terroir* no ha sido resuelta pese a los diferentes trabajos efectuados al respecto y del desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Théliier-Huché y Morlat (2000) observan, por ejemplo, cómo la profundidad del suelo y el grado de intensidad de la alteración de la roca madre parecen tener, en general, mayor influencia que el sistema geológico en el comportamiento edafoclimático de la parcela, aunque se recoce la importancia de la naturaleza litológica en algunas características del viñedo.

Algunos autores se han enfrentado al problema estudiando directamente el paisaje formado más que los factores que lo han determinado, haciendo hincapié en el tipo y diversidad de flora natural, indicadora, a veces, de unas determinadas condiciones de clima, suelo y morfología del territorio. De todo ello, se puede deducir que, cada vez más, el estudio se plantea desde un punto de vista pluridisciplinar (Fregoni *et al.*, 1992). La inclusión del hombre como un factor más, dentro de la aproximación al concepto de *terroir* (Bohmrich, 1996), define la existencia de un papel humano dentro del sistema vitícola, siendo el aspecto comercial una motivación más.

La integración de la información de suelos y de las características geomorfológicas y climáticas, junto a las propias características de portainjertos y variedades, debe permitir una delimitación de áreas con distintas aptitudes para el cultivo de la viña, o de cualquier actividad agrícola en general. En esta dirección, autores como Lavilla, 1990, Jourjon *et al.*, 1991, Riou *et al.*, 1995, Vaudour, 1998 y Girbault y Morlat, 1999 han dirigido ya sus estudios, aunque la metodología para la integración de múltiples factores resulta extremadamente más compleja y necesita soportes informáticos con características de SIG.

Para la evaluación realizada en este trabajo se partió de los resultados del Mapa de Suelos (1:25.000) de Cataluña, adaptando una metodología general de evaluación del territorio (FAO, 1976; Boixadera y Porta, 1991), en la parte central de l'Alt Penedès (Herrero *et al.*, 2001). En el posterior trabajo de cartografía (DAR, 2008) la evaluación se extendió a todo el ámbito de la DO Penedès. Con ello se elaboraron distintos mapas temáticos e interpretativos de la aptitud que permitieran a agricultores y técnicos la identificación de la propia parcela de cultivo.

4.2.5.2. Metodología para la obtención de mapas temáticos, de potencial de vigor y de aptitud de portainjertos y variedades

La expresión ‘Land Evaluation’ (evaluación de suelos) define el proceso de juzgar el comportamiento de un uso del territorio mediante la ejecución o interpretación de estudios y cartografías de suelos, geomorfología, vegetación, clima y otros aspectos del territorio. La finalidad de la evaluación de suelos es identificar y realizar una comparación de los tipos de usos más prometedores en relación a las unidades específicas del territorio y en términos aplicables a los objetivos de la clasificación (FAO, 1976).

La metodología empleada se basa en el sistema FAO (1976), cuyos fundamentos siguen plenamente vigentes como reconoce la propia organización en una revisión reciente de dicha metodología (FAO, 2007), y utiliza criterios de clima y geomorfología, denominándose en este caso evaluación del territorio (Boixadera y Porta, 1991). Las unidades cartográficas de evaluación se han obtenido a partir del Mapa de Suelos 1:25.000, con apoyo de un modelo digital del terreno (MDT), de fotointerpretación y de trabajo de campo.

Se ha hecho una simplificación formal para facilitar todo el proceso. Siguiendo la terminología FAO, los requerimientos de uso los han facilitado los técnicos vitivinícolas que conocen a fondo el comportamiento de portainjertos y variedades en diferentes lugares, y especialmente en el Penedès.

La metodología FAO de evaluación se fundamenta en comparar cualidades del territorio con requerimientos de uso, definido éste con un considerable grado de detalle. En este caso, y a pesar de la importancia que demuestran muchos de los factores del territorio, se ha dado mayor peso a los suelos y tan sólo se han considerado, de forma complementaria, los aspectos climáticos (heladas, altitud, exposición) y geomorfológicos (fondos, vertientes, terrazas).

A partir del MDT, se pueden hacer análisis de la pendiente de una determinada parcela, así como de su curvatura (cóncava o convexa) y orientación (exposición solar). Por otra parte, a partir de los datos climáticos de las estaciones cercanas se obtiene la integral térmica efectiva.

Las propiedades y características de los suelos empleados en la evaluación se recogen en la tabla 2.

TABLA 2. Propiedades y características de los suelos de la DO Penedès utilizados en la evaluación con fines vitivinícola

Tipo de propiedad	Propiedad
Topografía y posición	Pendiente Posición geomorfológica
Propiedades físicas	Profundidad efectiva de enraizamiento Material subyacente Cantidad de gravas superficiales Contenido de elementos gruesos en el perfil Textura Capacidad de retención de agua Presencia de afloramientos rocosos Drenaje
Propiedades químicas	Contenido de materia orgánica Contenido de carbonato cálcico equivalente Contenido de caliza activa Reacción del suelo Salinidad

La comparación “cualidades del territorio–requerimientos de los usos” (portainjertos o variedades) ha permitido determinar los niveles de aptitud.

Los resultados se presentan en forma de mapas, para cada patrón (figura 2) y para cada variedad (figura 3), según el destino enológico (vino base para cava, vino blanco tranquilo para

las variedades de uva blanca y vino tinto para las variedades de uva tinta). Se establecen 3 niveles o categorías de uso asimilables a los niveles de aptitud de FAO (FAO, 1976):

- **recomendable**, (adaptación óptima cultivo-unidad cartográfica de evaluación).
- **utilizable** (requiere un manejo especial del cultivo y/o la parcela).
- **no recomendable** (limitaciones que desaconsejan la utilización del patrón o variedad).

Esta última, comprendería aquellos casos en que no se recomienda el uso porque las restricciones (encharcamiento, heladas primaverales, elevada fertilidad del suelo, escasez de agua, etc) son tan importantes que dificultan la viabilidad económica, o la obtención de un mosto con calidad suficiente para un determinado objetivo enológico.

El sistema de evaluación elegido corresponde a un primer nivel de zonificación, válido para una zona de la extensión de la del ámbito geográfico de la DO Penedès. Un mayor grado de detalle requiere cartografías mas detalladas como han puesto de manifiesto los trabajos de Ubalde, 2010 y Ubalde *et al.*, 2011. Asimismo hay que tener en cuenta que los usos considerados en esta evaluación no dejan de ser más que un número limitado de los posibles escenarios que pueden ser de interés en un momento dado. La base de datos georreferenciada, creada en la realización de este trabajo, ha de permitir llevar a cabo estas nuevas evaluaciones con relativa facilidad, sin más que desarrollar las nuevas tablas de especificaciones necesarias.

a) Mapas temáticos

Los mapas temáticos son aquellos que representan la distribución de un determinado parámetro químico o característica física de interés en el área de estudio. Son de obtención directa a partir del Mapa de Suelos 1:25.000. Entre los más interesantes, en el ámbito de la DO Penedès se encuentran: el mapa de la distribución de la caliza activa, la profundidad enraizable, la capacidad de retención de agua disponible y el contenido de elementos gruesos en la profundidad enraizable.

b) Determinación de la aptitud para portainjertos

Los portainjertos evaluados fueron: 110 R, 41 B, SO4, 1103 P y 140 Ru. Se seleccionaron por ser los que más se adaptan a las características del Penedès como demuestra su mayor distribución.

El pie 41-B es el más tradicional. Se adapta a todo tipo de suelos; presenta buena tolerancia a los carbonatos, a la sequía moderada y hermana muy bien con todas las variedades. Además, tiene suficiente resistencia a la filoxera, si bien el hecho de que induzca poco vigor puede dar problemas en suelos de baja fertilidad y años muy secos. Hay que señalar, como característica esencial, que no favorece la podredumbre.

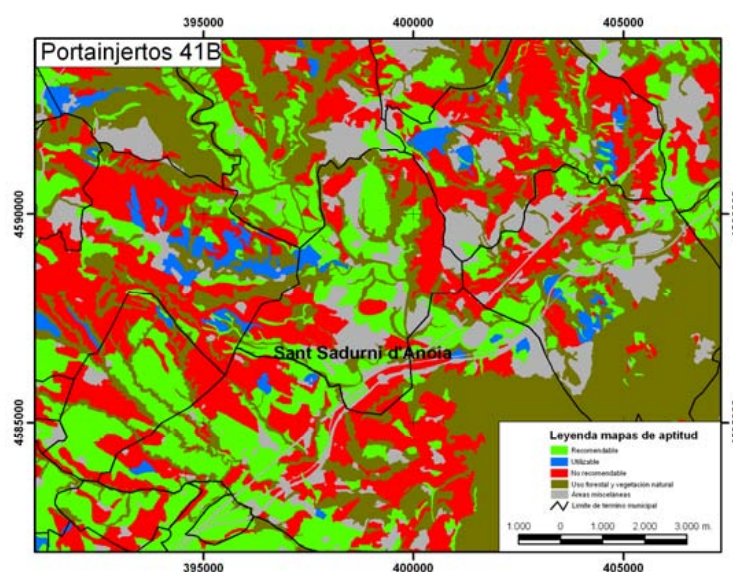


FIGURA 2. Ejemplo del mapa de aptitud obtenido para uno de los portainjertos (41B).

El pie SO4 mejora la productividad de las cepas. En variedades, como Macabeo, Parellada y Chardonnay, favorece la podredumbre y produce vinos de calidad inferior.

El 140 Ruggieri es un pie de reciente introducción, que tiene condiciones óptimas en los suelos más pobres en nutrientes. Al igual que el 41-B, no favorece la podredumbre. Se trata de un portainjerto muy resistente a la sequía; sin embargo, en suelos fértiles y con suficiente aporte de agua produce plantas muy vigorosas, lo que puede favorecer la podredumbre.

El 110-R es un pie que tiene interés para las variedades de uva tinta como la Garnacha, Tempranillo, Merlot, Cabernet Sauvignon y el Pinot Noir. Mejora bastante la graduación y la calidad de la uva y del vino. Sin embargo, resulta poco adecuado en las variedades como Chardonnay y Macabeo, muy sensibles a la podredumbre.

Las cualidades del suelo utilizadas para la delimitación de las zonas de aptitud de cada patrón han sido:

- contenido de caliza activa, como estimador de la susceptibilidad a la clorosis férrica.
- clase de drenaje relacionada con los problemas de asfixia y como estimador de la disponibilidad de oxígeno por las raíces.
- capacidad de retención de agua disponible (CRAD) como estimador de la disponibilidad de agua que determina la fertilidad, la expresión de vigor vegetativo y la susceptibilidad a la sequía.

Los valores umbral de cada cualidad para cada portainjerto, descritos en la tabla de especificaciones (tabla 3), se han establecido a partir de la bibliografía general y de los estudios localizados en la región (Mínguez, 1981). Estas cualidades se han clasificado según su importancia para cada portainjerto.

TABLA 3. Factores limitantes para la elección de los portainjertos

Portainjerto	Factor 1 Caliza activa	Factor 2 Drenaje/ CRAD	Factor 3 CRAD/ Drenaje
110-R	N > 15%	N Drenaje deficiente U. Drenaje limitado	U. CRAD muy alta, elevada, muy baja
	R. ≤ 15 %	R. Buen drenaje	R. CRAD moderada, baja
1103-P*	N > 15%	U. Drenaje limitado, bueno R. Drenaje deficiente	N CRAD muy alta, elevada, moderada U. CRAD muy baja R. CRAD baja
	R. ≤ 15 %		
SO4	N > 17%	N CRAD baja, muy baja U. CRAD moderada, alta R. CRAD muy alta	U. Drenaje limitado, bueno R. Drenaje deficiente
	R. ≤ 17 %		
140-Ruggieri	N > 30%	N CRAD muy alta, elevada, moderada U. CRAD baja R. CRAD muy baja	N. Drenaje deficiente, limitado U. Buen drenaje
	R. ≤ 30 %		
41-B	N > 30%	N CRAD baja, muy baja U. CRAD moderada R. CRAD muy alta, elevada	N. Drenaje deficiente U. Drenaje limitado R. Buen drenaje
	R. ≤ 30 %		

RRR, RRU= Recomendable
RUR o RUU = Utilizable
N = No recomendable

c) Mapa de potencial de vigor

El potencial de vigor del suelo (PVT) se estima a partir de tres variables que se pueden cartografiar directa o indirectamente:

- El tipo de material subyacente, que aparece antes de 1,20 m.
- La capacidad de retención de agua disponible (CRAD).
- El tipo de unidad geomorfológica y su pendiente.

Para su cálculo, se asigna un coeficiente de vigor a cada una de estas variables en función del presumible efecto que, cada una de ellas, ejerce sobre el nivel de vigor conferido por el suelo (tabla 4). Cada variable oscila entre 1 (potencial de vigor más débil) y 3 (potencial de vigor más fuerte). En este algoritmo no se incluye el contenido en nutrientes (N,P,K) del suelo que depende en gran parte de las prácticas del viticultor.

TABLA 4. Criterios utilizados para calcular el potencial de vigor (adaptado de Morlat 2001)

Variable <i>i</i>	Coeficiente de vigor	Modalidad	Nota		
Material subyacente	1/3	Duro (roca calcárea, petrocálcico)	1		
		Medio (hipercálcico, margas)	2		
		Blando (detrítico terrígeno)	3		
Capacidad de retención de agua disponible (CRAD)	2	Muy baja	1		
		Baja	1,5		
		Moderada	2		
		Alta	2,5		
		Muy alta	3		
Geomorfología y pendiente	1		<5% o bancales	5-10%	10-20%
		Formas suaves	1,5	1,25	1
		Terraza	2	1,5	1,25
		fondo	3	2	1,5

El valor final del PVT se obtiene según la siguiente expresión matemática:

$$PVT = \sum_{i=1}^3 ((Coeficiente\ de\ vigor\ i) \times (Nota\ i))$$

El valor final del potencial de vigor, calculado en cada uno de los puntos de muestreo, varía entre 0 (potencial de vigor nulo) y 9 (potencial de vigor fuerte), interpretándose los valores según se indica en la tabla 5.

TABLA 5. Interpretación del potencial de vigor

PVT	Interpretación
0-2	Nulo
2,01-4	Muy débil
4,01-5	Débil
5,01-6,5	Moderado
6,51-7,5	Fuerte
7,51-10	Muy fuerte

Determinación de la aptitud para variedades de *Vitis vinifera*

Además de las variedades de vid utilizadas en el Penedès, a la hora de elaborar los productos vitícolas se ha de tener en cuenta su vocación; así tendremos las variedades blancas para vino blanco, las variedades blancas para cava y las variedades tintas para la obtención de vino tinto.

Las variedades blancas más importantes dentro del ámbito geográfico de la Denominación de Origen Penedès, para las que se realizó la evaluación son:

Chardonnay: Introducida en el Penedès en los años sesenta y aclimatada con éxito. Con esta variedad se elaboran vinos blancos jóvenes y muy afrutados. También se utiliza para la elaboración de cava porque aporta una fina fragancia.

Xarel-lo: Una de las variedades tradicionales, propia de la zona del bajo y medio Penedès. Junto a las variedades Macabeo y Parellada, forma parte del "ensamblaje" del cava tradicional.

Parellada: Es la más fina de las variedades blancas tradicionales del Penedès. Produce blancos aromáticos, secos, de graduación moderada, aroma fresco y una delicada acidez afrutada.

Macabeo: Se encuentra básicamente en el Penedès Central; es la variedad que aporta al cava su aroma afrutado y su rica sabia. Produce los vinos blancos secos y afrutados considerados como los más típicos de la DO Penedès.

Las variedades tintas más importantes dentro del ámbito geográfico de la Denominación de Origen Penedès son:

Garnacha: Variedad tradicional del Mediterráneo que se encuentra en las tierras más cálidas del Baix Penedès. Se encuentra siempre presente en los vinos rosados afrutados del Penedès, produce vinos con buena graduación y cuerpo, aptos para el envejecimiento en roble.

Merlot: Se encuentra en el Penedès Central y sirve para elaborar excelentes vinos varietales y aromáticos vinos jóvenes. Da lugar a vinos corpulentos y con muchos taninos. Además conjuga muy bien con otros caldos.

Cabernet Sauvignon: Los vinos son de color intenso, demostrando un carácter distintivo y clase entre el resto de variedades tintas. Sus aromas se hacen más complejos con el envejecimiento. Es una variedad que se cultiva en el centro y norte del Penedès.

Tempranillo: Los vinos resultantes son de buena graduación alcohólica, con una moderada acidez afrutada y buena perspectiva aromática. Es una variedad tradicional que se encuentra en el sur y centro del Penedès.

Se han evaluado 4 variedades de uva con vocación para elaborar cava, 4 variedades de uva con vocación para elaborar vino blanco tranquilo y 3 variedades de uva con vocación para elaborar vino tinto.

Las cualidades del territorio consideradas han sido:

- Climáticas: riesgo de heladas, insolación y contraste térmico día/noche. Estas cualidades se han estimado a nivel microclimático, indirectamente a partir de la altitud, la posición geomorfológica y la experiencia en la zona.
- Geomorfológicas: posición geomorfológica (fondo, ladera) y grado de la pendiente.
- Edáficas: clase de drenaje, CRAD (como estimador de fertilidad, del vigor potencial y del riesgo de sequía) y contenido de elementos gruesos en superficie.

Estas cualidades se han ordenado, en función de su importancia, para cada variedad y destino enológico. Los umbrales se han establecido a partir de la bibliografía general, de los estudios locales realizados en la región (Mínguez y Parejo, 1982) y de las recomendaciones de los expertos locales. El valor umbral para las cualidades empleadas ha variado en función de la orientación vitícola considerada, siendo progresivamente más restrictivo al referirse a los destinos vino blanco base para cava, vino blanco tranquilo y vino tinto. Finalmente, se señala como hipótesis de trabajo que el portainjerto elegido en cada caso es plenamente compatible con la variedad.

La descripción de las cualidades utilizadas en la evaluación es la siguiente:

Cualidad 1: Disponibilidad de temperatura (contraste día-noche). Inferida a partir de la cota del terreno (obtenida a partir del MDT del *Institut Cartogràfic de Catalunya*, con una resolución de 15 x 15 m).

Cualidad 2: Riesgo de heladas. Estimado a partir de la posición fisiográfica. Para delinear estas áreas se ha hecho una fotointerpretación específica complementada con trabajo de campo, en parte realizada durante de elaboración del mapa de suelos.

Cualidad 3: Disponibilidad de agua. Estimada a partir de la CRAD. Se utiliza como indicador del vigor y la producción.

Cualidad 4: Condiciones de aireación. Estimada a partir de la clase de drenaje y, en ciertos casos, del porcentaje de elementos gruesos en la profundidad enraizable.

Cualidad 5: Insolación. Estimada a partir de la pendiente y la orientación (exposición solar). Se han obtenido a partir del MDT del ICC con una resolución de 15 x 15 m y mediante trabajo de campo.

Como en el caso de los portainjertos, se ha procedido a una gradación de las cualidades, asignándoles diferente peso según la orientación productiva y variedad considerada, y contrastando los resultados con expertos locales. La tabla 6 presenta un ejemplo de las especificaciones utilizadas en la evaluación de variedades de uva blanca con destino a vino base para cava. La tabla 7 presenta un ejemplo de asignación de los niveles de aptitud en dicha evaluación.

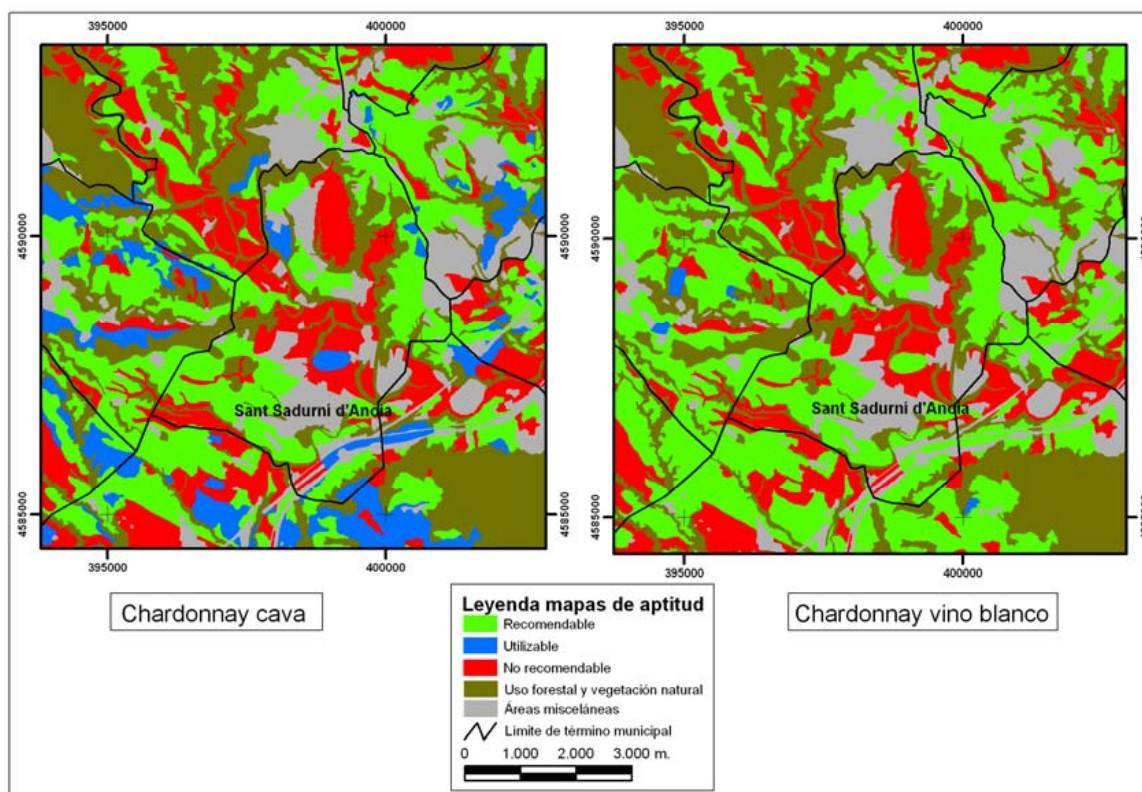


FIGURA 3.- Ejemplo de mapas de aptitud obtenidos para la variedad Chardonnay para elaboración de cava y de vino blanco

TABLA 6. Factores limitantes para la evaluación de variedades de uva blanca con destino a vino base para cava

Variedades	Factor 1 Altitud	Factor 2 Fisiografía	Factor 3 Drenaje	Factor 4 CRAD	Factor 5 Pendiente (%)
Chardonnay	R. Alt.> 100 m U. Alt. ≤ 100 m	N. Fondo	R. Buen drenaje U. Drenaje limitado N Drenaje deficiente	R. CRAD baja, muy baja U. CRAD alta, moderada N CRAD muy alta	R. >5%
Macabeo		N. Fondo	R. Buen drenaje U. Drenaje limitado N Drenaje deficiente	R. CRAD baja U. CRAD moderada, alta N CRAD muy baja, muy alta	R. >5% U. 2-5% N. <2%
Xarel-lo	N. Alt.> 300 m	U. Fondo	R. Buen drenaje U. Drenaje limitado N Drenaje deficiente		R. >5% U. ≤5%
Parellada	R Alt >300 m U. 200-300 N Alt <200 m		R. Buen drenaje U. Drenaje limitado N Drenaje deficiente	R. CRAD baja , muy baja U. CRAD moderada N CRAD alta, muy alta	

R= Recomendable; U= Utilizable; N= No recomendable

TABLA 7. Asignación de los niveles de aptitud en la evaluación de variedades de uva blanca con destino a vino base para cava

Variedades	Recomendable	Utilizable	No recomendable
Chardonnay	Máximo 2 factores = U	Máximo 4 factores = U	Cualquier factor = N
Macabeo	Máximo 1 factor = U	Máximo 3 factores = U	Cualquier factor = N
Xarel.lo	Máximo 1 factor = U	Máximo 3 factores = U	Cualquier factor = N
Parellada	Máximo 1 factor = U	Máximo 3 factores = U	Cualquier factor = N

4.2.5.3. Principales resultados de la evaluación

Los mapas para portainjertos y variedades obtenidos (figuras 2 y 3) muestran el diferente grado de aptitud del suelo: Recomendable, Utilizable o No recomendable.

a) Mapas de aptitud para portainjertos de viña

Los factores clase de drenaje y CRAD han posibilitado una buena discriminación de la aptitud de las distintas unidades de suelos en el caso de los portainjertos. Morlat (1997) considera, además de los 3 factores citados, la pedregosidad y la dureza de la roca. La pedregosidad afecta propiedades como el drenaje, la capacidad de retención de agua, el clima del suelo y la evaporación. Las dos primeras han sido consideradas explícitamente en el trabajo de evaluación y las dos últimas presentan una influencia de difícil valoración para la recomendación de portainjertos. La importancia de la dureza de la roca es escasa en esta cartografía debido a la elevada profundidad de los suelos y a una CRAD muy alta. Además ya se ha tenido en cuenta porque la CRAD está condicionada por la enraizabilidad del material, aunque podría considerarse en futuros trabajos de zonificación, así como la compacidad (por su importancia en el establecimiento y distribución radicular).

b) Mapas de aptitud para diferentes orientaciones vitícolas

Los resultados obtenidos en el área estudiada muestran gran coherencia con la realidad vitícola tradicional. En cuanto a la vocación, las parcelas destinadas a vino blanco tranquilo,

representarían una menor superficie respecto al destino vino base para cava, ya que las producciones y composición del mosto exigibles son distintas en ambos casos: así para el vino base para cava se suele preferir, en términos generales, aquellos con una mayor acidez, menor grado alcohólico, poco oxidados y pálidos, mientras que para vinos blancos tranquilos se escogen los mostos mas concentrados, de mayor graduación y con un mayor grado de maduración. Dentro de la amplia gama que permite el manejo vitícola el primer caso se asocia a las situaciones mas productivas, mientras el segundo lo estaría a aquellos en que es mas fácil obtener una mayor maduración y grado alcohólico. Esta tipología no sólo esta relacionada con suelos de mayor o menor productividad, sino también a otros factores que pueden inducir mejor maduración, por ejemplo. En cualquier caso, el Xarel·lo sería la variedad más recomendada.

Respecto a las variedades de uva tinta, la exigencia de una óptima acumulación de azúcares y maduración fenólica de la uva ha conducido a que pocas zonas sean utilizables para su cultivo y que no aparezcan muchas áreas recomendables para las variedades tintas. Este hecho parece derivar de la elevada fertilidad que presentan los suelos, con unas texturas mayoritariamente francas a franco-arcillosas y con pocos elementos gruesos, además de una elevada profundidad enraizable. Otro motivo a añadir es la escasa oscilación térmica en buena parte del ámbito geográfico que sólo se hace mayor en las partes mas elevadas de la zona interior del Penedès y que parece necesaria para un correcto desarrollo de la pigmentación.

Para las variedades de introducción más reciente, como es el caso del Chardonnay y las variedades tintas, la distribución parece efectuarse independientemente del tipo de suelo, a pesar de que el progresivo conocimiento de su comportamiento en la zona debería aproximarla a la modelizada. Observaciones parecidas han sido recogidas por Théliet-Huché y Morlat (2000) en un estudio realizado en la zona de Anjou.

Como reflexión final, en relación a los mapas de aptitud de variedades, cabe reseñar que el trabajo de zonificación realizado ha tenido como hipótesis básica el cultivo en secano de la vid. La presencia de un sistema de riego modificaría las características reales de la parcela, ya que conceptos como la CRAD, la pluviometría o algunos de los índices bioclimáticos utilizados en muchos de los sistemas de zonificación tendrían otro sentido al actual. Ésta sería la prueba más contundente de cómo la gestión de la parcela y las técnicas culturales empleadas pueden hacer posible el cultivo de una determinada variedad en una parcela, a priori, desestimable en otras condiciones. Por este motivo, en ningún caso se niega la posibilidad de utilización de un portainjerto o variedad, si bien se advierte de que existen características limitantes para el cultivo. El conocimiento de la realidad de la parcela y las posibilidades técnicas disponibles para cada viticultor y área de cultivo marcarán finalmente la posibilidad real de cultivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración técnica de los especialistas en viticultura del DAAM: A. Vilarroya y J. Sella; del INCAVI: C. Domingo, L. Giralt y S. Minguez; de la ADV Vitioleicultores Baix Penedès-Garraf: J. Mirall; de los consejos reguladores de la DO Cava y DO Penedès y del Consell Comarcal de l'Alt Penedès.

Por supuesto, a todos los técnicos agrónomos y forestales que a lo largo de estos años han participado en los trabajos de cartografía de los suelos del área y su evaluación: E. Ascaso; J. Baldrich; M. Julian; G. Carrillo; M. Vicens; J.M. Raluy; M.A. Argilés; M. Burriel; B. Blasi; E. Carrillo; O. de Cirugeda; M. Garrido; J. Llauredó; J.M. Llop; J.C. Loaza; J. Manent; L. Margalló; J. Mateos; J. Nogués; J.M. Pijuan; O. Palou; C. Rúbies; M. Salazar; J. Sánchez; I. Simó; J. Vallverdú y P. Villar.

A los anónimos revisores que con sus comentarios han contribuidos a mejorar substancialmente el texto inicial.

Y por último queremos dedicar este trabajo a la memoria de Oriol Bustos, que tanta ilusión puso en la elaboración del Mapa de sòls (1:25.000) de l'àmbit geogràfic de la Denominació d'Origen Penedès, cuya vida fue malograda en un desgraciado accidente de tráfico.

4.2.6. Referencias bibliográficas

- BARBEAU, G., ASSELIN, C., MORLAT, R. "Estimation du potentiel viticole des terroirs en Val de Loire selon un indice de précocité du cycle de la vigne". Bull. De l'OIV, 805-806. (1998), p. 247-262.
- BECH, J. "6th International Meeting on Soils with Mediterranean type of Climate" 4-9 July 1999. Universitat de Barcelona. 137 p.
- BOHRMICH, R. "Terroir: competing perspectives on the roles of soil, climate and people". Journal of Wine Research, vol. 7 (1) (1996), p. 33-46.
- BOIXADERA, J. "Àrea modelo de conservació de sòls en Piera-Masquefa". PFC. Escola Tècnica Superior d'Enginyers Agrònoms de Lleida, Lleida. (1983).
- BOIXADERA, J. y PORTA, J. "Información de Suelos y Evaluación Catastral: Método del Valor Índice". C.G.C.T. Monografías 3. Mº de Economía y Hacienda. Madrid. (1991), 151 p.
- CARBONEAU, A. (OIV, Grup d'Experts, Zonage Vitivinicole-8/3/99).
- CARRILLO, E.; CARRILLO, G.; HERRERO, C.; MARGALLÓ, L.; BURRIEL, M. "Mapa de sòls (1:25.000) de Catalunya. TM de Sant Climent de Llobregat". Baix Llobregat. DAR- Lleida, (2007).
- CBDSA. "Sistema de información Edafológica y Agronómica de España. SINEDARES. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo". MAPA, Madrid. (1983), 137p.
- COTENCIN, R.; GALANT, P.; ROUSTAN, B. "Terroir viticole et typicités organoleptiques: proposition d'un système applicable à la gestion des vignobles". Rev. Française d'Oen, núm.139. (1992), p. 59-63.
- DAR "Mapa de sòls (1:25.000) de l'àmbit geogràfic de la Denominació d'Origen Penedès". Vilafranca del Penedès-Lleida. (2008).
- ESAV. "I suoli dell'area a doc del Piave" Ed. Ente di Sviluppo Agricolo del Veneto. (1996).
- FALCETTI, M.; PINZAUTI, S.; SCIENZA, A. "La zonazione dei terreni vitivi del Trentino. Aspetti pedologici e nutrizionali". Vignevisini, núm.9. (1992), p. 57-64.
- FAO "A framework for land evaluation" (1976) FAO Soils Bull. n. 32, Roma.
- FAO. "Land evaluation. Towards a revised framework". Land and water discussion, paper 6, (2007), 107p.
- FREGONI, M.; ZAMBINI, M.; BOSELLI, M.; FRASCHINI, P.; SCIENZA, A.; VALENTI, L.; PANONT, A.; BRANCADORO, L.; BOGONI, M.; FAILLA, O.; FILIPPI, N.; LARUCCIA, N.; NARDI, I.; LEGA, P.; ZINONI, P.; LIBÈ, A. "Ricerca pluridisciplinare per la zonazione vitivinicola della Vall Tidone (Piacenza, Italia)". Vignevisini núm.11. (1992), p.53-80.
- GIRBAULT, P.; MORLAT, R. "Etat des travaux en France sur les méthodes de zonage vitivinicole". OIV, Grup d'Experts. (1999).
- GOMEZ -MIGUEL, V.; SOTÉS, V. "Utilización de los estudios detallados y muy detallados de suelos en la microzonificación vitivinicola". III Simposio Internacional zonificación vitivinicola. Puerto de la Cruz, Tenerife. (2000).

- GRUP DE TREBALL 'NOMENCLATURA D'HORIZONS DE SÒLS' "Denominació d'horitzons genètics (i capes)" Secció de Sòls de la ICEA i Delegació Territorial de la SECS. Quaderns agraris 16, desembre 93. pag.: 111-126.
- HERRERO, C.; SELLA, J.; VILLAROYA, A.; ESPINÀS, E.; SIÓ, J.; ROSERA, J.; BOIXADERA, J. "Zonificación vitícola del Penedès: Aplicación a un área modelo" Viticultura/Enología Profesional, núm. 73. (2001), p.35-46.
- INTRIERI, C.; FILIPPETTI, I.; SILVESTRONI, O.; MARCHEGANI, E.; MURRI, A. "Zonazione bioclimatica e primi rilievi fenologici nella viticoltura della Regione Marche". Vignevini núm. 6. (1993), p.62-68.
- JOSA, R. "Estudi cronoseqüencial de sòls sobre les terrasses de l'Anoia (entre el Bedorc i Gelida)" Tesi de Grau. Universitat de Barcelona. (1985), 122 p.
- JOURJON, F.; MORLAT, R.; SEGUIN, G. "Caractérisation des terroirs viticoles de la moyenne Vallée de la Loire. Parcelles expérimentales, climat, sols et alimentation en eau de la vigne". Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 25(4). (1991), p.179-202.
- LAVILLE, P. "Le terroir, un concept indispensable à l'élaboration et à la protection des appellations d'origine comme à la gestion des vignobles le cas de la France" OIV, (63) 709-710. (1990), p.217-241.
- LEBON, E.; DUMAS, V.; METTAUER, H.; MORLAT, R. "Caractérisation intégrée du vignoble alsacien: aspects méthodologiques et application à l'étude des composantes naturelles des principaux terroirs" J.Int.Sc.V.V, 27(4). (1993), p.235-253.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. "Suelo-paisaje-erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en el Alt Penedès - Anoia (Cataluña). Un enfoque de estudio mediante tecnologías de la información espacial: bases de datos, Sistemas de Información Geográfica y teledetección." Tesis Doctoral. Universitat de Lleida, Lleida (1998).
- MÍNGUEZ, S. "Implantació racional de la vinya a Catalunya-II. Elecció del portaempelt" INCAVI Quaderns de divulgació tècnica, núm. 4. (1981).
- MÍNGUEZ, S.; PAREJO, J. "Implantació racional de la vinya a Catalunya-I. Elecció de la varietat" INCAVI Quaderns de divulgació tècnica, núm. 3. (1982).
- MORLAT, R. "Le milieu viticole sa caractérisation intégrée et son influence sur le vin (Application au vignoble rouge du Val de Loire)". (1984) OIV, 57-643-644: 707-728.
- MORLAT, R. "Terroirs d'Anjou: objectifs et premier résultat d'un étude spatialisée à l'échelle régionale" OIV, 70-797-798. (1997), p.567-591.
- MORLAT, R.; ASSELIN, C.; PAGES, J.; LEON, H.; ROBICHET, J.; REMOUE, M.; SALETTE, J.; CAILLE, M. "Le milieu viticole sa caractérisation intégrée et son influence sur le vin (Application au vignoble rouge du Val de Loire)" OIV, 57-643-644. (1984), p.707-728.
- MORLAT, R. "Terroirs viticoles: Étude et valorisation" Ed. Oenoplurimédia Sarl. Chaintré. France (2001). 120p.
- NOGUÉS, J; SALAZAR, M.; BOIXADERA, J. "Mapa de sòls de Catalunya 1:25.000. TM de la Granada, Les Cabanyes, Pacs, Santa Fe i Vilafranca del Penedès. (Alt Penedès)". SARA-DARP. Lleida, (1999), 144p.
- RIOU, C.; MORLAT, R.; ASSELIN, C. "Une approche intégrée des terroirs viticoles Discussions sur les critères de caractérisation accessibles". OIV 767-768. (1995). p.93-106.
- SSS - Soil Survey Staff. "Keys to Soil Taxonomy" SMSS. Tech. Mon. 6. Blacksburg, Virginia. (1994), 422p.

SSS - Soil Survey Staff. "A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys". 2nd edn. US Dep. Agricult. Nat. Res. Cons. Serv., Washington, DC, Agriculture Handbook (1999), 436p.

UBALDE, J.M. "Quantifying the effects of soil and climate on grape and wine quality: Application in a Viticultural Zoning based on very detailed Soil Surveys" Tesi Doctoral. Universitat de Lleida (2010).

UBALDE, J.M.; SORT, X.; POCH, R.M. "Influence of soil forming processes on soil-based viticultural zoning". J. Soil Sci. Plant Nutr. 11(1), (2011), p.100-126.

VAUDOIR, E. "Caractérisation spatiale des terroirs et constitution des raisins en A.O.C. Côtes-du Rhône meridionales (Bassin de Nyons- Valreas)". J.Sc.V.V., 32(4). (1998), p. 169-182.

4.3. Problemas de erosión en los suelos del Penedès

José A. Martínez-Casasnovas¹ y M. Concepción Ramos¹

(1) Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universitat de Lleida. Av. Rovira Roure 191, 25198 Lleida (España).

Resumen

El presente capítulo, de la Guía de campo de la 28 Reunión de Ciencia del Suelo de la SECS, muestra algunos resultados de cuantificación de la erosión por cárcavas y barrancos y en parcelas de viña en un área de la DO Penedès, que ha sido estudiada por los autores desde la década de 1990. En estos estudios se han desarrollado y aplicado, a escala semidetallada y detallada, metodologías basadas en el uso de tecnologías de la información geográfica que han permitido, además de ofrecer información sobre la localización de este tipo de procesos erosivos, la cuantificación de las tasas de erosión y la evaluación e , incluso, la estimación de estos procesos a nivel económico.

4.3.1. Introducción

Dentro del área mediterránea del NE de España, una de las zonas de mayor tradición en el cultivo de la viña es la que incluye la DO Penedès. La zona en la que se centra este análisis se localiza entre las comarcas de l'Alt Penedès y l'Anoia (zona denominada en este trabajo como Alt Penedès – Anoia), donde se producen importantes procesos de erosión. A escala regional, el rasgo fundamental de esta zona es la incisión de una densa y profunda red de cárcavas y barrancos, excavada en los materiales litológicos poco coherentes que afloran en la Depresión Terciaria del Penedès (lutitas miocenas con paleocanales de gravas sin cementar), hecho que se puede observar tanto en campo como a partir de imágenes de satélite (figura 1). Una de las consecuencias más graves de este tipo de procesos erosivos es la disección de las parcelas, que conlleva la dificultad para el tránsito de la maquinaria y la pérdida de superficie agrícola útil (Boixadera, 1983; Porta *et al.*, 1994; Martínez-Casasnovas *et al.*, 2003).

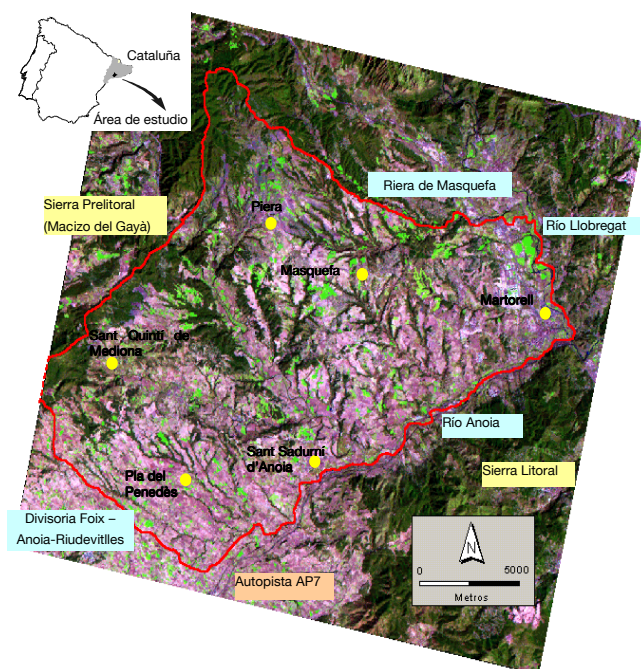


FIGURA 1. Localización del área de viña en las comarcas de l'Alt Penedès y l'Anoia (Imagen Landsat 5 TM), con una superficie aproximada de 30.000 ha. Fuente: Martínez-Casasnovas, 1998.

La mayor tecnificación de la producción vitícola, llevada a cabo a partir de las décadas de 1960 y 1970, sorprendentemente no ha conllevado una preocupación por la conservación del recurso suelo, consecuente con una sostenibilidad de los usos actuales. La tecnificación ha supuesto en la práctica el rediseño de la mayoría de las plantaciones de viña y, de hecho, la desaparición de muchas de las medidas tradicionales de conservación de suelos. Esto ha reactivado los diferentes tipos de procesos erosivos, incrementándose las pérdidas de suelo. A escala de parcela, los procesos de erosión más comunes en esta área son la erosión por salpicadura, la erosión

laminar difusa y la erosión por escorrentía superficial concentrada, si bien se pueden producir procesos de sofusión debidos a flujo subsuperficial. En diversos trabajos previos realizados en esta zona se han estimado pérdidas de suelo debidas a procesos de erosión laminar y por arroyaderos superiores a $12 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (López, 1994; Usón, 1998).

Al igual que ha ocurrido en otras áreas de estudio, donde la investigación de la erosión se ha centrado principalmente en estudiar los procesos de erosión laminar y por surcos (Poesen *et al.*, 1998, 2006), en la zona Alt Penedès – Anoia no se disponía a priori de información de cual era la afectación a escala regional de estos fenómenos erosivos, ni de las tasas de erosión. Lo que sí se conocía es que la erosión en esta región viene condicionada por procesos tectónicos que han tenido lugar a escala regional (Gallart, 1981), estando determinada en la actualidad por la fuerte influencia de la actividad humana, especialmente por la gran extensión que ocupan los cultivos como la viña y por el abandono de las medidas tradicionales de conservación de suelos.

En este contexto, el presente capítulo de la Guía de campo de la 28 Reunión de Ciencia del Suelo de la SECS muestra algunos resultados de cuantificación de la erosión por cárcavas y barrancos, y en parcelas de viña en el Alt Penedès – Anoia (DO Penedès) que ha sido estudiada por los autores desde la década de los 90. En estos estudios se han desarrollado y aplicado, a escala semidetallada y detallada, metodologías basadas en el uso de tecnologías de la información geográfica que han permitido, además de ofrecer información sobre la localización de este tipo de procesos erosivos, la cuantificación de las tasas de erosión y la evaluación, incluso haciendo estimaciones a nivel económico (Martínez Casasnovas *et al.*, 2002; Martínez Casanovas *et al.*, 2005; Martínez-Casasnovas y Ramos, 2006).

4.3.2. Localización y características del área de estudio

La zona estudiada incluye unas 30.000 ha, localizadas en las comarcas de l'Alt Penedès y l'Anoia, en la provincia de Barcelona (figura 1), dentro de la cual se seleccionaron áreas modelo de menor tamaño para llevar cabo estudios de más detalle. Los límites naturales del área de estudio son: Oeste y noroeste: Sierra Prelitoral (Macizo del Gayà); Norte: divisoria de la riera de Masquefa; Este: río Llobregat; Sur y sudeste: divisoria de la cuenca del sistema Anoia – Riudevittles y de la cuenca del río Foix, arroyo de l'Avernó y río Anoia (en la zona del escarpe de la falla Martorell – Gelida). Los depósitos donde se excavan los barrancos están compuestos principalmente por lutitas, con una densidad aparente de $1,80 \pm 0,12 \text{ Mg m}^{-3}$ y textura franca a franco arenosa (Martínez-Casasnovas, 1998; Usón, 1998; Nacci, 2001). El contenido medio de carbonato cálcico es de $36,7 \pm 13,1\%$, la conductividad eléctrica es $CE_{1:5} = 0,19 \pm 0,1 \text{ dS m}^{-1}$ y tienen una SAR (Relación de Adsorción de Sodio)¹ muy bajo ($0,37 \pm 0,15$), lo cual indica que se trata de lutitas no dispersivas (Faulkner *et al.*, 2000).

Desde un punto climático, el área tiene un clima Mediterráneo, con una temperatura media anual de 15° C y una precipitación media anual entorno a los 660 mm, si bien existe una importante variabilidad interanual de las lluvias (Ramos, 2001). El máximo de precipitación se registra durante los meses de otoño. La lluvia es el principal agente erosivo en el área de estudio, donde algunas tormentas de elevada intensidad ($>100 \text{ mm h}^{-1}$), en periodos cortos, son habituales en la zona (Ramos y Porta, 1994; Usón, 1998).. Varios estudios realizados en esta zona (Ramos y Porta, 2000; Usón, 1998) han concluido que el valor promedio anual del factor de erosividad de la lluvia (R), que es del orden de $1200 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ año}^{-1}$, no se distribuye homogéneamente a lo largo del año, sino que tiene un máximo absoluto en los meses de septiembre-octubre y otro máximo relativo en abril-mayo. Sin embargo durante los

¹ $SAR = [Na] / ([Ca + Mg] / 2)^{0.5}$ (Cationes como $\text{mmol}_c \cdot \text{L}^{-1}$).

años de la última década se han registrado tormentas con un carácter erosivo mucho mayor, llegando a registrarse valores de $R > 2000 \text{ MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1}$.

En cuanto a los suelos, los dos principales subgrupos de suelos descritos en el área de estudio son los *Calcixercept típico* y los *Xerorthent típico* (Soil Survey Staff, 1999). También son frecuentes los *Haploxerept fluventic*, que presentan endopediones cálcicos, y los *Calcixercept petrocalcic*. Destaca la frecuencia de suelos con mineralogía carbonática, lo cual indica la intensidad de los procesos de calcificación en los suelos del área de estudio. Muchos de estos suelos presentan evidencias de truncamiento de los horizontes superficiales, signo de la ocurrencia de procesos de erosión hídrica. Estas evidencias indican un punto de inflexión en el proceso evolutivo de estos suelos, ligado a la dinámica denudacional. El régimen de humedad de los suelos es xérico y el régimen de temperatura es térmico.

El uso del suelo predominante en el área Alt Penedès – Anoia es el viñedo: 10.220 ha en 2002 (fuente: Mapa de Usos del Suelo de Cataluña año 2002, Institut Cartogràfic de Catalunya). Este cultivo se dedica a la producción de vinos de alta calidad y cavas bajo las normas de regulación de las DO Penedès y Cava, respectivamente. El siguiente cultivo mayoritario son los cereales de invierno (herbáceos de secano) (1.350 ha), que constituyen la actual alternancia a la viña. Las zonas forestales, bosques mixtos de *Pinus halepensis* y *Quercus ilex*, y matorrales boscosos, suponen 10.174 ha, donde se incluyen las zonas de montaña y las paredes de barranco vegetadas. El resto del área está ocupada por áreas urbanas e industriales, vías de comunicación, usos agrícolas de menor importancia, y suelos con vegetación escasa o nula.

4.3.3. Erosión por cárcavas y barrancos

4.3.3.1. Cartografía de las áreas afectadas a escala regional

A escala regional, la extensión del área afectada por barrancos en el área de estudio fue determinada a partir de fotografías aéreas verticales con solape estereoscópico del año 1993 (escala aproximada 1:30.000, del *Institut Cartogràfic de Catalunya*). El resultado fue georreferenciado en un orto-fotomapa 1:50.000 producido por el mismo instituto.

El análisis del área afectada por la erosión por barrancos se refirió a las unidades de relieve identificadas por Martínez-Casasnovas (1998), que se basó en el sistema de clasificación jerárquica propuesto por Zinck (1988). Estas unidades son: área de montaña (Sierra Prelitoral), área de pie de monte, área de vertientes y barrancos (al norte del río Anoia), área de relieve suavemente ondulado (Pla del Penedès) y área de niveles aluviales recientes.

La figura 2 y la tabla 1 muestran los resultados del análisis de la afección de la erosión por barrancos a escala regional referida a las unidades de paisaje identificadas en el área de

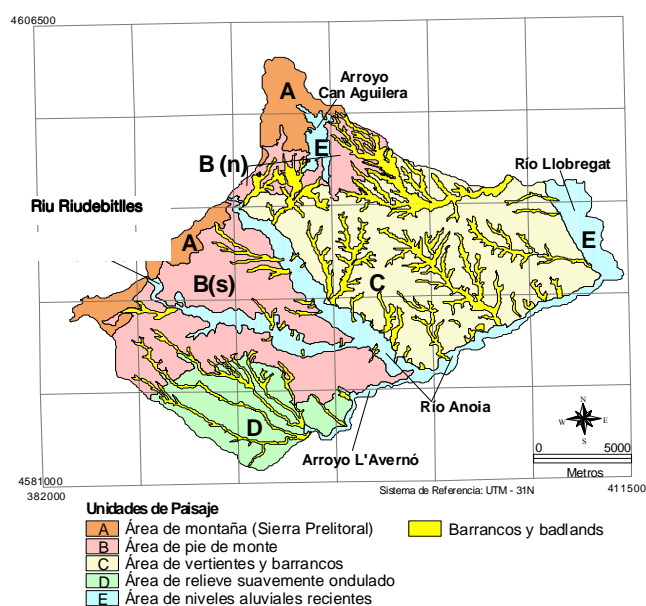


FIGURA 2. Grado de afección de la erosión por barrancos a escala regional en el área del Alt Penedès – Anoia. Los barrancos aparecen delineados sobre las unidades de paisaje del área de estudio obtenidas por Martínez-Casasnovas (1998). (Bn indica zona norte de la unidad de paisaje B, y Bs indica zona sur de la unidad de paisaje B). Fuente: Martínez-Casasnovas, 1998.

estudio por Martínez-Casasnovas (1998). Según estos resultados, la zona norte del Glacis-Piedemonte es la unidad más afectada por la erosión por barrancos, con el 31,9% del área afectada. Este valor puede considerarse como erosión severa o muy severa (Stroosnijder y Eppink, 1993). El volumen erosionado respecto a la superficie de la unidad es de $3 \text{ hm}^3 \text{ km}^{-2}$. Estas cifras son considerablemente inferiores a las de la zona sur de la unidad, con tasas de 7,8% y $0,8 \text{ hm}^3 \text{ km}^{-2}$ respectivamente. Las diferencias estriban en el control que ejercen los materiales más consolidados de la zona sur de la unidad sobre el desarrollo de los barrancos. No obstante, existen algunos barrancos que conectan las plataformas de conglomerados con los fondos de valle.

TABLA 1. Área afectada y volumen (estimado) por la erosión por barrancos en el área Alt Penedès – Anoia

Unidad de paisaje	Área de la unidad km^2	Área afectada por los barrancos km^2 y (% con respecto al total de la unidad)	Volumen erosionado estimado hm^3 y (profundidad máxima de los barrancos m)
A. Montañas de la Sierra Prelitoral	21,52	0	0
B. - Glacis- Piedemonte			
- Zona norte	17,55	5,60 (31,9%)	52,7 (43)
- Zona sur	66,31	5,19 (7,8%)	52,1 (45)
- Total unidad	83,66	10,79 (12,8%)	104,8
C. Glacis altamente disectado	114,54	27,17 (23,2%)	326,6 (60)
D. Glacis poco disectado	33,51	5,70 (17,0%)	28,7 (30)
E. Valles aluviales	39,82	0,94 (2,3%)	6,2 (45)
Total área de estudio	293,26	44,60 (15,2%)	466,4

La unidad de Glacis altamente disectada, que conecta con la zona norte del Glacis-Piedemonte, está también muy afectada por la erosión por barrancos. Los grandes barrancos ocupan el 23,2% de la unidad, con barrancos de hasta 60 m de profundidad. La unidad presenta la segunda tasa más elevada de volumen erosionado $2,8 \text{ hm}^3 \text{ km}^{-2}$.

Las otras unidades de paisaje presentan niveles de afectación menores. Así, la unidad de Glacis poco disectado presenta un porcentaje de afectación del 17,0 % y un menor volumen erosionado. En esta unidad, los barrancos desarrollados son realmente arroyos que han escavado trincheras en sedimentos recientes de fondo de valle. También son característicos de esta unidad los fondos de valle llanos, que constituyen actualmente las vías de expansión de las cárcavas y barrancos en la unidad. Los valles de los ríos (unidad de paisaje Valles aluviales) también presentan incipientes problemas de erosión por barrancos, que disectan las terrazas de los ríos Riudevittles y Anoia.

Aunque estos valores son indicativos de la erosión pasada, también debe considerarse como indicativos del riesgo de erosión actual ya que hay evidencias en campo que muestran dicha actividad en las diferentes áreas estudiadas.

4.3.3.2. Tasas de erosión por barrancos a escala detallada

Un análisis llevado a cabo a una escala más detallada ha permitido identificar las tasas de erosión por barrancos en un área modelo la cuenca de la riera Rierussa. Esta riera tiene una cuenca de 25 km^2 y se localiza entre la zona de Gelida - Sant Llorenç d'Hortons y Masquefa (Barcelona). La cabecera de la cuenca seleccionada tiene un área de $0,688 \text{ km}^2$, con un 14,5% de la superficie afectada por barrancos. La pendiente media de esta área, excepto en las paredes de los barrancos, es de $5 - 9^\circ$. La profundidad de los barrancos varía entre $20 - 32 \text{ m}$, con una pendiente media de las paredes de $41 \pm 14,2^\circ$ (máximo 78°). El estudio se realizó para los periodos 1975-1995 y 1995-2002, en los que existían fotografías aéreas detalladas del *Institut Cartogràfic de Catalunya* (1:7.000 y 1:5.000 respectivamente), y en concreto se centró en la cabecera de la cuenca de la riera Rierussa. Como condicionantes del proceso se han analizado las características de las lluvias, los cambios de vegetación en las paredes de los barrancos y cambios de uso del suelo en la cuenca de recepción del barranco.

4.3.3.2.1. Características de las lluvias

La precipitación media anual del periodo analizado (1975–1995) fue de 529 ± 160 mm (datos tomados del observatorio de Sant Sadurn d’Anoia, Agencia Estatal de Meteorología). El periodo fue normal-húmedo, con 11 años sobre 20 con lluvias entre 615–659 mm. Se registraron 199 lluvias erosivas (9,3%), siendo la máxima registrada de 95 mm. La intensidad media de las lluvias varió entre 12 y 45 mm h^{-1} .

4.3.3.2.2. Cambio en la cubierta vegetal de las paredes de los barrancos

El análisis de los cambios en el uso del suelo y en la cubierta vegetal dentro del área de recepción de la cabecera de los barrancos se ha basado en el uso de fotografías aéreas detalladas y multitemporales: 1975 (1:7.000), 1995 (1:5.000) y 2002 (1:5.000). Estas fotografías fueron rectificadas para producir ortofotos de escala 1:1.000.

A partir de las fotografías aéreas rectificadas, se caracterizó el uso del suelo y la cubierta de vegetación de los tres años. Primero se realizó trabajo de campo para clasificar el uso del suelo y la vegetación del 2002 (año en que se realizó este estudio), lo que permitió establecer una clave para la fotointerpretación de las fotografías rectificadas de 1975 y 1995. Un ejemplo de clave para la fotointerpretación se muestra en la figura 3. Los principales elementos visibles en las fotografías aéreas consideradas para cartografiar la cubierta vegetal se muestran en la tabla 2.

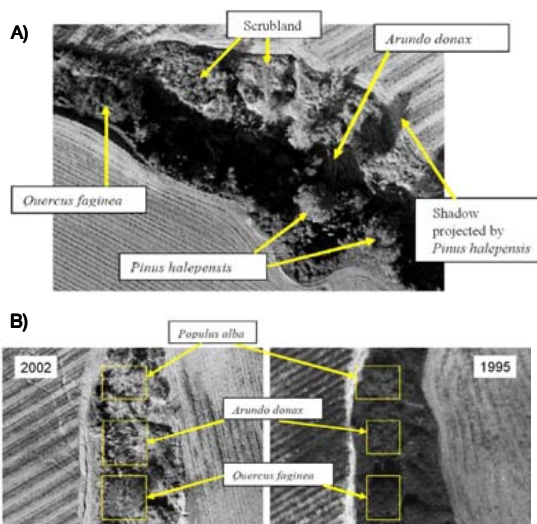


FIGURA 3. A) Clave desarrollada para la fotointerpretación de la vegetación a partir de las fotografías aéreas recientes (año 2002). B) Ejemplo de correspondencia entre la cubierta de vegetación identificada en el campo y apariencia en la fotografía aérea del año 2002 (izquierda) y del año 1995 (derecha). Fuente: Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009.

TABLA 2. Elementos de la fotointerpretación utilizados para cartografiar la cubierta vegetal en las paredes de los barrancos

Elementos de fotointerpretación	Uso
Fecha de la fotografía aérea	Ayuda a diferenciar tipos de cubierta vegetal dado que el estado de desarrollo de la vegetación es conocido en diferentes periodos del año. Por ejemplo, es posible distinguir entre especies caducas y perennes (p.e. entre <i>Populus alba</i> y <i>Pinus halepensis</i>). También es útil para diferenciar entre cubiertas con cultivos herbáceos y los matorrales. En la figura 3A puede distinguirse <i>Quercus faginea</i> , <i>Arundo donax</i> y <i>Populus alba</i> en invierno (2002). En la figura 3B derecha <i>Populus alba</i> aparece sin hojas mientras que en la izquierda (octubre, 1995) se puede distinguir por medio de otros elementos como pueden ser el tono o la textura de la corona
Tono	<i>Pinus halepensis</i> , <i>Populus alba</i> y <i>Arundo donax</i> presentan tonos más brillantes que <i>Quercus</i> y que otras las especies presentes en los matorrales. Esto ha permitido distinguir las especies en áreas afectadas por zonas sombreadas (p.e. figura 3A)
Altura de la vegetación	Este elemento es visible mediante el estereoscópio. Es importante diferenciar entre áreas forestales y áreas con matorral. Ha sido muy útil para distinguir tipos de vegetación en 1975, dado que la fotografía aérea presenta una baja resolución
Sombras	Ha sido útil para diferenciar los árboles del matorral, particularmente en 2002, cuando la fotografía fue tomada en invierno. (p.e. diferencias entre las sombras de <i>Pinus halepensis</i> y <i>Quercus faginea</i>) (figura 3A)
Textura de la corona y formas	Se ha utilizado para distinguir entre especies de árboles. Los pinos presentan una textura y unos tonos muy uniforme, excepto la sección orientada al sol en el momento de la exposición; La corona es irregular, con forma de estrella. <i>Quercus faginea</i> presenta una textura más gruesa, con una forma más redondeada y serrada
Localización	A partir de la fotointerpretación de las fotografías de 2002 y el trabajo de campo, ha sido muy útil para conocer el tipo de vegetación en 1975 y 1995

Las clases consideradas en el mapa de usos de territorio fueron viña tradicional, viña mecanizada, cereal de invierno, frutales, matorral, bosque, zonas de transición entre barrancos y campos agrícolas, improductivo, áreas urbanas, infraestructuras y barrancos. Las clases del mapa de cubierta vegetal dentro del barranco se muestran en la tabla 3. Los mapas de usos del territorio y de cubiertas vegetales de cada año se solaparon de dos en dos (1975 y 1995, 1995 y 2002) para producir los mapas de cambios.

TABLA 3. Descripción de las clases de cubierta vegetal consideradas dentro del barranco

Unidad de cubierta vegetal	Descripción
Bosque	Paredes de los barrancos dominadas por <i>Pinus halepensis</i> (más del 75 % de cubierta vegetal). Se localiza principalmente en el fondo de los barrancos y en las paredes al norte. Los árboles alcanzan alturas de unos 15 m. Otras especies que aparecen son: <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Daphne gnidium</i> , <i>Olea europaea</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ilex</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Rubus ulmifolius</i> y <i>Ulex parviflorus</i>
Matorral	Paredes de barranco con dominio de vegetación arbustiva de altura inferior a 7 m. La vegetación cubre más del 75% de la superficie. Aparece en todas las exposiciones, aunque predomina en las orientadas al este y al oeste. Las especies más importantes son <i>Cistus albidus</i> , <i>Crataegus monogyna</i> , <i>Daphne gnidium</i> , <i>Genista sp.</i> , <i>Olea europaea</i> , <i>Pistacia lentiscus</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Rubus ulmifolius</i> , <i>Thymus vulgaris</i> y <i>Ulex parviflorus</i>
Matorral arbolado	Es similar a la unidad matorral, pero con la presencia de <i>Arundo donax</i> , <i>Populus nigra</i> , <i>Populus alba</i> y <i>Quercus faginea</i> . La vegetación cubre alrededor del 75% de la superficie. En esta unidad, alrededor del 80% de la cubierta corresponde al matorral y solo un 20% a los árboles. Esta clase está principalmente localizada en las cabeceras de los barrancos, en paredes orientadas al noroeste
Vegetación herbácea	Aparece en las paredes de los barrancos que presentan una cobertura entre 50-75%, dependiendo del período del año. Se localiza principalmente en las paredes orientadas al sur o al oeste. Las especies presentes son: <i>Genista sp.</i> , <i>Rosmarinus officinalis</i> , <i>Thymus vulgaris</i> and <i>Ulex parviflorus</i>
Paredes no vegetales	Similar a la unidad de vegetación herbácea, pero con una cobertura menor del 25% y principalmente localizada en las paredes orientadas al sur
No descrita	Áreas sin descripción porque se encuentran en zonas de las fotografías muy sombreadas, o porque presentan una difícil interpretación

La tabla 4 muestra la superficie ocupada por cada una de las clases de cobertura descritas en la tabla 3 en cada uno de los años analizados. El análisis de los resultados reveló que las principales clases de cubierta vegetal en los barrancos son el matorral, la cubierta forestal y la no vegetada, que representaban un 38,5%, un 30,1 y un 23,8%, respectivamente. La cubierta vegetal es dinámica en el tiempo y presenta importantes cambios, en particular las clases forestal y matorral. En el periodo 1975-1995 hubo una importante disminución de la cubierta de matorral (20,8%) y un incremento de la forestal (21,5%). Además, hubo una ligera reducción de la clase no vegetada en las paredes de los barrancos (4%). En el periodo 1995-2002 se observó la misma tendencia, aunque con diferentes ratios; así el matorral disminuyó en un 4,3% mientras el forestal se incrementó en un 5,8% y las paredes no vegetadas un 1,6%.

TABLA 4. Área y porcentaje de las clases de cubierta vegetal en el área de barrancos estudiada durante los periodos 1975-1995 y 1995-2002

Clase de cubierta vegetal	Área y porcentaje con respecto al total del área del barranco					
	1975		1995		2002	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Bosque	1,46	14,7	3,37	36,2	3,84	42,0
Matorral	5,31	53,7	3,07	33,0	2,62	28,7
Matorral arbolado	0,45	4,6	0,57	6,1	0,65	7,1
Vegetación herbácea	0	0	0	0	0,07	0,8
Paredes no vegetadas	2,66	27,0	2,14	23,0	1,96	21,4
No descrita	0	0	0,16	1,7	0	0
Total	9,88	100,0	9,32	100,0	9,14	100,0

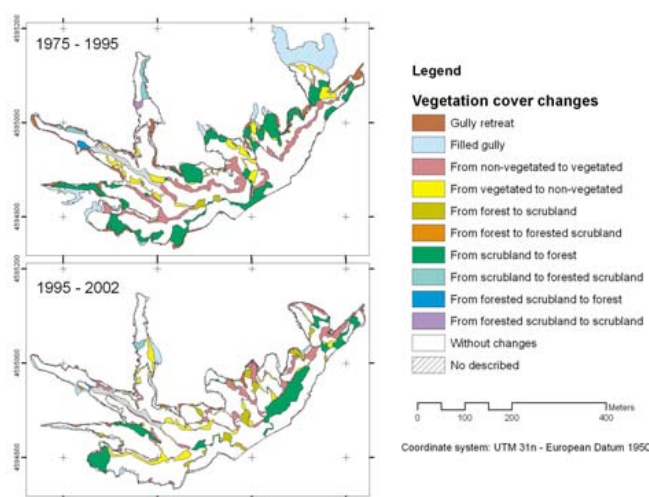


FIGURA 4. Cambio de la cubierta vegetal durante los periodos 1975-1995 y 1995-2002 en la cabecera de la riera Rierussa. Fuente: Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009.

áreas (1,5%) que pasaron de matorral a matorral forestado. De este análisis resulta claro que, durante el primer periodo, hubo un balance positivo de la cubierta vegetal en las áreas de barrancos, con un importante incremento de la superficie forestal (20,0%). El segundo periodo (1995-2002) continuó con la evolución experimentada durante el primero. La principal contribución para el incremento vegetal fue el paso de paredes no vegetadas a paredes con matorral. El área forestal también experimentó un incremento desde el 36,8%, en 1995, al 42,6%, en 2002, principalmente debido al cambio desde matorral y matorral forestado.

TABLA 5. Cambios en la cubierta vegetal en el área de barrancos estudiada durante los periodos 1975-1995 y 1995-2002

Cambios de vegetación	1975-1995		1995-2002	
	ha	ha año ⁻¹	ha	ha año ⁻¹
Erosión en barrancos	0,47	0,02	0,25	0,04
Relleno de barrancos	1,05	0,05	0,42	0,07
De paredes no vegetadas a vegetadas	0,86	0,04	0,58	0,09
De paredes vegetadas a no vegetadas	0,49	0,02	0,44	0,07
De forestal a matorral	0,05	0	0,27	0,04
De forestal a matorral forestado	0	0	0,01	0
De matorral a forestal	1,37	0,07	0,83	0,13
De matorral a matorral forestado	0,13	0,01	0,03	0,01
De matorral forestado a forestado	0,03	0	0,01	0
De matorral forestado a matorral	0,03	0	0,01	0

4.3.3.2.3. Tasas de erosión por barrancos: retroceso y producción de sedimentos

Para el cálculo de la tasa de retroceso de las paredes de los barrancos se llevó a cabo, para cada fecha, la delineación del perímetro de los barrancos. El resultado fue restituído mediante técnicas fotogramétricas. La escala de restitución fue 1:1.000. Los errores de posicionamiento de los límites de los barrancos generados en el proceso de restitución fueron de $\pm 0,015$ m en XY y de $\pm 0,07$ m en Z. Estos errores están dentro de la tolerancia admitida para producir una cartografía 1:1.000 ($\pm 0,20$ m en XY y $\pm 0,30$ m en Z).

Las tasas de producción de sedimentos fueron calculadas a partir de una metodología introducida por Martínez-Casasnovas (1998, 2003), basada en la sustracción de modelos digitales de elevaciones (MDE) de diferentes fechas en formato de malla regular (raster). Estos MDE para los años 1975 y 1995 se construyeron a partir de las curvas de nivel (intervalo 1 m), cotas, líneas de ruptura de pendiente y líneas de suelo generadas a partir de la restitución fotogramétrica de los pares estereoscópicos de ambas fechas. La malla regular de cotas, con

una resolución planimétrica de 1 m y altimétrica de 0,01 m, se generó a partir de una triangulación (TIN) y posterior interpolación a raster utilizando la herramienta 3D Analyst del SIG ArcView 3.2 (ESRI). Posteriormente, se procedió a la sustracción de los MDE (1995–1975), lo que permitió obtener una nueva malla de datos con las diferencias de altitud en cada punto de la malla de 1 x 1 m. A partir de aquí se establecieron las zonas con erosión y sedimentación ocurrida en los barrancos. Siguiendo el criterio de DeRose *et al.* (1998), la fiabilidad de la estimación en el cálculo de las diferencias se estableció en el 95% del intervalo de confianza ($X \pm 2SD$), donde X es la media de las diferencias en las áreas de control establecidas para la calibración de los modelos y SD es la desviación estándar de las diferentes medias de las áreas de control. No todos los sedimentos producidos por la erosión en los barrancos son exportados fuera de la cuenca. Parte se deposita dentro del área de barrancos. Para el cálculo de la tasa de sedimentación se consideró una densidad aparente de $1,40 \pm 0,10 \text{ Mg m}^{-3}$, calculada a partir de 5 muestras de sedimentos adquiridas mediante cilindros en la parte baja de las paredes y en la zona del cauce de los barrancos. Por diferencia entre la tasa de erosión y sedimentación se obtuvo la tasa neta de erosión en los barrancos. Mayor detalle de la metodología aplicada se puede encontrar en Martínez – Casasnovas *et al.*, 2004.

La tabla 6 muestra la extensión de las áreas afectadas por barrancos en la cabecera de la riera Rierussa, como resultado de la tabulación cruzada entre las coberturas con los límites de los barrancos, en el periodo de estudio 1975-1995. La figura 5 muestra el resultado de la superposición de los límites del sistema de barrancos en las fechas consideradas, así como las áreas de retroceso y relleno.

TABLA 6. Matriz de contingencia de las áreas erosionadas en 1975 y 1995 en la cabecera de la riera Rierussa

Año 1995 (ha)	Año 1975 (ha)		Total (año 1995)
	Áreas afectadas por barrancos	Áreas no afectadas	
Áreas afectadas por barrancos	9,58	0,46 ⁽¹⁾	10,04
Áreas no afectadas	1,06 ⁽²⁾	57,78	58,84
Total (año 1975)	10,64	58,24	68,88

⁽¹⁾ Área erosionada en el periodo 1975 - 1995; ⁽²⁾ Área de barrancos rellenada en el periodo 1975 - 1995.

De los resultados mostrados en la figura 5 se deduce que el área afectada por los barrancos fue de 10,64, en 1975, y 10,04 ha, en 1995; lo cual puede parecer erróneo en una primera interpretación. Esta aparente disminución del área afectada es debida al relleno de algunas partes de los barrancos para la creación de nuevas plantaciones de viña (práctica común en el área de estudio). El área erosionada entre 1975 y 1995 fue de 0,46 ha (de las 68,8 ha de la cuenca), es decir el 0,7% de la cuenca. Esto representa una tasa anual de erosión de $0,023 \text{ ha año}^{-1}$ o una tasa de retroceso lineal de $0,08 \text{ m año}^{-1}$. Estas tasas son tasas por defecto, ya que las áreas erosionadas y rellenadas en el periodo no han podido ser evaluadas. No obstante, son similares a las encontradas por otros investigadores (Vandekerckhove *et al.*, 2001). El retroceso no es uniforme a lo largo del perímetro. La erosión en las paredes laterales

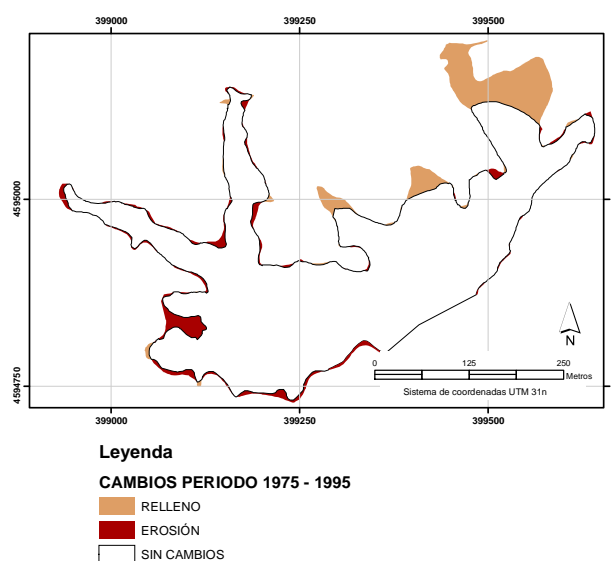


FIGURA 5. Retroceso y relleno de los barrancos de la cabecera de la riera Rierussa en el periodo 1975 – 1995.

parece más importante que el retroceso de la cabecera, aunque esto puede estar enmascarado por algunas medidas de conservación que se aplican para evitar la erosión remontante.

La tabla 7 resume los datos de erosión y sedimentación durante el periodo 1975 – 1995 en los barrancos de la cabecera del sistema de la riera Rierussa. De ella se deduce que el 51,5% del área ocupada por los barrancos sufrió algún tipo de erosión durante dicho periodo, mientras que en el 29,1% del área se produjo deposición de materiales. La figura 6 muestra las diferencias de elevación de los años 1975 y 1995 a partir de las cuales se ha realizado el análisis de las tasas de producción de sedimentos. El total de volumen de materiales desplazado durante el periodo fue de $94.423 \pm 4.498 \text{ m}^3$ ($169.961 \pm 8.097 \text{ Mg}$), con una tasa de producción de sedimentos (SPR) de $846 \pm 40 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Parte de este volumen desplazado fue depositado dentro del área estudiada (41,0% de los materiales): $38.711 \pm 2.545 \text{ m}^3$ ($54.196 \pm 3.563 \text{ Mg}$), lo cual supone una tasa de sedimentación media (SDpR) de $270 \pm 18 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La tasa de erosión neta (NE), calculada como $\text{SPR} - \text{SDpR}$, fue de $576 \pm 58 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, con una tasa de exportación de sedimentos (SDRg) del 68,1%.

TABLA 7. Tasas de erosión y deposición en el área afectada por barrancos en la cabecera de la riera Rierussa en el periodo 1975 – 1995

	Área afectada (m ²)	Diferencia de altitud media (m)	Volumen total (m ³)	Masa total estimada (Mg)	Tasa media anual (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
Erosión	50.888	-1,86	94.423±4.498	169.961±8.097	SPR 846±40
Estable	19.152	-0,007	130±1.693	234±3.047	1,2±15
Deposición	28.788	1,34	38.711±2.545	54.196±3.563	SDpR 270±18

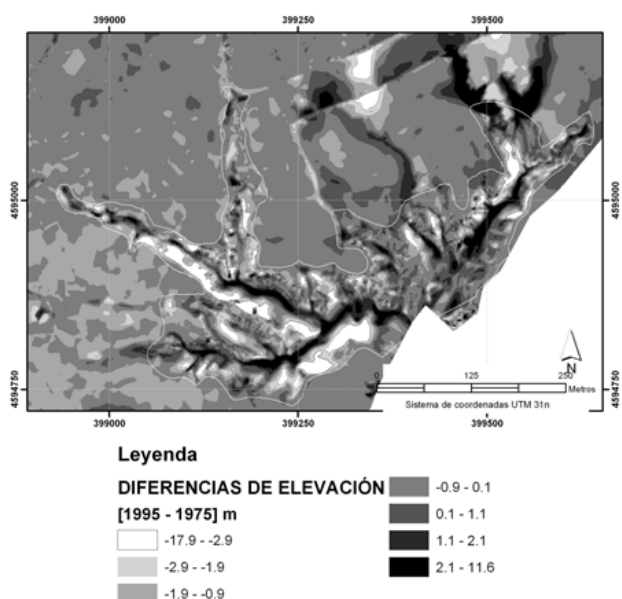


FIGURA 6. Diferencias de elevación calculadas a partir de los modelos digitales de elevación detallados (1m de resolución) obtenidos por restitución fotogramétrica de fotografías aéreas de las fechas 1975 y 1995.

et al., 1998), puede dar la impresión de una cierta estabilización de los cauces.

Con respecto a las tasas de erosión obtenidas en otras zonas de estudio, existe una diferencia de un orden de magnitud menor en relación a la obtenida en el Alt Penedès – Anoia (Bufalo y Nahon, 1992; Martínez-Casasnovas y Poch, 1998). Tal diferencia es atribuible al método de cálculo de la erosión. Mientras otros métodos sólo incluyen los procesos de

Los patrones de erosión y sedimentación no fueron uniformes a lo largo del área de estudio. La erosión se produjo principalmente en las paredes laterales casi verticales, caracterizadas por la ausencia de vegetación. Así, los movimientos en masa, que preferentemente ocurren en las paredes orientadas al N o NE, vendrían a suponer hasta el 46,9% de la producción total de sedimentos dentro del barranco. Los sedimentos que se depositan lo hacen preferentemente en la parte media y terminal de los cauces. Suponen hasta el 31,9% de los sedimentos generados lo cual, si se compara con los resultados de otras investigaciones, 2,2 – 15,8% (DeRose *et*

generación de sedimentos por flujo superficial, el propuesto incluye también la incisión de los cauces, los movimientos en masa, la erosión lateral de los cauces y la erosión remontante.

La tabla 4 muestra los resultados de la comparación entre los periodos 1975-1995 y 1995-2002 en cuanto a la extensión del área ocupada por los barrancos. La superficie ocupada por barrancos parece disminuir con el tiempo: de 9,9 ha en 1975 a 9,14 en 2002. Sin embargo, esta reducción aparente del área erosionada es debida a rellenos efectuados por los mismos agricultores al plantar nuevas viñas. Ésta es una práctica frecuente en la región desde la década de 1980 (Martínez-Casasnovas, 2003). Las principales razones para estos rellenos son la reparación de los rasgos de erosión, la reparación de las infraestructuras en los campos y la pretensión de dar mayores dimensiones y menor pendiente a las nuevas plantaciones, lo cual facilita su mecanización. En el periodo 1975-1995 esta práctica representó 1,09 ha (10,4% del área ocupada por los barrancos en 1975), a una ratio de 0,054 ha año⁻¹. En el segundo periodo la ratio fue mayor, 0,073 ha año⁻¹.

A pesar del relleno de los barrancos y del control de sus bordes por parte de los agricultores, los resultados confirman que la erosión por barrancos es un proceso activo en el área de estudio. La tabla 8 también muestra que el retroceso de los barrancos ha representado una pérdida de 0,50 ha (0,83% de la cabecera estudiada). Esto representa una tasa de 0,025 ha año⁻¹. Estos ritmos son por defecto, ya que las áreas erosionadas y rellenas no se pueden detectar a partir del análisis de las fotografías aéreas. En el segundo periodo, aunque más corto, la tasa de retroceso fue un 60% mayor (0,04 ha año⁻¹), con un área total afectada de 0,25 ha.

Los procesos de erosión por barrancos (actualmente activos) dieron lugar, en las fechas analizadas, a una tasa media anual de generación de sedimentos (en el área modelo de Masquefa) de 846±40 Mg ha⁻¹ año⁻¹, y a una tasa media de erosión neta de 576±58 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Esto supone una tasa de exportación de sedimentos del 68%, que representa 2,78 veces la erosión producida por eventos extremos de precipitación en parcelas de viña; lo cual da una idea de la importancia de los procesos de erosión por barrancos en la generación de sedimentos en el área de estudio.

TABLA 8. Retroceso y relleno de los barrancos en el sistema piloto estudiado: periodos 1975-1995 y 1995-2002

	1975-1995			1995-2002		
	ha	%	ha año ⁻¹	ha	%	ha año ⁻¹
Retroceso de los barrancos	0,50	4,76	0,025	0,25	2,59	0,040
Barranco rellenado	1,09	10,37	0,054	0,46	4,76	0,073
Barranco (sin cambios)	8,92	84,87		8,95	92,65	

4.3.3.2.4. Usos del suelo en las parcelas agrícolas de las cabeceras de los barrancos y estimación de la erosión

Otro de los aspectos analizados en la zona de estudio, a escala detallada, son las pérdidas de suelo en los campos agrícolas de las cabeceras de los barrancos en función de los usos del suelo en diferentes años. Se hizo un análisis de los cambios de uso de las tierras entre el período 1975 y 2002 (figura 7), observándose un claro cambio en el tipo de cultivo de la viña, que pasó de las típicas parcelas tradicionales de viña, con medidas de conservación, a parcelas preparadas para realizar el máximo de labores de manera mecanizada, sin medidas de conservación y con suelo desnudo. Por otra parte, las superficies dedicadas a un uso forestal mostraron un aumento significativo entre 1975 y 2002 (tabla 9).

Para estimar las pérdidas de suelo se utilizó la ecuación de pérdida de suelos universal revisada (RUSLE; Renard *et al.*, 1991). Los valores de los diferentes factores de la ecuación se establecieron en función de los resultados que habían sido obtenidos en la zona en estudios previos.

Para el factor R, se consideró un valor medio de 1120 MJ ha⁻¹h⁻¹año⁻¹ (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2002).

El valor del factor suelo (K), para el año 1975, fue estimado a partir de datos recogidos por Boixadera (1983) en campos del área de estudio. Se obtuvieron valores entre 0,06 y 0,07. Para el año 2002, después de la transformación efectuada, los valores de K se obtuvieron a partir de muestras recogidas en las mismas. En este caso se obtuvieron valores entre 0,075 (campos poco nivelados) y 0,077 (campos muy nivelados).

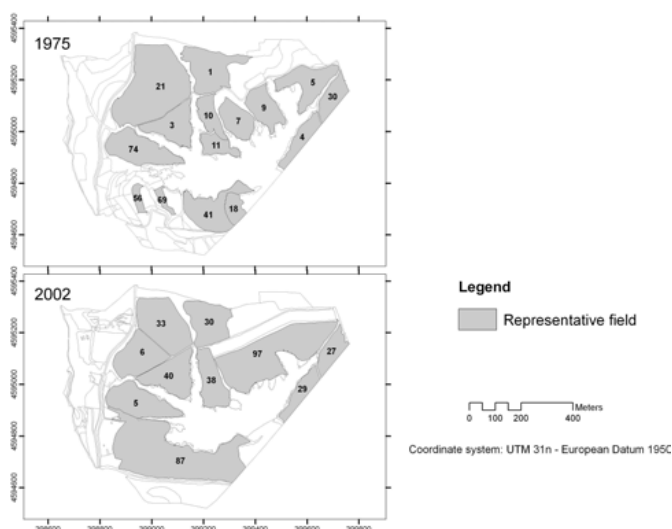


FIGURA 7. Organización de la cabecera de los barrancos en el área de estudio en 1975 y 2002 (ver las características en la tabla 10). Fuente: Martínez-Casasnovas *et al.*, 2009.

El factor topográfico (LS) se determinó a partir de los modelos digitales del terreno, con ayuda de USLE2d (Van Oost *et al.*, 2000).

El factor cultivo (C) se determinó en cada zona considerando sus diferentes usos: viña tradicional, 0,797; viña mecanizada, 0,743; cereales de invierno, 0,580; frutales, 0,736; improductivo, 0,310; forestal, 0,117 y matorral, 0,117.

TABLA 9. Cambios en la cubierta vegetal en la cuenca de la cabecera de la riera Rierussa: años 1975, 1995 y 2002

Clases de cubierta vegetal	1975		1995		2002	
	ha	%	ha	%	ha	%
Viña tradicional	14,7	24,5	9,7	16,1	7,40	12,3
Viña mecanizada	0,0	0,0	11,4	18,9	11,38	18,9
Cereales de invierno	18,8	31,2	0,0	0,0	2,35	3,9
Áreas urbanas	0,1	0,2	1,6	2,7	1,63	2,7
Infraestructuras	1,1	1,8	1,7	2,9	1,75	2,9
Matorral	9,0	15,0	5,9	9,8	5,90	9,8
Inproductivo	1,4	2,3	3,9	6,5	3,55	5,9
Forestal	2,8	4,6	14,0	23,3	14,27	23,7
Frutales	1,0	1,6	1,6	2,6	1,57	2,6
Transición cultivo-barrancos	1,4	2,4	1,1	1,8	1,26	2,1
Barrancos	9,9	16,4	9,3	15,5	9,14	15,2

El factor de prácticas de conservación fue asignado en función de los criterios propuestos por Wischmeier y Smith (1978). La existencia de prácticas de conservación se observaron a partir de las fotografías aéreas: terrazas, cultivos a favor, oblicuos o perpendiculares a las líneas de máxima pendiente (tabla 10).

La pérdida de suelos fue del orden del 26,5% mayor en 2002 que en 1975, lo que indica que los movimientos de suelo efectuados para sistematizar y nivelar las parcelas no sirvieron para reducir la pérdida de suelo, ya que el incremento de la erosión fue principalmente consecuencia del cambio de uso del suelo y de los cambios en las prácticas de conservación.

A escala de parcela, las pérdidas estimadas de suelo, debidas a los cambios de uso, se muestran en la tabla 10. En la parcela con ID 5, aunque la pendiente no cambió significativamente, la pérdida del suelo se incremento de 11,5 a 38,4 Mg ha⁻¹ año⁻¹ debido a la eliminación de terrazas. En las parcelas con ID 6 y 33, donde las pendientes se mantuvieron o

se redujeron, el incremento de la pérdida del suelo se puede atribuir al cambio de uso que pasó de cereal de invierno a viña mecanizada.

TABLA 10. Pérdida de suelo estimada en parcelas representativas de la cuenca de la cabecera de la riera Rierussa

Características de las parcelas (año 2002)					Características de las parcelas (año 1975)				
ID Parcela	Uso del suelo	Pendiente (°)	Prácticas de conservación	Pérdida de suelo (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)	ID Parcela	Uso del suelo	Pendiente (°)	Prácticas de conservación	Pérdida de suelo (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)
5	C	4.7	a nivel ⊥max P	38,4	74	TV	4.9	Terrazas ⊥max P	11,5
6	MV	6.6	a nivel ⊥max P	109,5	21	C	6.5	a nivel ⊥max P	61,0
33	MV	5.6	a nivel /max P	108,0					
27	U	8.4	-	44,6	30	U	6.4	-	46,3
29	MV	4.4	a nivel ⊥max P	45,9	4	TV	3.3	a nivel =max P	38,6
30	U	9.6	a nivel ⊥max P	91,6	1	C	9.5	a nivel ⊥max P	100,7
38	MV	6.1	a nivel =max P	124,6	10	TV	6.3	a nivel ⊥max P	55,4
					11	TV	7.0	a nivel ⊥max P	67,2
40	MV	6.1	a nivel ⊥max P	87,0	3	C	6.0	a nivel /max P	67,9
					5	C	7.5	a nivel /max P	85,1
97	MV	6.6	a nivel ⊥max P	81,4	7	TV	7.3	a nivel /max P	116,3
					9	TV	6.6	a nivel ⊥max P	117,2
					41	C	5.2	a nivel /max P	48,8
87	U	6.9	-	75,9	18	O	5.1	a nivel =max P	91,1
					56	U	6.5	-	25,4
					69	TV	6.2	a nivel ⊥max P	24,9

Leyenda: C (cereales de invierno), MV (Viña mecanizada), TV (Viña tradicional), O (Frutales), U (Improductivo); máx. P (máxima pendiente (grados)), ⊥ (perpendicular), / (oblicuo), = (paralela)

El cambio de viña tradicional a viña mecanizada también produjo un incremento de pérdidas de suelo debido a la eliminación de prácticas de conservación. Este fue el caso de la parcela con ID 38 en 2002 (que provenía de la transformación de las parcelas 10 y 11, en 1975). En este caso, la pérdida de suelos se incrementó desde 55,4 - 67,2 a 124,6 Mg ha⁻¹ año⁻¹, aunque la pendiente se redujo de media desde 6,3-7,0 a 6,1%. En las parcelas que sufrieron mayor grado de nivelación, ID 7 y 9, la reducción de las pérdidas de suelo se debió a que la pendiente media disminuyó después del nivelado desde 6,6 / 7,7 a 6,6% y a la aplicación de mejoras en la protección de los suelos.

4.3.4. Erosión en parcelas de viña

4.3.4.1. Pérdidas de suelo y nutrientes

Del análisis de los estudios presentados en el apartado anterior, que incluye las parcelas circundantes a los barrancos, se puede tener una primera idea de los problemas de erosión que presentan las parcelas de viña. Estos problemas se ven incrementados en las nuevas parcelas que han sido niveladas y preparadas para que todas las labores se realicen de manera mecanizada, habiéndose eliminado las medidas de conservación de suelos. A fin de confirmar las estimaciones, se llevaron a cabo evaluaciones en campo que permitieron conocer, no sólo las pérdidas de suelo que se originan, sino también las pérdidas de nutrientes y el coste económico que todo ello supone.

El estudio se llevó a cabo en una parcela piloto de 2,12 ha (figura 8), situada en la misma cuenca de estudio y en las inmediaciones del barranco. Dicha parcela es representativa de estos nuevos viñedos. La parcela fue nivelada, antes de la plantación, con cortes del perfil de hasta 3m de altura en la parte alta de la pendiente y relleno en la parte baja, en la conexión con el barranco. La pendiente media resultante de la parcela era de 8,9%. El marco de plantación era de 1,3 x 3,1 m, con una disposición de las líneas principales perpendicular a la

línea de máxima pendiente. La parcela incluía tres variedades de uva: Macabeo, Chardonnay y Parellada.

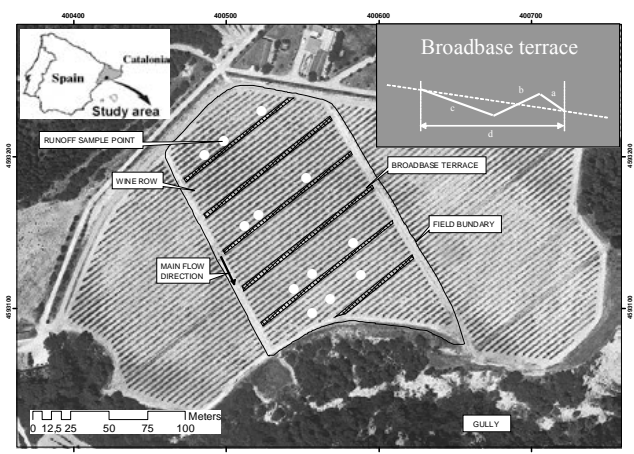


FIGURA 8. Localización del área de estudio para la estimación del coste de la erosión. Fuente: Martínez-Casasnovas y Ramos, 2006.

Como medidas de conservación la parcela disponía de unas terrazas desagüe, denominadas localmente *rasas*, que permiten interceptar la escorrentía superficial y conducirla fuera de la parcela mediante canales de desagüe. Parte de los sedimentos depositados en estas *rasas* son posteriormente redistribuidos con la ayuda de la maquinaria de la misma explotación, rellenando los pequeños regueros y cárcavas que se van formando a causa de la lluvia. Los suelos se clasifican como *Xerorthent típico* (Soil Survey Staff, 1999).

Debido a los trabajos de nivelación, se habían creado diferencias en la profundidad del suelo y en otras características de los suelos, como la materia orgánica, la conductividad hidráulica, la susceptibilidad al sellado, la capacidad de retención de agua y la infiltración base, lo que había generado diferencias dentro de la misma parcela, en el contenido de humedad y en la generación de escorrentía después de las lluvias. Por ello, y para poder tener una mejor estimación de lo que ocurría en diferentes partes de la parcela, se instalaron, distribuidos por la misma, 12 colectores “tipo *Gerlach*”, de 50 cm de ancho.

La escorrentía total se modelizó utilizando un modelo SVAT (soil-vegetation-atmosphere-transfer model), que incluye la modelización de la interceptación, infiltración, drenaje, evaporación del suelo, evaporación del cultivo y escorrentía. Como parámetros de entrada al modelo, además de las características texturales, se tuvieron en cuenta propiedades hidrológicas evaluadas en campo tales como: conductividad hidráulica, velocidad de infiltración base, capacidad de retención de agua y susceptibilidad al sellado. La escorrentía generada en cada evento erosivo se relacionó con los volúmenes y muestras registrados en los colectores tras los eventos más importantes durante el periodo de estudio. Se observó un buen ajuste entre la escorrentía registrada y modelada. Para cada muestra recogida en los eventos que generaron escorrentía se analizó la concentración de nutrientes (N y P totales) en los sedimentos atrapados por los colectores Gerlach. A partir de esta información se calculó la pérdida de suelo y nutrientes de toda la parcela.

Las evaluaciones se llevaron a cabo para distintos años, con diferentes características. Como ejemplo, en la tabla 11 se muestran los resultados para eventos de lluvia registrados en el año 2003; año con una lluvia próxima a los 640 mm y con una distribución típica en el área mediterránea, concentrada principalmente en primavera y otoño. La mayoría de la lluvia registrada en invierno y en primavera fue de baja intensidad, por lo que la escorrentía durante estas estaciones fue escasa. Sin embargo, en otoño, la escorrentía fue relativamente alta; el total de suelo perdido por escorrentía se estimó en 19,5 Mg ha⁻¹. El total de N y P perdidos, procedente de la fertilización orgánica y mineral, fue de 14,9 kg ha⁻¹ y 11,5 kg ha⁻¹, respectivamente, lo que representa un 6 y un 26,1% de las aplicaciones anuales. Aunque el porcentaje de P perdido puede parecer demasiado alto, hay que tener en cuenta que el P es principalmente adsorbido en los horizontes superficiales, que son los más directamente afectados por la escorrentía; además, el contenido de P en estas capas era relativamente elevado puesto que se habían hecho aplicaciones de materia orgánica en superficie.

TABLA 11. Lluvia, escorrentía, sedimentos y nutrientes (N y P) movilizados por escorrentía durante el año 2003

Periodo	Lluvia mm	Escorrentía L m ²	Pérdida de suelo Mg ha ⁻¹	Pérdida de N kg ha ⁻¹	Pérdida de P kg ha ⁻¹
1/1-20/1	11,2	1	0,06	0,04	0,05
20/1-5/3	124,6	13	0,39	0,28	0,17
5/3-4/3	10,2	0,5	0,64	0,06	0,04
3/4-26/05	126	21	3,46	4,84	2,92
26/5-16/9	24,8	9,4	7,77	3,89	4,93
16/9-3/11	222	34,6	5,42	4,87	2,59
Total	647,4	98,5	19,98	14,9	11,5

Esta pérdida de nutrientes se ha comparado con la pérdida ocasionada por el evento de lluvia extrema registrado el 10 de junio de 2000 (215 mm, de los cuales 205 mm cayeron en 2 horas y 15 minutos, con una intensidad máxima en 30 minutos de 170 mm) (Ramos y Martínez-Casasnovas, 2004). La cantidad de N perdido en el año 2003 fue mucho menor (14,9 kg ha⁻¹, en 2003, frente a los 108,5 kg ha⁻¹ en el evento extremo de 2000). Lo mismo se observa con el P perdido (11,5 kg ha⁻¹, en 2003, frente los 108,6 kg ha⁻¹ en el evento extremo de 2000). Sin embargo, la proporción de esos nutrientes con respecto a la pérdida neta de suelo fue mayor en 2003. Estas diferencias se deben a las características de la lluvia extrema y a la relativa importancia de los diferentes procesos de erosión que se ocasionaron en el campo. El proceso dominante en el evento extremo de 2000 fue la escorrentía concentrada, que supuso el 58% del total de suelo perdido (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2002). En este caso, la mayoría del sedimento movilizado tuvo lugar por medio de cárcavas incipientes (0,4-0,5 m de profundidad), donde la concentración de N y P es mucho menor que en la parte más superficial del suelo que, por el contrario, resulta más afectada por los fenómenos de lluvia más habituales.

4.3.4.2. Valoración económica de los costes de la erosión en parcelas de viña

Dejando aparte el coste ambiental que suponen los procesos de erosión, siempre difíciles de cuantificar, y de sus implicaciones en la reducción o eliminación de los horizontes superficiales, en la pérdida de la capacidad de retención hídrica del suelo y en la pérdida de superficie cultivable, hay otros aspectos, tales como la pérdida de nutrientes o el propio trabajo de reparación de las parcelas que si puede estimarse. En este sentido se llevó a cabo una valoración económica de los costes de la erosión en base a la pérdida de nutrientes en parcelas de viña, al mantenimiento de las *rasas* y a la restauración de los surcos y cárcavas incipientes, con la redistribución de los sedimentos del suelo movilizado por la erosión o el aporte de suelo transportado de otras zonas. Se estimó el porcentaje que suponían dichos costes en relación al valor de la uva producida.

Para estimar los costes debidos a la pérdida de nutrientes, se tuvo en cuenta la fertilización aplicada anualmente en la viña, consistente en 500 kg ha⁻¹ de fertilizante de composición 4N-6P-2MgO-1Fe-40S, cuyo coste era de 0,21 kg⁻¹. Además, se consideró que cada 4 años se aplicaba una dosis de 40 Mg ha⁻¹ de compost de bovino, incorporado en los primeros centímetros del suelo. El precio pagado por el agricultor fue de 0,02 kg⁻¹.

Teniendo en cuenta los resultados del apartado anterior, se estimaron unos costes de 79,5 € ha⁻¹ debido a las pérdidas de N y de, aproximadamente, 40 € ha⁻¹, debido a las pérdidas de P. Teniendo en cuenta el precio de la uva en el año de estudio, dichas pérdidas suponían, respectivamente, el 2,4 y 1,2 % de los ingresos (tabla 12).

Por otra parte, como se ha comentado previamente, los agricultores redistribuyen parte de los sedimentos movilizados por las lluvias. Estos sedimentos proceden de los regueros y las cárcavas incipientes y se acumulan en las *rasas* y en las cunetas que rodean las parcelas, que actúan como trampas antes que los sedimentos alcancen el sistema de drenaje general. La redistribución de estos sedimentos incluye costes en términos de mano de obra y maquinaria

que, para este estudio, se evaluaron a partir de una encuesta efectuada al agricultor. Estas operaciones de mantenimiento suponen, por término medio, 7,5 horas ha⁻¹ año⁻¹. Según la información suministrada por los agricultores de la zona, el coste de mantenimiento de las *rasas* de drenaje, de la redistribución de los sedimentos y del relleno de los regueros y cárcavas incipientes suponía un coste medio de 180 € ha⁻¹ año⁻¹, lo que significaba un 5,4% de los ingresos por la venta de la uva (según datos referentes al año 2003).

TABLA 12. Costes de mantenimiento y por pérdida de nutrientes (referidos al año 2003) en una parcela de viña

Concepto	Costes			
			% de los ingresos	(€ha ⁻¹)
Mantenimiento	7,5 h ha ⁻¹ año ⁻¹	180 € ha ⁻¹ año ⁻¹	5%	165
Pérdida nutrientes	N	14,9 kg ha ⁻¹ año ⁻¹	2,4%	79,5
	P	11,5 kg ha ⁻¹ año ⁻¹	1,2%	39,8

Este coste no debería ser eludido por los agricultores. En el caso de las *rasas*, Martínez-Casasnovas *et al.* (2002) mostraron que, aunque su principal función es interceptar la escorrentía superficial y transportarla fuera de los campos, también actúan como trampas para los sedimentos. Por tanto, si esas terrazas desaparecieran los sedimentos podrían ser transportados fuera de las parcelas, lo que supondría un incremento de la pérdida de suelo de un 31,5% sobre las tasas descritas anteriormente. Esto sería debido a que la falta de sedimentos impediría emprender la restauración de los regueros y cárcavas incipientes, que pasarían a crecer a mayor velocidad y a producir cambios significativos en la topografía local a medio y largo plazo.

4.3.5. Conclusiones

Este capítulo ha puesto de manifiesto la importancia de los procesos de erosión en una extensa zona vitícola de la DO Penedès, destacando la magnitud de los procesos de erosión por cárcavas y barrancos, habitualmente menos estudiados que los procesos de erosión laminar o por surcos. La investigación se ha basado en evaluaciones de campo y en el uso de tecnologías de la información geográfica (sistemas de información geográfica y teledetección), contribuyendo al desarrollando de métodos para la cuantificación de la erosión como el análisis multitemporal de modelos digitales de elevación. Estos métodos, en comparación con otras técnicas o modelos existentes de medida o estimación de la erosión en cárcavas y barrancos, integran la erosión causada por diversos tipos de procesos: flujo superficial, movimientos en masa, erosión de paredes laterales por los cauces, retroceso de las cabeceras de las cárcavas o barrancos o incisión de los cauces.

En el área de estudio, la cartografía de la erosión por barrancos a escala regional, ha puesto de manifiesto que el 15,2% de la superficie ha sido afectada por la erosión por barrancos. Existen unidades de paisaje donde la disección alcanza el 31,9% del área (zona norte del Glacis-Piedemonte) o unidades donde la disección es muy baja (2,3% en la zona de relieves aluviales recientes). Las diferencias estriban en el control que ejercen los materiales subyacentes y en el potencial para la erosión en cada zona (diferencia de elevación con respecto al nivel de base). Los procesos de erosión por barrancos están actualmente activos, con tasas medias anuales de generación de sedimentos (en el área modelo de Masquefa) de 846±40 Mg ha⁻¹ año⁻¹, y con tasas de erosión neta de 576±58 Mg ha⁻¹ año⁻¹, lo cual supone una tasa de exportación de sedimentos del 68%. Esta tasa neta promedio representa 2,78 veces la erosión producida por eventos extremos de precipitación en parcelas de viña, lo cual indica la importancia de los procesos de erosión por barrancos en la generación de sedimentos en el área de estudio.

El análisis multitemporal de la cubierta vegetal de las paredes de los barrancos muestra que su variación está influenciada por los cambios en los usos del suelo de la cabecera de los

mismos. Estos cambios producen un incremento de la escorrentía superficial y, por tanto, una pérdida de suelo agrícola. Esta pérdida mejora las condiciones de crecimiento de la cubierta vegetal en las paredes de los barrancos, pero el incremento de la escorrentía superficial favorece los movimientos en masa y, por tanto, el retroceso de los barrancos en las áreas de las cabeceras previamente no erosionadas.

Dentro de los barrancos, los movimientos en masa tienen lugar, principalmente, por escorrentía superficial y por coladas de barro que provocan las tormentas de gran intensidad. Esto supone la eliminación de la vegetación que crece en las secciones medias y bajas de los barrancos. La erosión medida en los barrancos durante el periodo de estudio indica que la cubierta vegetal no impide los movimientos en masa ni el retroceso de los barrancos, aunque protege las paredes de las gotas de lluvia y de la erosión laminar y por surcos.

Además se ha puesto de manifiesto la importancia de los efectos de la erosión en las pérdidas de suelo y en el balance económico del cultivo de la viña en la DO Penedès. Las pérdidas de suelo son muy superiores a las pérdidas anuales tolerables para un mantenimiento sostenible del sistema. Por otra parte se ha de tener en cuenta el coste de reemplazamiento de los nutrientes y la reposición de las estructuras dañadas. También hay que tener en cuenta que estos datos son aún por defecto, ya que no se consideran otros efectos como podrían ser los daños a estructuras que se encuentran fuera de las parcelas y las pérdidas de productividad a largo plazo.

La consideración de los casos “sin” prácticas de conservación (no existencia de *rasas* y el no relleno de los regueros y las cárcavas incipientes) se ha demostrado económicamente más favorable para el agricultor en el corto plazo. Sin embargo, en el largo plazo, los daños ocasionados por la erosión y la incisión de los barrancos podrían llegar a destruir las parcelas y sus infraestructuras, haciendo disminuir, año a año, su productividad y, por tanto, la rentabilidad de las explotaciones.

Aunque los resultados económicos sólo muestran una visión parcial de los costes de la erosión en zonas vitícolas de la DO Penedès, pueden ser útiles para mostrar la dimensión del problema a escala de parcela. De esta forma, el hecho de transformar los efectos de la erosión a términos económicos puede facilitar la comprensión del problema por parte de los agricultores y los planificadores, al dejarles ver la necesidad de promover y/o implementar medidas de conservación.

Los resultados aquí mostrados, procedentes de estudios realizados en la décadas 1990 y 2000, son de plena vigencia o incluso siguen en aumento. Las nuevas plantaciones de viñedo han seguido realizándose con el mismo tipo de criterios, sin la introducción de medidas de conservación. Además la agresividad del clima parece ir en aumento, con aún mayor irregularidad en su distribución y un aumento de eventos erosivos extremos, de elevada magnitud, lo que hace, si cabe, más necesaria la implementación de medidas de conservación de suelos y agua.

4.3.6. Referencias bibliográficas

- BOIXADERA, J. *Proyecto de un área modelo de conservación de suelos en Piera-Masquefa*. Proyecto Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Lleida, Lleida. (1983).
- BUFALO, M.; NAHON, D. Erosional processes of Mediterranean badlands: a new erosivity index for predicting sediment yield from gully erosion. *Geoderma*, 52 (1992) p 133-147.
- DEROSE, R.C.; GÓMEZ, B.; MARDEN, M.; TRUSTRUM, N.A., 1998. *Gully erosion in Mangatu forest, New Zealand, estimated from digital elevation models*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23, p.1045–1053.

- FAULKNER, H.; SPIVEY, D.; ALEXANDER, R. The role of some site geochemical processes in the development and stabilisation of three badland sites in Almería, Southern Spain. *Geomorphology*, 35 (2000), p 87-99.
- GALLART, F. Neógeno superior y Cuaternario del Penedès (Catalunya, España). *Acta Geológica Hispánica*, 16 (1981), p 151-157.
- LÓPEZ, C. *Establecimiento de un plan de conservación de suelos en un área modelo de 490 ha en el Alt Penedès*. PFC Universidad de Lleida. (1994).
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. *Suelo-paisaje-erosión. Erosión por cárcavas y barrancos en el Alt Penedès-Anoia (Cataluña). Un enfoque de estudio mediante tecnologías de la información espacial: Bases de datos, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección*. Tesis doctoral, Universidad de Lleida, Lleida. (1998).
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; POCH, R.M. Estado de conservación de los suelos de la cuenca del embalse Joaquín Costa. *Limnética*, 14 (1998), p 83-91.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. A spatial information technology approach for the mapping and quantification of gully erosion. *Catena*, 50 (2-4) (2003), p 293-308.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C.; RIBES-DASI, M. Soil erosion caused by extreme rainfall events: Mapping and quantification in agricultural plots from very detailed digital elevation models. *Geoderma*, 105 (2002), p 125-140.
- Martínez-Casasnovas J.A.; Antón-Fernández C.; Ramos, M.C. Sediment production in large gullies of the Mediterranean area (NE Spain) from high-resolution digital elevation models and geographical information systems analysis. *Earth Surface Processes and Landforms*, 28 (2003), p 443-456
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS J.A.; RAMOS, M.C.; POESEN, J. Assessment of sidewall erosion in large gullies using multi-temporal DEMs and logistic regression analysis. *Geomorphology* 58 (2004), p 305-321.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C.; RIBES-DASI, M. On-site effects of concentrated flow on erosion in vineyard fields: some economical implications. *Catena*, 60 (2005) p 129-146.
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C. The costs of soil erosion in Vineyard Fields in the Penedès - Anoia Region (NE Spain). *Catena*, 68 (2006), p 194-199
- MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A.; RAMOS, M.C., GARCÍA-HERNÁNDEZ, D. Effects of land-use changes in vegetation cover and sidewall erosion in a gully head of the Penedès region (northeast Spain). *Earth Surface Processes and Landforms*, 34 (2009), p 1927-1937.
- NACCI, S. *Alteraciones en el régimen hídrico del suelo asociadas a la sistematización y cambios en el manejo de tierras con viña de secano en el Anoia - Penedès*. Tesis doctoral, Universidad de Lleida, Lleida. (2001).
- POESEN, J.; VANDAELE, K.; VAN WESEMAEL, B. Gully erosion: Importance and model implications. En: *Modelling soil erosion by water* (Boardman, J., Favis-Mortlock, D., Eds.). NATO ASI Series, Vol. I 55 (1998). Springer-Verlag: Berlin Heidelberg, p. 285-311.
- POESEN, J.; VANWALLEGHEM, T.; DE VENDE, J.; KNAPEN, A.; VERSTRAETEN, G.; MARTÍNEZ-CASASNOVAS, J.A. Gully erosion. Chapter 2.5. En: *Soil Erosion in Europe* (Boardman, J., Poesen, J., Eds.). John Wiley & Sons Inc., Chichester, England, (2006), p. 515-536.
- PORTA, J.; RAMOS, M.C.; BOIXADERA, J. Mechanical measures for runoff management and erosion control in the vineyards of North East Spain. En: *Conserving soil resources:*

- European perspective* (Rickson, R.J., Ed.), CAB International, Wallingford, (1994), p. 369-378.
- RAMOS, M.C.; PORTA, J. Rainfall intensity and erosive potential in NE Spain Mediterranean area. First results on sustainability of vineyards. *Il Nuovo Cimento*, 17(1994), p 291-299.
- RAMOS, M.C. Rainfall distribution patterns and their changes over time in a Mediterranean area. *Theoretical and Applied Climatology*, 69 (2001), p163-170.
- RAMOS M.C.; PORTA, J. Características erosivas de las lluvias en el área mediterránea: Intensidad y energía cinética. *Información Tecnológica*, 11 (2000), p 9-14
- RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; PORTER, J. P. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of soil and water conservation* 46 (1991), p 30-33.
- SOIL SURVEY STAFF, *Keys to Soil Taxonomy, 8th edition*. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Washington, D.C. (1999).
- STROOSNIJDER, L.; EPPINK, L.A.A.J. *Principles of soil and water conservation*. Lecture notes of course K200-500/510. WAU. Wageningen, The Netherlands. (1993).
- USÓN, A. *Medidas de control de la erosión en suelos de viña de las comarcas Anoia – Alt Penedès (Barcelona): Efectividad y viabilidad*. Tesis doctoral. Universidad de Lleida, Lleida. (1998).
- VAN OOST, K.; GOVERS, G.; DESMET, P.J.J. Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology* 15 (2000), p 577-589.
- VANDEKERCKHOVE, L.; POESEN, J.; OOSTWOUW WIJDENES, D.; GYSSELS, G. Short-term bank gully retreat rates in Mediterranean environments. *Catena*, 44 (2001), p 133-161.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA Agricultural Handbook No. 537, Washington, D.C. (1978).
- ZINCK, J.A. *Physiography and Soils. Soil Survey Courses*. Subject matter K6. ITC Lecture Notes SOL-41. (1988).

4.4. Aplicación de la cartografía de suelos muy detallada en la gestión de los viñedos

Josep Miquel Ubalde¹, Xavier Sort¹ y Rosa Maria Poch²

(1) Bodegas Miguel Torres, C/Miquel Torres i Carbó 6, 08720 Vilafranca del Penedès (Barcelona).

(2) Universitat de Lleida, C/Rovira Roure 191, 25198 Lleida.

Resumen

Hace aproximadamente diez años Bodegas Miguel Torres apostó por la cartografía de suelos a escala 1:5.000 como herramienta básica para optimizar la calidad de la uva y el vino. Los mapas de suelos han contribuido a la mejora de la gestión de los viñedos, ya que se tiene un mejor conocimiento de la variabilidad del suelo y de la aptitud del medio para la vid. Se dispone también de una información de base para el manejo a nivel de subparcela y para la aplicación de nuevas tecnologías de la viticultura de precisión. El mayor control del manejo vitícola que se consigue también puede contribuir a la mitigación del calentamiento global, con la aplicación de prácticas orientadas al secuestro de carbono, la mejora de la eficiencia del uso del agua y la integración de criterios de sostenibilidad ambiental y paisajística. Al final del capítulo se describen de forma general los procesos formadores y la clasificación de los suelos predominantes en la zona vitícola del Penedès, y se presenta la descripción de un perfil típico de las plataformas geomorfológicas residuales (Calcisol).

4.4.1. Introducción

Los estudios de zonificación vitícola, entendida como la caracterización espacial de zonas que pueden producir uva y vino de composición similar (Vaudour, 2003), han tenido un considerable aumento en los últimos 10 años, debido en gran parte al crecimiento de la producción de vino a nivel mundial. Este aumento de producción ha creado un mercado altamente competitivo, y las zonas productoras de vino han utilizado la diferenciación del producto según su origen como una estrategia para expandir su mercado. Por otro lado, la necesidad de optimización de la calidad del producto y el desarrollo de nuevas tecnologías de viticultura de precisión han dado un empujón a los estudios de zonificación vitícola orientados hacia la delimitación de unidades homogéneas que permitan un manejo diferenciado, una selección de los mejores terrenos para el cultivo de la vid, una variedad concreta o un portainjerto determinado (Vaudour y Shaw, 2005).

Existen diferentes aproximaciones a los estudios de suelos orientados a la zonificación vitícola, pero los métodos que proveen más información son las técnicas de cartografía de suelos, ya que permiten determinar la variabilidad espacial de propiedades edáficas, así como clasificar suelos según su potencial vitícola (Van Leeuwen and Chéry, 2001). Además, a partir de un mapa de suelos se pueden crear mapas de manejo vitícola. Por estos motivos, los mapas de suelos se suelen utilizar como cartografía de base en los estudios de zonificación.

Hace aproximadamente diez años, Bodegas Miguel Torres, una compañía comprometida con ofrecer productos de alta calidad, apostó por la cartografía de suelos como herramienta básica para optimizar la calidad de la uva y el vino, a través de la implementación de prácticas vitícolas que considerasen la variabilidad de los suelos dentro de los viñedos. En el método utilizado se delimitaban unidades cartográficas siguiendo los criterios del Soil Survey Manual (SSS, 1993). Este método está basado en el sistema de clasificación Soil Taxonomy (SSS, 2006), que es el sistema utilizado por las instituciones oficiales del área de estudio (Porta *et al.*, 2009).

4.4.2. Cartografía de suelos a escala muy detallada

La cartografía de suelos se realizó aplicando los criterios del Soil Survey Manual (SSS, 1993) a escala 1:5.000 (figura 1). Cuando se trabaja a nivel de parcela, se recomienda un nivel de información muy detallado, con escala mayores de 1:15.840 (SSS, 1993) o 1:5.000 (FAO, 1979). Gómez-Miguel y Sotés (2001) demostraron la aptitud de la escala 1:5.000 para estudios muy detallados de zonificación vitícola. En el método aplicado se delimitaban unidades cartográficas mediante polígonos, a partir de observaciones de suelo seleccionadas según diferentes unidades de paisaje y unidades litológicas. La densidad de observaciones era de 1 observación por cm² de mapa, de las cuales una sexta parte correspondían a calicatas y el resto a sondeos con barrena. A una escala 1:5.000, esta densidad resultó en 4 observaciones por hectárea. Aplicando una relación calicata:sondeo de 1:5, se abrieron 0,7 calicatas por hectárea. Esta densidad es superior a la recomendada en diversos trabajos (FAO, 1979; Legros, 1996). La profundidad de los perfiles era 200 cm o menos si había una capa limitante para las raíces.



FIGURA 1. Metodología de la cartografía de suelos. Autor: J.M. Ubalde.

De cada perfil, se realizó una descripción de campo, con una descripción del lugar (localización, régimen de temperatura y humedad del suelo, clase de drenaje, profundidad de la capa freática, geomorfología, geología y pedregosidad superficial) y una descripción del perfil (profundidad de los horizontes, color Munsell, manchas, elementos gruesos, estructura, consistencia, cementaciones, efervescencia al ácido clorhídrico, raíces, poros, grietas, actividad biológica y humana, acumulación de materiales y rasgos superficiales en agregados y poros) (CBDSA, 1983; Schoeneberger *et al.*, 2002; Porta y López-Acevedo, 2005). Además, para cada horizonte, se analizaron propiedades físicas y químicas, según el Soil Survey Laboratory Methods Manual (USDA, 1996). Las propiedades físicas seleccionadas fueron la textura (método de la pipeta), humedades a -33 kPa y -1500 kPa (extracción en placas de presión a partir de muestras disturbadas) y densidad aparente (métodos del agregado, del agujero o del cilindro, según la consistencia del suelo). Las propiedades químicas seleccionadas fueron el pH (suspensión 1:2.5 suelo:agua), conductividad eléctrica (suspensión 1:5 suelo:agua), materia orgánica (Walkley-Black), nitrógeno (Kjeldahl), carbonato cálcico (calcímetro de Bernard), caliza activa (Nijelsohn), yeso (extracción con acetona), hierro (extracción con EDTA), fósforo (Olsen), capacidad de intercambio catiónico y bases intercambiables (extracción con acetato amónico). En algunos casos, se realizaron estudios micromorfológicos para identificar procesos formadores que eran difíciles de detectar a simple vista (Ubalde *et al.*, 2011).

Finalizada la caracterización de los perfiles, se procedió a su clasificación según Soil Taxonomy (SSS, 2006). Este sistema de clasificación está organizado en diferentes niveles: Orden, Suborden, Grupo, Subgrupo, Familias y Series. Los Órdenes y Subórdenes se definen por los factores y procesos formadores de suelos. Los Grupos y Subgrupos se determinan por similitudes en el tipo, disposición y grado de desarrollo de los horizontes pedogenéticos, los regímenes de humedad y temperatura del suelo y el estado de las bases. Conceptualmente,

los Grupos de Suelos de Referencia del World Reference Base (FAO/ISSS/ISRIC, 2006) podrían corresponderse a un nivel intermedio entre los Órdenes y los Grandes grupos. El nivel de Familia se define por propiedades químicas y físicas que afectan el manejo. Finalmente, las series son el nivel más detallado, agrupan los suelos por las similitudes en su edafogénesis y sus propiedades físicas y químicas. Cada serie consiste en conjuntos de suelos que son similares en color, textura, estructura, pH, consistencia, composición mineral y química, y disposición en el perfil. Las series definidas no se correlacionaron con las series del catálogo de las instituciones oficiales.

Las series de suelos fueron utilizadas para delinear las unidades cartográficas, siguiendo los criterios de Van Wambeke and Forbes (1986). Los límites de las unidades se determinaron mediante observaciones del suelo, buscando diferencias de pendiente, paisaje, color, pedregosidad superficial, etc. Cuando se dispone de todas las unidades, éstas se listan y codifican y se diseña la leyenda del mapa. El mapa de suelos resultante se digitaliza e introduce en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Por otro lado, todos los datos generados durante la cartografía se almacenan en una base de datos relacional que, junto con el mapa de suelos en formato digital, pasa a formar parte del SIG de suelos.

4.4.3. Aplicación del mapa de suelos para el manejo de las fincas

La organización de la cartografía de suelos en un SIG permite, de una forma relativamente fácil, la edición de mapas de suelos, mapas temáticos de suelos (textura, carbonatos, etc.), mapas de zonificación vitícola (riesgo de clorosis férrica, aptitud de variedades de viña, etc.) y mapas de manejo a nivel de subparcela (fertilización de precisión).

En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo de un ejemplo de zonificación vitícola a partir de mapas temáticos de suelos, que han sido elaborados mediante el SIG de suelos. Este diagrama trata de ejemplificar como realizar un mapa de portainjerto óptimo, a partir un mapa de riesgo de sequía, otro de riesgo de clorosis férrica y otro de salinidad. El mapa de riesgo de sequía se determinaría a partir de los mapas de profundidad efectiva y capacidad de retención de agua. El mapa de riesgo de clorosis se determinaría combinando los mapas de caliza activa con el de hierro. Finalmente, el mapa de salinidad se obtendría a partir de la reclasificación del mapa de conductividad eléctrica.

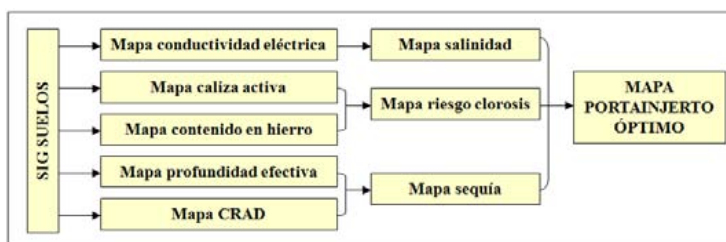


FIGURA 2. Procedimiento de elaboración de un mapa de portainjerto óptimo a partir de un mapa de suelos muy detallado. Autor: J.M. Ubalde.

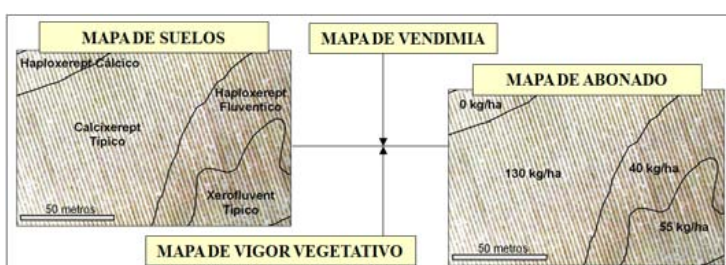


FIGURA 3. Procedimiento de elaboración del mapa de abonado a nivel de subparcela a partir de mapas de suelos muy detallados. Autor: J.M. Ubalde.

En la figura 3 se ilustra cómo se determina el mapa de fertilización a nivel de subparcela, utilizando el mapa de suelos como cartografía de base y combinándolo con otros mapas vitícolas (producción y vigor). Este mapa de fertilización se introduce en una abonadora de

aplicación variable, que puede aplicar diferentes dosis de fertilizante, según la posición determinada por un GPS (Sort y Ubalde, 2005).

De ese modo, se puede observar que los mapas de suelos a escala 1:5.000 contribuyen a la mejora de la gestión de los viñedos, ya que se tiene un mejor conocimiento de la variabilidad de la aptitud del medio para la vid (p.e. selección de portainjertos), se dispone de una información de base para el manejo a nivel de subparcela (p.e. plan de abonado) y también para la aplicación de nuevas tecnologías de viticultura de precisión (p.e. abonadora de aplicación variable con GPS).

Por otro lado, los mapas de suelos son especialmente interesantes en el contexto actual de lucha contra el cambio climático. El cambio climático supone una amenaza para la calidad de las vendimias, así como para la aptitud del terreno para el cultivo de la viña, poniendo en peligro el sistema productivo establecido a lo largo de los siglos. La mejora en el entendimiento del agrosistema y el control del manejo, que se consigue con los estudios de zonificación vitícola, son un paso necesario para hacer frente a estas amenazas. El mayor control del manejo vitícola también puede contribuir a la mitigación del calentamiento global, con la aplicación de prácticas orientadas al secuestro de carbono, la mejora de la eficiencia del uso del agua y la integración de criterios de sostenibilidad ambiental y paisajística. La integración de estos criterios supone además un valor añadido a los productos vitícolas, ya que el consumidor cada vez valora mejor los productos sostenibles con el medio ambiente y que minimizan las emisiones de carbono.

4.4.4 Estudio de casos: los suelos de los viñedos del Penedès

La depresión del Penedès es una fosa tectónica en dirección NE - SW rodeada por los macizos de Sistema Mediterráneo, formados durante la orogénesis alpina. Por el N y NW limita con la Cordillera Prelitoral (macizos del Gaià y del Congost-Anoia), y por el S y SE con la Cordillera Litoral (Macizo del Garraf). Igual que en la Depresión Reus-Valls, los materiales de la depresión del Penedès se depositaron durante el mioceno.

En general, los materiales geológicos del Penedès son ricos en carbonato cálcico, por lo que los procesos formadores de suelos relacionados con los carbonatos están bien representados. La mayor parte de las acumulaciones de carbonatos son debidas a la precipitación de calcita de soluciones saturadas, que provienen de horizontes superiores o de flujos laterales de agua debidos a un horizonte impermeable. Sin embargo, algunas acumulaciones de carbonatos son debidas a la actividad biológica, que actúa causando una microdistribución de carbonatos en bioporos. Los edaforrasgos de las acumulaciones biológicas son rellenos de calcita citomórfica (quesparita) en poros (figura 4). Los edaforrasgos de iluviación de carbonatos son representativos de diferentes grados de calcificación. Primero, un proceso de cristalización produce cristales aciculares y algunos hiporevestimientos de micrita y microesparita (figura 5). Luego, un proceso de recristalización produce abundantes revestimientos y hiporevestimientos bien desarrollados, pendants, nódulos y rellenos de esparita y microesparita (figura 6). En estadios más desarrollados, los carbonatos (micrita) empiezan a ocupar la micromasa. En este estadio, pueden ocurrir procesos de desplazamiento y reemplazamiento de componentes gruesos (figura 7) o de revestimientos de arcilla. El estadio más evolucionado se correspondería a cementaciones de carbonatos (horizontes petrocálcicos).

La mayoría de los suelos del Penedès se clasifican como Inceptisoles (Cambisoles/Calcisoles), debido a que las acumulaciones de carbonatos están suficientemente expresadas para identificar horizontes cámbicos, cálcicos o petrocálcicos. En general, los suelos con acumulaciones de carbonatos se clasifican como Calcixerepts Típicos (figura 6 y 7). Sin embargo, no todos los suelos pueden ser clasificados como Calcixerepts (Calcisoles),

ya que no cumplen los criterios de un horizonte cálcico. Un horizonte cálcico requiere un cálcico espesor mínimo de 15 cm, un contenido mínimo en CaCO_3 del 15% y carbonato secundario identificable, con algunas excepciones. Algunos de los suelos descritos mostraban acumulaciones incipientes, pero con el contenido en CaCO_3 demasiado bajo. En este caso, las acumulaciones llevan a un horizonte cámbico, y los suelos se clasifican como Haploxerepts (Cambisoles). Incluso en algunos casos, cuando las acumulaciones de carbonatos no son visibles a simple vista (solamente con microscopio), no se puede determinar un horizonte cámbico, y los suelos se clasifican como Entisoles (Regosoles/Fluvisoles). Este es el caso de algunos Xerofluvents típicos (Fluvisoles), con redistribuciones de carbonatos en forma de cristales aciculares de calcita y cristales de quesparita (figura 4 y 5).

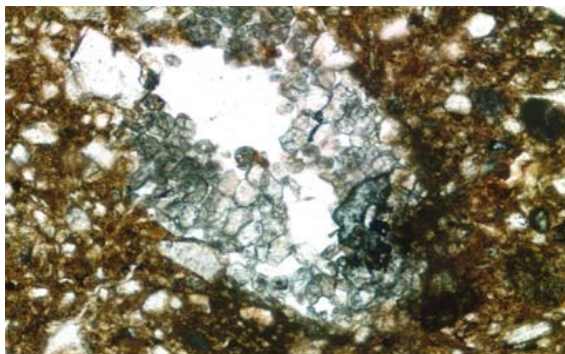


FIGURA 4. Acumulación de carbonatos de origen biológico en Xerofluvents típicos: rellenos de calcita citomórfica en poros (3,36 mm ancho, PPL) Autor: J.M. Ubalde.

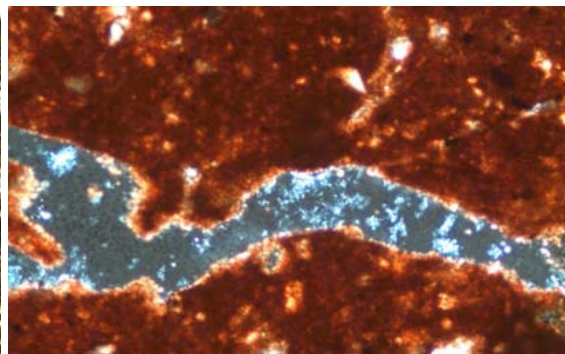


FIGURA 5. Redistribución de carbonatos en Xerofluvents típicos: rellenos de cristales aciculares y hiporevestimientos de microesparita (1,26 mm ancho, XPL). Autor: J.M. Ubalde.

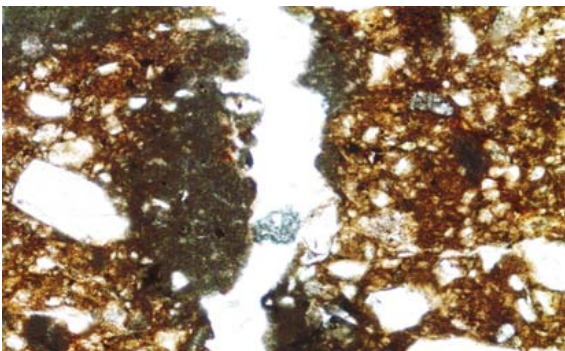


FIGURA 6. Redistribución de carbonatos en Calcixerepts típicos: hiporevestimientos de microesparita bien desarrollados (3,36 mm ancho, PPL). Autor: J.M. Ubalde.

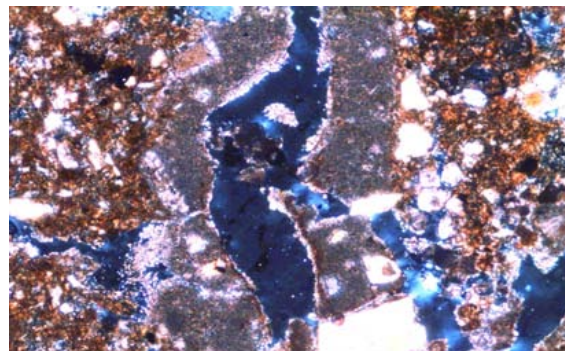


FIGURA 7. Hiporevestimientos de microesparita y micrita en poros, con desplazamiento de granos en su margen interior (1,5 mm ancho, XPL). Autor: J.M. Ubalde.

Los procesos de acumulación de carbonatos en el Penedès están muy evolucionados, hecho que se refleja con contenidos en carbonato cálcico muy altos, superiores al 70%, y con las cementaciones de carbonatos. La evolución de los carbonatos en estos suelos puede ser un factor limitante para el cultivo de la viña, debido a la clorosis férrica. Los carbonatos incrementan la concentración del anión HCO_3^- en la solución del suelo, bloqueando la absorción de hierro por las plantas. Las principales consecuencias son el raquitismo, la destrucción de follaje, la reducción de la producción e incluso la muerte de la planta. Estos problemas se pueden evitar con la elección de portainjertos resistentes, como el 41B y 140R. Por otro lado, los procesos intensos de acumulación de carbonatos, que llevan a la cementación de la micromasa, constituyen una limitación para el desarrollo del sistema radicular. Además, las acumulaciones en forma de nódulos incrementan el contenido en elementos gruesos, reduciendo la capacidad de retención de agua disponible (CRAD). En los horizontes profundos de un Calcixerept típico, se cuantificó una pérdida de 11 mm de CRAD (entre los 50 y 100 cm de profundidad), considerando un volumen de acumulaciones de

carbonatos del 20%. Sin embargo, las principales implicaciones de las acumulaciones de carbonatos en el manejo de la vid están relacionadas con la selección del portainjerto y labranza, que no debe ser demasiado profunda para evitar mezclar los horizontes cálcicos con los horizontes superficiales.

A continuación, se presentan la descripción de campo, los datos analíticos y la descripción micromorfológica de un suelo representativo de las plataformas residuales del Penedès. Estos suelos se han formado a partir de los sedimentos que se han acumulado durante el Cuaternario encima de los depósitos miocénicos.

4.4.4.1. Perfil: 33

Información general

FECHA DESCRIPCIÓN: 15/02/02

DESCRIPTORES: Josep Miquel Ubalde

LOCALIZACIÓN: Pacs del Penedès

Geomorfología

ALTITUD (M): 223

FORMA DEL RELIEVE: Plataforma residual

PENDIENTE: 5-10 %

ORIENTACIÓN: Suroeste

Temperatura y agua de suelo

REGIMEN DE TEMPERATURA: Térmico

RÉGIMEN DE HUMEDAD: Xerico

NIVEL FREÁTICO: Inaccesible

CLASE DE DRENAJE: Bien drenado

Material originario

Materiales detríticos terrígenos finos y gravas

Uso del suelo

CULTIVO: Viña

TECNOLOGÍA: Secano

Clasificación

SSS 1999: Calcixerept típico, esquelética franca, carbonática, térmica

FAO, ISS, ISRIC 1998: Calcisol esquelético hipercálcico



FIGURA 8. Perfil 33.

Descripción macromorfológica de los horizontes (nomenclatura SINEDARES)

0-15 cm

Ap1

COLOR (de la matriz del suelo): 10YR 5/4 (en húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: abundantes (35-70%), gravas, subredondeado-tabulares, sin orientación, distribución irregular, calizas. TEXTURA: Franco-arenosa. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques, mediana. COMPACIDAD: Poco compacto, muy friable. RAÍCES: Pocas, finas, distribución irregular, sin orientación, vivas. TEST DE CAMPO. Reacción de la matriz al HCl 11%: Muy alta. LÍMITE INFERIOR: abrupto por laboreo, plano. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: ÓCRICO.

15-30/50 cm

Ap2

COLOR (de la matriz del suelo): 10YR 5/4 (en húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: abundantes (35-70%), gravas, subredondeado-tabulares, sin orientación, distribución irregular, calizas. TEXTURA: Franco-arenosa. ESTRUCTURA: Moderada, en bloques, gruesa. COMPACIDAD: Compacto, friable. RAÍCES: Abundantes, de finas a gruesas, distribución irregular, horizontales, vivas. ACUMULACIONES: Pocos (<5%), nódulos, de carbonato, tamaño medio, ligeramente duros. TEST DE CAMPO. Reacción de la matriz al HCl 11%: Muy alta. LÍMITE INFERIOR: neto, ondulado. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: ÓCRICO.

30/50->160 cm

Bwkn

COLOR (de la matriz del suelo): 7,5YR 7/6 (en húmedo). MANCHAS: Inexistentes. ELEMENTOS GRUESOS: abundantes (35-70%), de gravas a cantos, subredondeado-tabulares, sin orientación, distribución irregular, calizas. TEXTURA: Franco-arenosa. ESTRUCTURA: Moderada, prismática, muy gruesa. COMPACIDAD: Muy compacto, muy friable. RAÍCES: Frecuentes, de finas a medianas, las más gruesas aplastadas, distribución irregular, sin orientación,

vivas. ACUMULACIONES: Abundantes (20-40%), nódulos en forma de rizoconcreciones, gruesos, blandos y ligeramente duros; y pseudomicelios, finos, blandos, en porso. TEST DE CAMPO. Reacción de la matriz al HCl 11%: Muy alta. HORIZONTE DIAGNÓSTICO: CÁLCICO.

Datos analíticos										
Horizonte genético	pH H ₂ O 1:2.5	CE 1:5 (dS/m a 25° C)	Materia orgánica (%)	Carbono orgánico (%)	N Kjeldahl (%)	Carbonato cálcico eq. (%)	Caliza activa (%)	Fe s.m.s. (mg/kg)	P Olsen (mg/kg)	K AcONH ₄ (mg/kg)
Ap1	8,6	0,18	1,4	0,8	0,09	76	15	36	23	94
Ap2	8,6	0,18	1,2	0,7	0,06	73	16	50	11	96
Bwkn	8,3	0,60	0,3	0,2	0,02	69	9	36	2	131
Horizonte genético	Arena 2,0-0,05 mm	Limo 0,05-0,002 mm	Arcilla <0,002 mm	Clase textural USDA*	Densidad aparente (kg/m ³)	Elementos gruesos (% vol.)	Grava fina 0.2-0.4 cm	Grava media 0.4-1.6 cm	Grava gruesa 1.6-6.4 cm	Cantos 6.4-25 cm
Ap1	60,1	29,1	10,8	FAR	1198	46	50	50	0	0
Ap2	60,3	28,4	11,3	FAR	1196	37	3	7	90	0
Bwkn	60,5	30,9	8,6	FAR	1390	35	0	20	80	0
Horizonte genético	CIC cmol+/kg	Ca ²⁺ cmol+/kg	Mg ²⁺ cmol+/kg	Ca ²⁺ +Mg ²⁺ cmol+/kg	Na ⁺ cmol+/kg	K ⁺ cmol+/kg	V %	Humedad a -33 KPa (%)	Humedad a -1.500 KPa (%)	CRAD (mm/10 cm suelo)
Ap1	4,5	3,5	0,6	4,1	0,2	0,2	100	16	7	5,8
Ap2	4,4	3,4	0,6	4,0	0,2	0,2	100	17	8	6,8
Bwkn	3,9	2,7	0,7	3,4	0,2	0,3	100	13	4	8,1

* FAR: Franco-arenosa

Micromorfología

Lámina: 7/02 Horizonte genético: Bwkn Profundidad: 40-60 cm

Microestructura y porosidad	g/f	Componentes minerales gruesos	Micromasa	Componentes orgánicos	Edaforrasgos
Bien desarrollada, no acomodada, en bloques subangulares. Poros 35% : planares (0,2 mm)	Límite g/f: 40µm, relación g/f 1/2, porfirica doble	Arenas de cuarzos y feldespatos	Marrón amarillento, Limos y arcillas, Fábrica-b cristalítica y granoestriada	Ausentes	Revestimientos de poros y rellenos de cristales de esparita pseudo hexagonales (0,25 mm) y microesparita y micrita. Cristales aciculares (<0,05 mm) de carbonatos en caras de poros. Nódulos impregnativos (0,75-1 mm), esféricos, alterados. Nódulos impregnativos redox (0,1 mm), de Fe y Mn, límites irregulares (fig. 8). Hiporrevestimientos de calcita (fig. 6) microesparítica y micrítica, en poros.

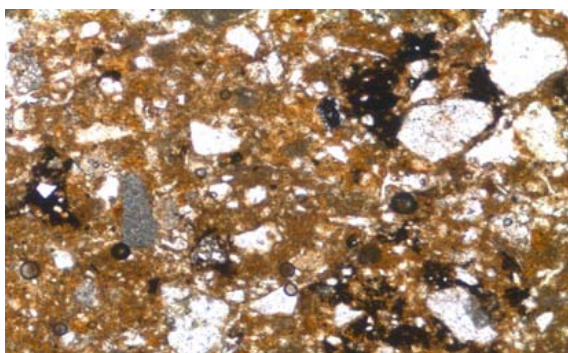


FIGURA 9. Nódulos impregnativos redox, límites irregulares, formas dendríticas (1,5 mm ancho, PPL). Autor: J.M. Ubalde.

4.4.5. Referencias bibliográficas

- CBDSA. «SINEDARES. Manual para la descripción codificada de suelos en el campo». MAPA (1983), 137 p.
- FAO. «Soil survey investigations for irrigation». FAO Soil Bulletin, núm. 42 (1979), 188 p.
- FAO/ISSS/ISRIC. «World Reference Base for Soil Resources». World Soil Resources Report, núm. 103 (2006), 128 p.
- GÓMEZ-MIGUEL, V; SOTÉS, V. «Convergencia metodológica en los estudios detallados y muy detallados de suelos aplicados a la microzonificación vitícola». En: 26th World Congress and General Assembly of the OIV, 11-18 October 2001, Adelaida, Australia, (2001), p. 234-249.
- LEGROS, J.P. «Cartographies des sols». Presses polytechniques et universitaires romandes (1996), 321 p.
- PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M. «Agenda de campo de suelos. Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente». Ediciones Mundi-Prensa (2005), 541 p.
- PORTA, J.; ARAN, M.; BOIXADERA, J. (coord.) «Mapa de Sòls de Catalunya 1:25000. 66-23 Isona». IGC – IEC (2009).
- SCHOENEBERGER, P.J.; WYSOCKI, D.A.; BENHAM, E.C.; BRODERSON, W.D. (eds.) «Field book for describing and sampling soils, Version 2.0». Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE. (2002)
- SOIL SURVEY STAFF (SSS) «Soil Survey Manual». Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18 (1993).
- SOIL SURVEY STAFF (SSS) «Soil Taxonomy: a basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2nd. Edition». USDA Soil Conservation Service, Agricultural Handbook n° 436 (1999), 871 p.
- SOIL SURVEY STAFF (SSS) «Keys to Soil Taxonomy, 10th ed». USDA-Natural Resources Conservation Service (2006), 341 p.
- SORT, X.; UBALDE, J.M. «Aspectes de viticultura de precisió en la pràctica de la fertilització raonada». ACE Revista d'Enologia, núm. 73 (2005), p.18-21.
- STOOPS, G. «Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections». Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI. (2003), 184 p.
- UBALDE, J.M.; SORT, X.; POCH, R.M. «How soil forming processes determine soil-based viticultural zoning». Journal of Soil Science and Plant Nutrition, v. 11, núm. 1 (2011), p.100-126.
- U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service «Soil Survey Laboratory Methods Manual». Soil Survey Investigations Reports, núm. 42 (1996), 693 p.
- VAN LEEUWEN, C.; CHERY, P. «Quelle méthode pour caractériser et étudier le terroir viticole : analyse de sol, cartographie pédologique ou étude écophysiological ?» In: Un raisin de qualité : de la vigne à la cuve, n° Hors Série du J. Int. Sci. Vigne Vin, (2001), p.13-20.
- VAN WAMBEKE, A.; FORBES, T.R. (eds.) «Guidelines for Using "Soil Taxonomy" in the Names of Soil Map Units». Soil Manage. Support Serv. Tech. Monogr. 10. U.S. Dep. Agric., Soil Conserv. Serv., and Cornell Univ., Agron. Dep. (1986).
- VAUDOUR, E. «Les terroirs viticoles. Définitions, caractérisation, protection». Ed. Dunod, Paris (2003), 293 p.

VAUDOOUR, E.; SHAW, A.B. «A Worldwide Perspective on Viticultural Zoning». S. Afr. J. Enol. Vitic., v. 26, núm. 2 (2005), p.106-115.

4.5. Nivelación de tierras en l'Alt Penedès: efectos sobre el régimen hídrico de los suelos y sus consecuencias

Ildefons Pla Sentis¹ y Silvana Nacci¹

(1) Departament de Medi Ambient i Ciències del Sòl, Universitat de Lleida. Av. Alcalde Rovira Roure, 191, 25198 Lleida.

Resumen

La comarca del Penedès es una de las zonas con mayor área plantada con viña de secano para la producción de vino y cava en Cataluña y España. En las últimas décadas, algunas de las áreas de producción con viña han sido abandonadas u ocupadas por otros desarrollos, principalmente urbanos e industriales. Sin embargo en otras se ha intensificado el cultivo, con nuevos sistemas de plantación, introducción de nuevas variedades y transformaciones de las tierras (mayormente nivelaciones) para facilitar la mecanización de todas las operaciones, incluyendo el control de malas hierbas y la cosecha. Las nivelaciones para permitir las plantaciones en largas líneas rectas, con emparrados, han llevado a grandes movimientos de tierra, con cortes y rellenos. Con ello, los suelos, mayormente desarrollados sobre lutitas calcáreas, han sufrido grandes cambios que afectan fundamentalmente al desarrollo de las raíces de la vid y sus propiedades hidrológicas, tanto del suelo superficial como del perfil del suelo. Para estudiar dichos cambios, sus efectos sobre el régimen y el balance hídrico de los suelos, y sus consecuencias sobre la conservación de suelos y agua y sobre la producción de la viña, se realizaron durante varios años investigaciones, especialmente a nivel de campo, en una plantación de viña en l'Alt Penedès que incluyeron un monitoreo continuo del régimen de humedad del suelo. Todo ello bajo las diferentes y variables condiciones del clima, en especial de las lluvias en la zona. Conjuntamente se validó un modelo con base hidrológica para poder simular el régimen hídrico del suelo bajo diferentes condiciones de uso y manejo de la viña, incluyendo el uso de coberturas vivas o muertas, con diferentes limitaciones en el desarrollo y profundización radicular, y bajo diferentes niveles, intensidades y distribución de las lluvias. Los resultados obtenidos permitieron deducir que las nuevas prácticas de manejo del cultivo y suelos, con una nivelación previa de las tierras, resultan en cambios drásticos en el régimen de humedad del suelo, con incrementos en la generación de escorrentía y erosión superficial y en la reducción de la retención de agua de lluvia en el suelo para la vid, lo cual afecta la cantidad y calidad de la producción de uva y vino. También permitieron deducir que algunas medidas propuestas para contrarrestar dichos efectos, como son el uso de pequeñas terrazas de absorción, de cultivos de cobertura y de enmiendas orgánicas, solo podrían ser efectivas bajo ciertas condiciones.

4.5.1. Introducción

La viña de secano para producción de vino es un cultivo tradicional en los terrenos agrícolas en pendiente de Cataluña. En la actualidad hay alrededor de 100.000 ha de viñas en Cataluña, la mayor parte de ellas de secano, que producen alrededor del 8% del vino y del 99 % del cava de toda España. En Cataluña, igual que en otras regiones mediterráneas de Europa, las viñas de secano han sufrido grandes cambios en las últimas décadas. En parte siguiendo políticas de la UE, algunos campos de cultivo han sido abandonados mientras que en otros, dedicados a la producción de vino y cava de alta calidad, han incrementado el área cultivada, con sistemas agrícolas más intensivos y altamente mecanizados (Pla y Nacci, 2003). En algunos casos se ha introducido el riego, generalmente por goteo, pero sólo para ser utilizado en forma controlada y limitada cuando se presentan situaciones de extrema sequía. La movilización de grandes volúmenes de suelo, en prácticas de terraceo y nivelación, utilizando maquinaria pesada para cambiar la topografía del terreno y facilitar la mecanización,

ha afectado las propiedades hidrológicas de los suelos y los drenajes naturales de las tierras, lo que ha incrementado generalmente los riesgos de erosión superficial y en masa, especialmente cuando se presentan eventos lluviosos extremos (Pla y Nacci, 2001; Nacci y col. 2002). Adicionalmente parece haber una tendencia al incremento de la frecuencia de años secos y al mismo tiempo de eventos de lluvia más extremos y agresivos, aparentemente como una consecuencia de cambios climáticos generales en la región Mediterránea.

La labranza ha sido utilizada tradicionalmente en los viñedos para el control de las malas hierbas y para la roturación del suelo superficial compactado o encostrado con el fin de facilitar la infiltración de agua de lluvia, para reducir las pérdidas de agua por evaporación y para mejorar la profundización de las raíces de la vid. Aunque se reconocen los posibles beneficios de la práctica de labranza cero asociada al uso de cultivos de cobertura, en especial para proteger la superficie del suelo del impacto directo de las gotas de lluvia, para incrementar el contenido de materia orgánica del suelo y para reducir la escorrentía y erosión superficial, se considera que en viñas de secano dichas coberturas podrían causar más deficiencias de agua y de N, en especial en años secos (Rupp y Fox, 1999).

Tomando en consideración los anteriores aspectos, se estudiaron durante varios años los efectos actuales y potenciales del acondicionamiento y manejo de las tierras sobre la conservación de suelos y agua. Los estudios tuvieron lugar en dos zonas adyacentes, representativas en cuanto a suelos, topografía, clima y cambios en el manejo de las tierras con viña del Alt Penedès. Los estudios incluyeron evaluaciones de las propiedades y procesos hidrológicos en suelos y tierras, utilizando un monitoreo continuo a nivel de campo y medidas de laboratorio. Los resultados de dichas evaluaciones se integraron utilizando el modelo SOMORE (Pla 1997, 1998, 2002) basado en procesos hidrológicos, lo que permitió a su vez deducir los problemas potenciales de erosión superficial y el régimen hídrico del suelo, y sus efectos sobre la sustentabilidad, cantidad y calidad de la producción de uvas y vino, bajo escenarios cambiantes de clima y condiciones de las tierras.

4.5.2. Materiales y métodos

4.5.2.1. Áreas experimentales

Las zonas de estudio están localizadas en una finca comercial representativa de la región del Alt Penedès (Cataluña), donde el área con viñas para la producción de vino y cava se ha incrementado en los últimos 25-30 años (figura 1). Dicho incremento ha estado acompañado de cambios drásticos en el manejo de las tierras y de las viñas, incluyendo la introducción de nuevas variedades y sistemas de plantación. El clima de la zona es Mediterráneo semiárido, con un promedio de lluvia anual de alrededor de 600 mm, muy irregularmente distribuidos, con una concentración de las lluvias en otoño-invierno y un verano muy seco. Las lluvias se caracterizan por una gran variabilidad de un año a otro (400-700 mm) (figura 2) y por su carácter tormentoso, principalmente en otoño y, ocasionalmente, en primavera. Los cambios climáticos previstos para el futuro podrían incrementar la irregularidad de las lluvias así como la frecuencia de años secos y la probabilidad de eventos extremos. El consumo de agua por parte de la vid durante su ciclo de desarrollo se caracteriza por mínimos requerimientos en los periodos previos a la floración y después de la cosecha (octubre a abril), y por máximos requerimientos en la parte media de la estación de crecimiento (mayo a julio). Si la capacidad de reserva de agua aprovechable en la zona radicular del suelo no es suficiente, las cantidades limitadas de lluvia durante la principal estación de desarrollo de la vid (junio-agosto) pueden conducir a un largo periodo de deficiencia de agua en el suelo, lo cual puede afectar el crecimiento, la producción y la maduración de la uva, aún a pesar de la capacidad natural de supervivencia de la vid bajo condiciones de sequía (Maigre y col. 1995).

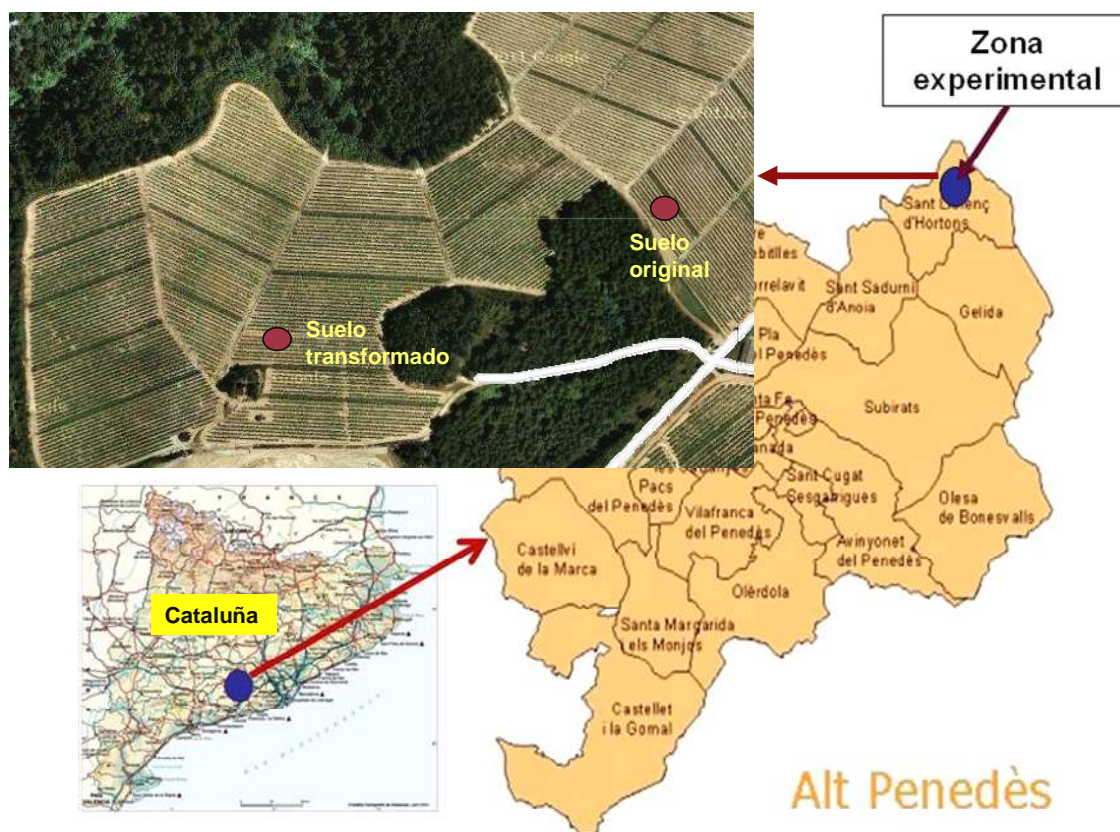


FIGURA 1. Localización e imagen de satélite de la zona experimental en el Anoia - Alt Penedès (41° 29' N, 1° 48' E). Fuentes: municat.gencat.cat; Google maps 2011.

Debido a la escasez de mano de obra disponible y con el propósito de reducir los costes de producción e incrementar la producción, la tendencia actual es a una completa mecanización de las operaciones agrícolas, incluyendo la cosecha. Para ello se requieren plantaciones de viña emparradas en hileras largas y rectas, con una distancia entre hileras de 2,4 a 3,2 m y, entre plantas, de 1,2 a 1,4 m. Esto provee una menor protección de la superficie del suelo que en los sistemas tradicionales de plantación, con crecimiento libre de las vides, aunque en ambos casos la protección es mínima en el periodo otoño-invierno, cuando suelen ocurrir las tormentas más intensas. Por otra parte, la necesidad de hileras largas y rectas hace que, en ocasiones, las mismas requieran ejecutarse en el sentido de la máxima pendiente. Todo ello obliga a realizar labores de nivelación, con fuertes movimientos de tierra que, generalmente,

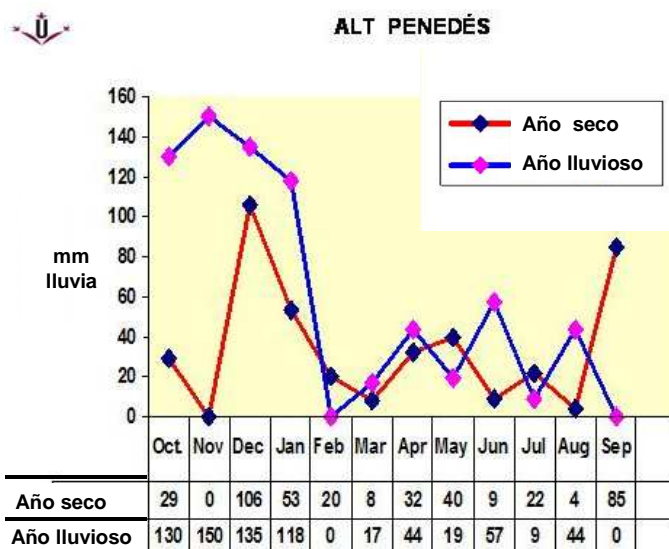


FIGURA 2. Distribución de la lluvia en dos años (ajustados al ciclo de desarrollo de la viña) seleccionados, uno seco(1985-1986) y otro lluvioso (1996-1997), en el Alt Penedès. Fuente: autores.

provocan cambios drásticos en la red superficial de drenaje superficial, en las propiedades de la superficie del suelo y en la profundidad efectiva de enraizamiento de la vid (Nacci et al, 2002; Pla y Nacci, 2003) (figura 3).



FIGURA 3. Viñas originales y transformadas tras labores de nivelación de las tierras en el Alt Penedès. Fuente: autores.

En la región del Alt Penedès la topografía es fuertemente ondulada, con colinas más o menos redondeadas, y campos de cultivo en pendientes de 4-20%, en cotas de 250-400 m. El suelo original, clasificado como Xerorthent, tiene generalmente un perfil poco desarrollado, que en el caso de la zona transformada es el resultado de las operaciones mecánicas de nivelación (decapitación del horizonte A original y trituración mecánica de la roca madre) para facilitar la mecanización (figura 4). Los suelos se han desarrollado a partir de lutitas calcáreas, y son muy pobres en materia orgánica (< 1,5%), altos en contenido de limo (40-60%) y muy ricos en carbonato de calcio (>30%). Tienen una gran susceptibilidad al sellado superficial por impacto de las gotas de lluvia, lo que provoca grandes pérdidas de agua por escorrentía y una fuerte erosión superficial en suelos desnudos, en especial en los suelos que han perdido el horizonte A en las nivelaciones.

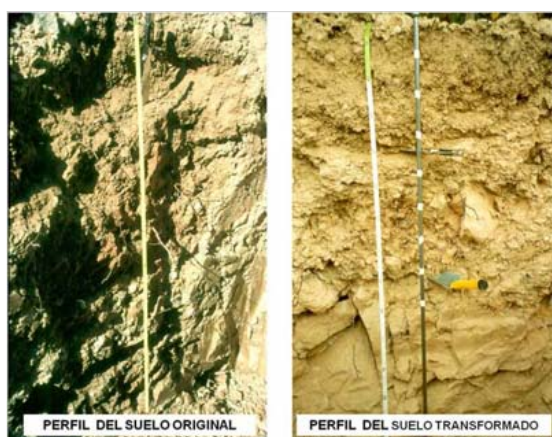


FIGURA 4. Perfiles de suelo en la zona de viñas sin transformar (original) y en la zona transformada. Fuente: autores.



FIGURA 5. Limitaciones en el desarrollo radicular de la viña en un suelo transformado (por labores de nivelación) en el Alt Penedès. Fuente: autores.

La labranza periódica no permite el desarrollo de raíces en los 15-20 cm superficiales del suelo, que generalmente son mantenidos en forma disgregada con terrones grandes para facilitar la infiltración del agua de lluvia, retrasar el sellado superficial, disminuir la evaporación de agua del suelo más profundo (efecto mulch) y controlar las malas hierbas (figura 5).

4.5.2.2. Mediciones y experimentos

La mayoría de los problemas de conservación de suelos y agua en la comarca del Alt Penedès están asociados con los efectos de los cambios climáticos y de los cambios en las prácticas de manejo de suelos y cultivo de la vid sobre el régimen de humedad del suelo, que es el factor más crítico en relación a la producción en cantidad y calidad de uvas para vino (Pla *et al.*, 2005). Se han realizado mediciones y continuo monitoreo bajo condiciones de campo de los parámetros hidrológicos más relevantes del suelo y de las características de la lluvia, complementados con mediciones de laboratorio. Los resultados han sido utilizados como la base para la aplicación y validación del modelo SOMORE (Pla, 1997, 2002), el cual permite la simulación y predicción de los regímenes de humedad del suelo y de los problemas potenciales asociados a la erosión del suelo y de suplencia de agua en las diferentes etapas de desarrollo de la vid (Pla, 1997; Pla y Nacci, 2001). En muchos casos hubo que hacer adaptaciones y cambios en las metodologías estándar para hacer mediciones adecuadas, en especial bajo condiciones de campo (tabla 1).

TABLA 1. Algunas características y propiedades hidrológicas de los suelos en zonas experimentales del Alt Penedès (PRE: Profundidad radicular efectiva (95% de las raíces); CRAU: Capacidad de retención de agua utilizable por la viña; V.Inf.: Velocidad de infiltración del agua de lluvia; Ksat (SS): Conductividad hidráulica saturada del subsuelo; SC: Sin cobertura; CC: Con cobertura). Fuente: autores.

Zona	% Pendiente	cm PRE	mm CRAU	mm Saturación	mm/hora		
					V Inf.		Ksat (SS)
					SC	CC	
Original	10	20-80	200	240	20	50	3
Transformada	6	15-60	120	150	5	20	1

Aquí presentamos los resultados, derivados de las mediciones de campo y del continuo monitoreo en sitios seleccionados dentro de un campo comercial plantado con viña de la variedad Chardonnay. Se han simulado, con el modelo SOMORE, las condiciones más generalizadas de suelos, pendiente y manejo. Entre los diferentes tratamientos se incluyeron el actual manejo con labranza continua sin cobertura (SC) y el uso potencial, ya probado en algunas fincas de la región, de coberturas vivas (CC) durante el periodo de reposo (octubre a mayo) seguido de la cobertura con los residuos secos durante el resto de los periodos de desarrollo. Se presentan los resultados en dos estaciones de crecimiento seleccionadas, la más seca y la más lluviosa de los últimos diez años con periodos de retorno de alrededor de 5 años. En ambas la lluvia se concentró en el periodo otoño-invierno. Las dos condiciones de suelo incluidas son la de un suelo prácticamente no alterado por las labores de nivelación (original) y la de una tierra y suelo fuertemente alterados (transformado) por las labores de nivelación (figura 6 y 7).

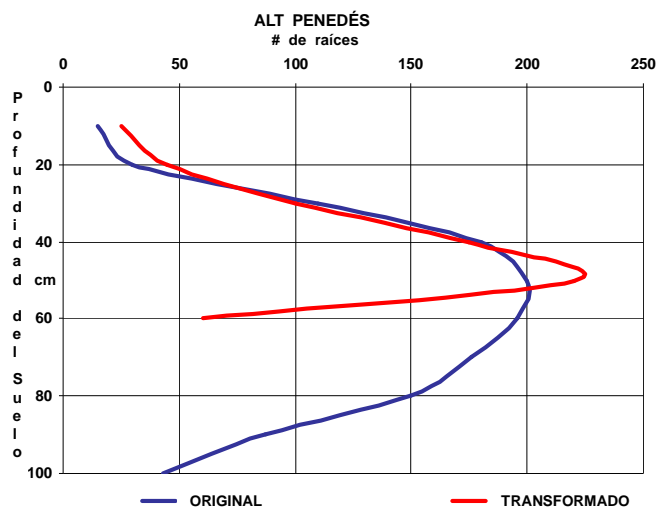


FIGURA 6. Distribución de las raíces de la viña en un suelo original y en un suelo transformado (decapitado por nivelación) en el Alt Penedès (Método de la trinchera, Nacci 2001). Fuente: autores.

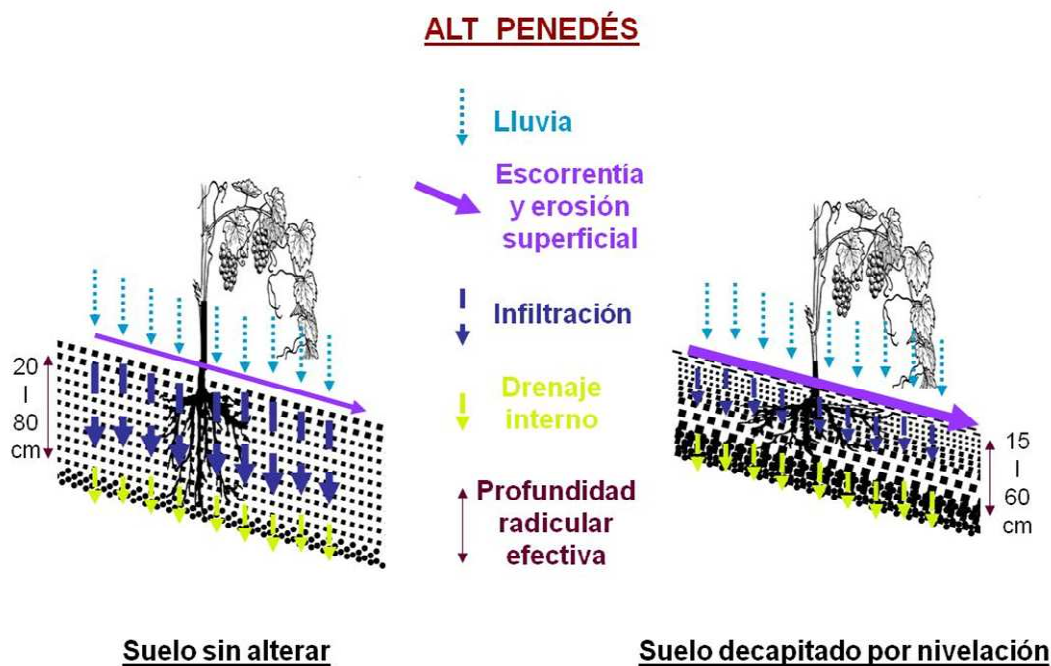


FIGURA 7. Desarrollo radicular y componentes del balance hídrico en suelo sin alterar (original) y decapitado por nivelación (transformado). Fuente: autores.

Los datos de las diferentes zonas experimentales se integraron con el modelo de balance hídrico SOMORE (Pla, 1997), para predecir los requerimientos hídricos de la vid y del cultivo de cobertura durante los diferentes periodos aproximados de desarrollo de la vid (con diferencias dependiendo del año, región y variedad) para producción de vino:

- Reposo (Octubre-Febrero)
- Brotación-Floración (Marzo-Abril)
- Floración-Envero (Mayo-Julio)
- Envero-Cosecha-Caída de hojas (Agosto-Septiembre)



FIGURA 8. Superficie del suelo transformado antes y después de una tormenta (efecto de sellado superficial) y uso de diferentes coberturas vivas para proteger el suelo superficial en viñas de secano del Alt Penedès. Fuente: autores.

Los valores utilizados para requerimientos de agua de la vid estuvieron dentro del rango de los correspondientes a un clima Mediterráneo semiárido (Nacci, 2001). Los requerimientos de agua para el cultivo de cobertura son los correspondientes a un cultivo bien desarrollado de cebada (figura 8).

4.5.3. Resultados y conclusiones

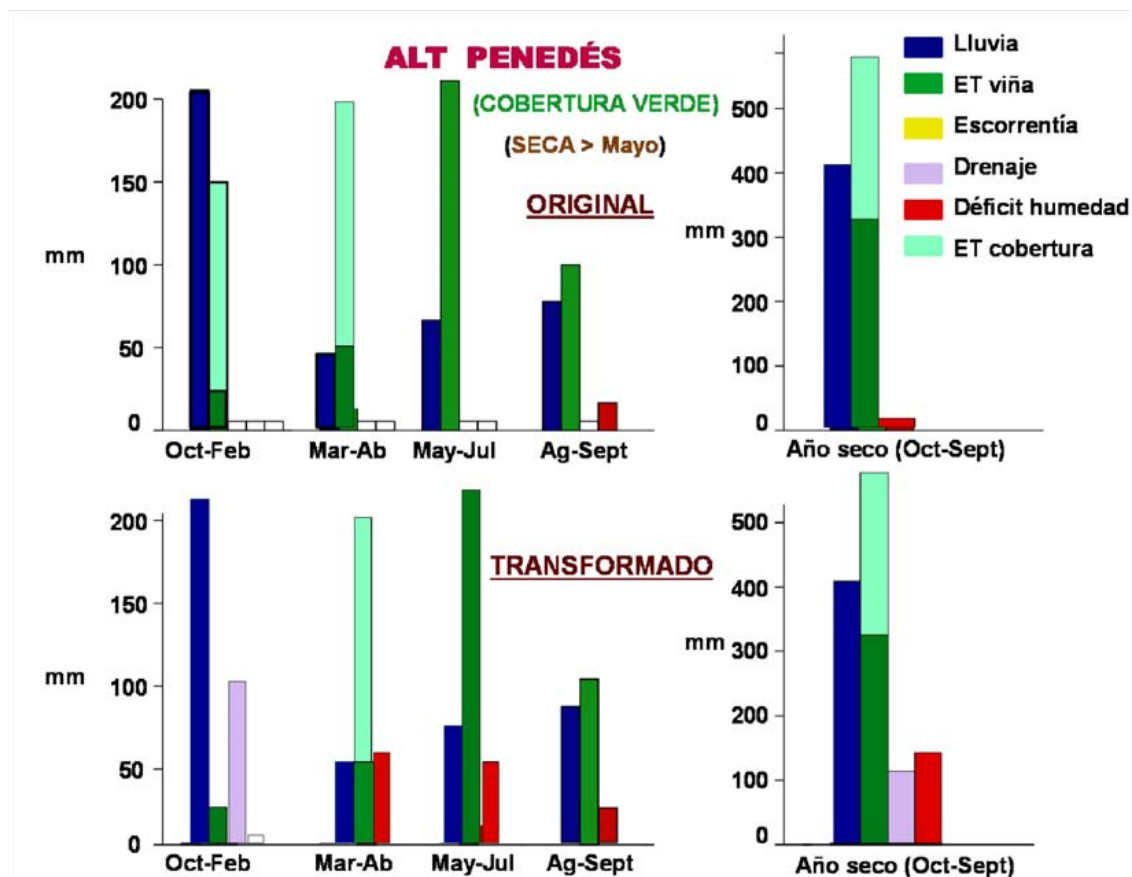


FIGURA 9. Distribución de las lluvias y de los diferentes componentes del balance hídrico en tierras originales y transformadas del Alt Penedès, con viña de secano (variedad Chardonnay), con y sin el uso de cobertura verde (cortada o seca a partir de mayo) en los diferentes periodos de crecimiento de la viña y en todo el ciclo, en un año relativamente seco (periodo de retorno de 5 años). Fuente: autores.

Las figuras 9 y 10 muestran los valores de los componentes del balance de agua en el suelo calculados durante los diferentes periodos de desarrollo de la vid para producción de vino, en los dos años (seco y lluvioso) seleccionados, bajo condiciones variables de acondicionamiento previo del terreno (original y transformado), con y sin cobertura. Aunque la cobertura mejora la infiltración del agua de lluvia, reduciendo al mínimo las pérdidas de agua por escorrentía, y, por ende, la erosión, se deduce que, en todos los casos, la única posibilidad de poder colocar un cultivo de cobertura entre las hileras de la vid es durante el periodo de reposo. Si la cobertura se quiere mantener el resto del año hay que cortarla o secalarla con un herbicida selectivo que no sea tóxico para la vid. Es evidente que el uso de un cultivo de cobertura en el periodo de reposo aumentaría las posibilidades de sequía en el periodo crítico de floración-verano en los años más secos; en especial en suelos con baja capacidad de retención de humedad (asociado a las características de los suelos y a la profundidad efectiva de las raíces), en el suelo transformado y en condiciones (clima, variedad, densidad de siembra) de mayores requerimientos de agua para la vid. Se concluye que en el suelo transformado, con menor profundidad efectiva de raíces, aún mejorando la infiltración

del agua de lluvia con el uso de coberturas, o mejorando las condiciones físicas del suelo superficial con el uso de enmiendas orgánicas (una práctica utilizada frecuentemente en la zona), no se resolvería el problema de riesgos de sequía en años secos e, incluso, en años más lluviosos con mala distribución de las lluvias, pues el exceso de agua de lluvia infiltrada se perdería por drenaje interno.

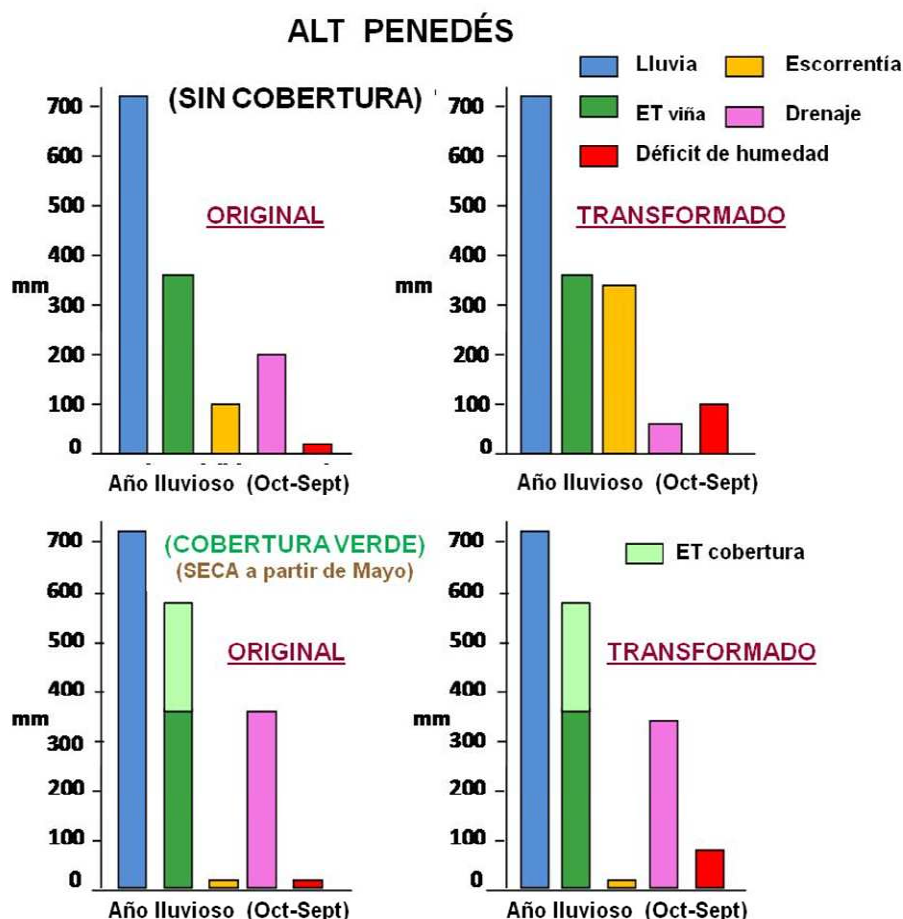


FIGURA 10. Balances hídricos en suelo original y transformado en tierras con viña del Alt Penedès, con y sin cobertura, en un año relativamente lluvioso (periodo de retorno de 5 años). Fuente: autores.

En general se puede concluir que las nuevas prácticas completamente mecanizadas, que exigen nuevas prácticas de manejo de tierras y del cultivo y un acondicionamiento previo de los terrenos a través de nivelaciones en el Alt Penedès, resultan en cambios drásticos en el régimen de humedad del suelo (Pla y col. 2005). Los mayores efectos son sobre la generación de escorrentía y erosión superficial, y en la reducción de la retención de agua de lluvia en el suelo para su utilización por la vid, lo cual resulta en efectos sobre la cantidad y calidad de la producción de uva y vino. En tres años (con total de lluvia cercana, pero por debajo del promedio, y con grandes diferencias en su distribución) de continuo monitoreo a nivel de campo, la producción de uva en la zona no transformada (original) osciló entre 12,5 y 16,4 Mg/ha, mientras que en la zona transformada varió de 5,2 a 7,1 Mg/ha, estando mucho más afectada por las diferencias en la cantidad y distribución de las lluvias (figura 11). La solución de estos problemas requeriría de prácticas adicionales para tratar de contrarrestar dichos efectos, como el uso de cultivos de cobertura o mejora de las condiciones físicas del suelo superficial con enmiendas, generalmente orgánicas. En algunos casos la efectividad de dichas medidas es limitada, al menos a corto plazo.



FIGURA 11. Efectos de la transformación de tierras sobre la erosión superficial y producción en viñas del Alt Penedès, derivados de cambios en el balance hídrico. Fuente: autores.

En cualquier caso se demuestra que un análisis basado en evaluaciones apropiadas, *in situ*, de las características del clima y de las propiedades y procesos hidrológicos, complementados con el uso de modelos sencillos de simulación de los balances hídricos, puede ser muy útil, e incluso indispensable, para una adecuada planificación de un uso y manejo más sostenibles de las tierras para producción de uvas para vino, o para otros usos alternativos (Pla, 2002; Pla *et al.*, 2005). Los estudios e investigaciones aquí reportadas abarcaron diferentes escenarios previstos de cambios de clima y políticas agrícolas que posiblemente estén asociados a cambios futuros en el uso y manejo de las tierras en la región mediterránea.

4.5.4. Referencias bibliográficas

- MAIGRE, D., J. AERNY y F. MURUSIER. 1995. Entretien des sols viticoles et qualité des vins de Chasselas : influence de l'enherbement permanent et de la fumure azotée. *Revue Suisse Vitic. Arboric. Hortic.* 27: 237-251
- NACCI, S. 2001. Alteraciones en el Régimen Hídrico del Suelo Asociadas a la Sistematización y Cambios en el Manejo de Tierras con Viña de Secano en el Anoya-Alt Penedés. Tesis Dr. 141p. Universitat de Lleida. Lleida (España)
- NACCI, S., C. RAMOS y I. PLA. 2002. Dynamics of the soil physical properties in vineyards highly mechanized of the Anoya- Alt Penedes. Region. (Catalunya, Spain). En: *Man and Soil at the Third Millenium.* (J.L.Rubio y col. Ed.). II:1615-1624. Geoforma Ed. Logroño.(España).
- PLA, I. 1997. A soil water balance model for monitoring soil erosion processes and effects on steep lands in the tropics. En: *Soil Erosion Processes on Steep Lands. Special Issue of Soil Technology.* (I. Pla, ed).11(1):17-30. Elsevier. Amsterdam (Holanda)
- PLA, I. 1998. Modeling hydrological processes for guiding soil and water conservation practices. En: A. Rodríguez y col (ed.) *The Soil as a Strategic Resource: Degradation Processes and Conservation Measures.* p. 385-412. Geoforma Ed. Logroño (España)

- PLA, I. 2002. Hydrological approach to soil and water conservation. En: Man and Soil at the Third Millenium. (J.L. Rubio y col, ed.). I: 65-87. Geoforma Ed. Logroño (España).
- PLA, I. y S. NACCI. 2001. Impacts of mechanization on surface erosion and mass movements in vineyards of the Anoia-Alt Penedés. Area (Catalonia, Spain). En: Sustaining the Global Farm. (D.E.Scott y col. ed.).p. 812-816. Purdue Univ.-USDA, ARS. West Lafayette, In.(USA)
- PLA, I. y S. NACCI. 2003. Tradicional compared to new systems for land management in vineyards of Catalonia (Spain). En: Techniques Traditionnelles de GCES en milieu méditerranien. (E. Roose y col. Ed.). Bulletin Reseau Erosion 21:213-223. Montpellier (Francia)
- PLA, I., RAMOS, M.C., NACCI, S., FONSECA, F. y ABREU, X., 2005. Soil-moisture regime in vineyards of Catalunya (Spain) as influenced by climate, soil and land management. p. 41-49. En J. Benitez, y F Pisante (ed.). Integrated Soil and Water Management for Orchard Development. Land and Water Bulletin 10. FAO. Rome. (Italia)
- RUPP, D. y R. FOX. 1999. Optimized water and nitrogen supply by adapted soil management in the Württemberg Vineyard region. Acta Horticultura N° 493: 83-85

5. Casos de contaminación y rehabilitación de suelos

5.1. Investigación y recuperación de suelos y acuíferos contaminados: el caso de Hightex en Òdena

Massimo Marchesi, Jordi Palau, Carme Audí, Neus Otero y Albert Soler¹

(1) Dept. Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès, s/n. 08028 Barcelona.

Resumen

Los disolventes clorados forman parte de los contaminantes orgánicos encontrados con mayor frecuencia en los suelos y en las aguas subterráneas debido, en parte, a su potencial para llegar con facilidad al acuífero y contaminar grandes volúmenes de agua. El propósito de esta visita es presentar las actividades llevadas a cabo para la investigación y recuperación de un emplazamiento contaminado, sito en Òdena (localidad próxima a Igualada, NE de España).

A continuación se describen las características del emplazamiento, así como la naturaleza de su contaminación y alcance. Posteriormente, se presentan los resultados correspondientes a cada una de las siguientes etapas de estudio efectuadas para su investigación:

- a) sistema de muestreo (mediante pozos multinivel) y metodología para caracterizar la contaminación
- b) estudio de la relación suelo-acuífero con el propósito de determinar el papel de la contaminación en la zona no saturada (ZNS) y evaluar si ésta actúa como fuente continua de contaminación en el acuífero
- c) utilidad del análisis isotópico ($\delta^{13}\text{C}$) como trazador del origen de la contaminación, y para una mejor caracterización y cuantificación de los procesos de atenuación natural
- d) potencialidad de la hidrólisis alcalina como tecnología pasiva para el tratamiento de descontaminación de compuestos orgánicos en aguas de lixiviación.

5.1.1. Descripción del emplazamiento contaminado

5.1.1.1. Situación y origen de la contaminación

El emplazamiento piloto de Òdena está situado aproximadamente a 50 km al NO de Barcelona y 4 km al NO de Igualada (NE de España). El suelo y el agua subterránea están contaminados por varios tipos de compuestos orgánicos cuyo origen está relacionado con las actividades de una planta química (Hightex) construida en 1978 y activa hasta 1985. Durante este período la planta producía productos fitosanitarios y multitud de productos para la industria textil.

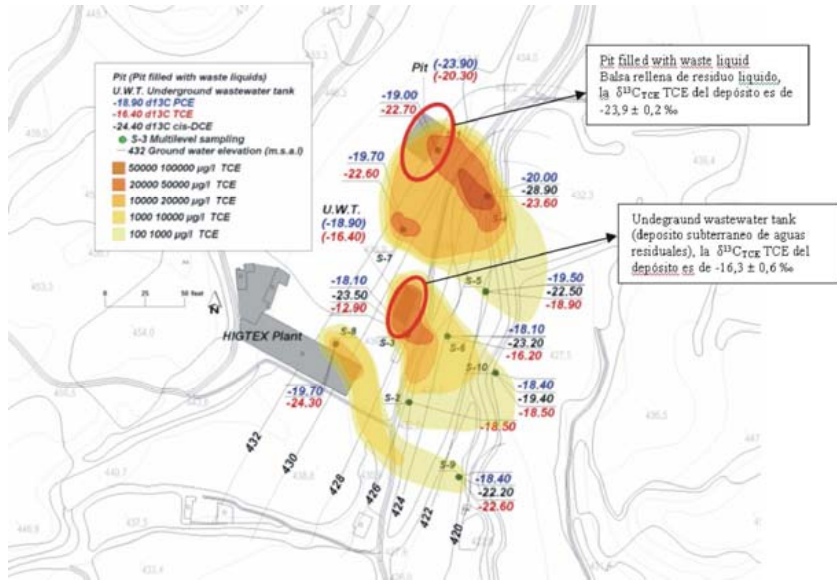


FIGURA 1. Penachos de contaminación por tricloroetileno (TCE) en el acuífero y valores $\delta^{13}C_{TCE}$ (‰) en el acuífero y fuentes de contaminación.

El emplazamiento exhibe una elevada complejidad debido a la presencia de múltiples fuentes de contaminación, entre las que destacan: un depósito subterráneo de agua residual y dos balsas llenas con residuos líquidos (figuras 1 y 2). El depósito subterráneo, con un volumen de 46 m³, tenía su base a 2,9 m de profundidad. Las balsas, excavadas a unos 130 m al NNE de la planta en diferentes momentos, recibían efluentes residuales

líquidos mediante una zanja excavada desde la planta, y, posteriormente, fueron rellenadas con arena y grava del entorno. El volumen estimado de una de ellas es de unos 684 m³. Ni el depósito, ni las balsas disponían de ningún tipo de impermeabilización, lo que ocasionaba infiltración de aguas residuales y contaminantes hacia la ZNS.

5.1.1.2. Geología e hidrogeología.

Para la caracterización del subsuelo, en 2005 se realizaron 10 sondeos con extracción de testigo continuo, S1-S10 (el S-8 se presenta en detalle en la figura 2), y profundidades entre 15 y 18 m (ARC, 2007). En ellos es posible diferenciar dos partes, la inferior, con techo irregular buzando hacia el SE, corresponde al sustrato rocoso formado mayoritariamente por una caliza azul-grisácea alternando con margas y niveles de arenisca del mismo color (figura 3). Este sustrato se encuentra a una profundidad comprendida entre 2,2 y 6,0 m y está cubierto por capas de marga amarilla alterada y arenisca marrón en la base, a la que se superponen depósitos cuaternarios de arena y limo, y a éstos el suelo o materiales antrópicos. La capa de arena limosa se encuentra en los sondeos S7, S5, S9 y S10, siendo su espesor creciente, hasta 3,4 m, al SE del área de estudio. El suelo presenta un espesor de hasta 2 m siendo reemplazado por un relleno antrópico de arena y grava con matriz arcillosa en los sondeos S3 y S7.

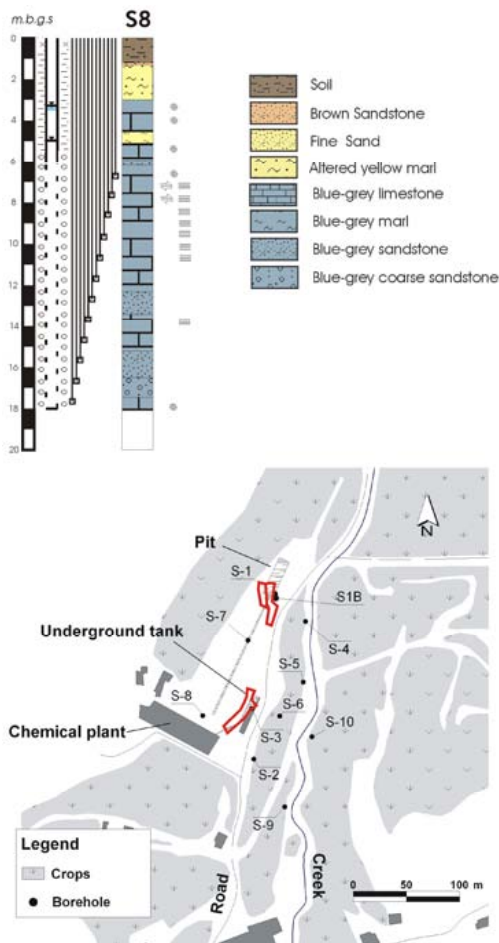


FIGURA 2 Superior: Sondeo multinivel S-8 con detalle de la columna estratigráfica y las profundidades de muestreo. Inferior: Mapa de la zona, las zanjas construidas están señaladas en rojo.

5.1.1.3. Contaminantes

La tabla 1 muestra una recopilación de los resultados indicados en estudios precedentes, realizados por l'Agència de Residus de Catalunya (ARC, 2001 y ARC, 2007), sobre los contaminantes encontrados en mayor concentración en la ZNS. Estos valores proceden de muestras tomadas con anterioridad a las tareas de des-contaminación del suelo llevadas a cabo durante el año 2005 (ARC, 2007). Es preciso destacar que los compuestos orgánicos volátiles clorados (COVs-Cl) solamente se encontraron en el sondeo situado al lado del depósito subterráneo (S3, figura 1).

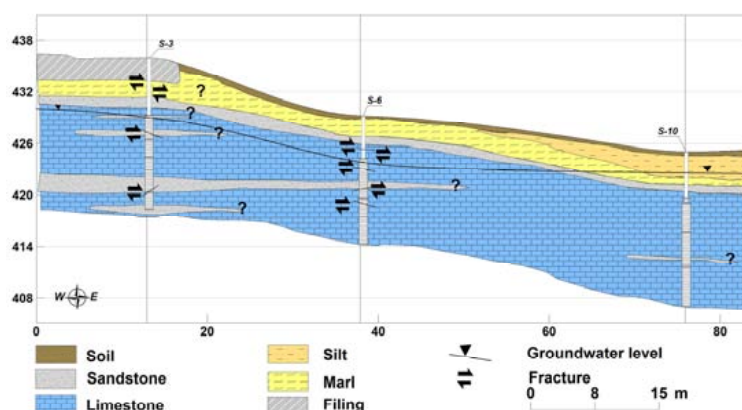


FIGURA 3. Corte hidrogeológico realizado a partir de los sondeos S-3, S-6 y S-10.

TABLA 1. Principales contaminantes orgánicos de la ZNS. Compuestos orgánicos semivolátiles (COSVs) y compuestos orgánicos volátiles (COVs)

COSVs (mg/kg)	ARC, 2001	ARC, 2007
Metoxicloro	880	1600
o,p-Metoxicloro	770	
Tetradifon		880
Molinato		44
COVs (mg/kg)		
Metoxibenceno	45	66
TCE	32	24
CF	15	88
Etilbenceno		66
Tolueno		56
DCM		18
PCE		200
CT		200
1,4-DCB		140
1,2-DCB		43
1,2,4-TCB		170

En las aguas subterráneas se han podido identificar diferentes contaminantes:

- COVs-Cl: percloroetileno (PCE), tricloroetileno (TCE), dicloroetileno (cis-DCE) y cloruro de vinilo, compuestos halogenados del metano y otros compuestos detectados en concentraciones inferiores;
- COVs no halogenados: metoxibenceno, tolueno, etilbenceno, y m-, o-, y p-xileno;
- COSVs: pesticidas y herbicidas: molinato y metoxicloro.

Los compuestos orgánicos volátiles (contaminantes principales), especialmente los halogenados, llegan a presentar concentraciones de hasta 50 mg/l, mientras que los otros compuestos (contaminantes secundarios) se hallan casi todos en concentraciones por debajo de 1 mg/l (Palau *et al.*, 2007a).

5.1.2. Metodología

5.1.2.1. Muestreo

Las muestras de agua del acuífero se tomaron mediante un sistema de toma multinivel (figura 4) que se instaló en la misma red de puntos donde se colocaron los pozos de control ambiental. A diferencia de los pozos, cuyas muestras corresponden a una mezcla del agua que fluye a distintas profundidades debido a que su rejilla tiene entre 10 y 12 m de longitud, las muestras tomadas con el dispositivo multinivel pretenden ser representativas del agua que fluye a una determinada profundidad. El propósito de este muestreo discreto era observar la distribución vertical del contaminante en el acuífero. Para ello, cada punto de toma de muestra multinivel constaba de una serie de tubos de Teflon® de pequeño diámetro (5 mm Ø externo) y de longitud variable en función de la profundidad de muestreo. Se han utilizado diferentes configuraciones de espaciado vertical (0,5 m, 1,0 m y 2,0 m) dependiendo de la distancia del punto al foco de contaminación, permitiendo obtener hasta 25 muestras en los puntos más alejados (Palau, 2008).



FIGURA 4. Toma de muestras y determinaciones *in situ* de algunos parámetros geoquímicos.

El volumen de muestra extraído se minimizó al máximo para evitar interferencias entre los diferentes tubos. El purgado de los tubos se realizó con jeringas estériles de 60 ml. Una vez purgado el tubo y previamente a la toma de muestra, se determinaron en campo: pH, Eh, y oxígeno disuelto (mediante oxímetro), utilizando una celda de flujo diseñada para pequeños volúmenes de muestra. Acoplado un filtro Milipore® de 0,45µm a la jeringa se extrajo el volumen de agua necesario para determinar cada uno de los siguientes parámetros:

- 20 ml, medición, en campo, del oxígeno disuelto (DO), mediante un espectrofotómetro portátil.
- 30 ml, determinación, en laboratorio, del carbono orgánico disuelto (DOC).
- 125 ml, determinación de cationes y aniones mayoritarios.

Finalmente, sin el filtro, se recogieron 125 ml y se trasvasaron a una botella de vidrio ámbar para la determinación, en el laboratorio, de la concentración y la composición isotópica de los compuestos orgánicos disueltos. Las muestras se mantuvieron refrigeradas a 4°C para su transporte al laboratorio.

En las muestras de agua, el análisis de la concentración de COVs se realizó por cromatografía de gases-masas (GC-MS). Para el análisis isotópico del carbono de algunos contaminantes (PCE, TCE y cis-DCE) se utilizó un cromatógrafo de gases acoplado, en flujo continuo, a un espectrómetro de masas de relación isotópica (GC-IRMS), que permite conocer la composición isotópica de cada compuesto presente en la muestra (Palau, 2007b). El resultado del análisis isotópico se expresa mediante la notación $\delta^{13}\text{C}$ (‰), definida como $\delta^{13}\text{C} =$

$((R_s/R_r)-1) \times 1000$, donde R_s y R_r son los ratios $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ de la muestra y el patrón internacional, respectivamente. Para el carbono, el patrón utilizado es el Vienna PeeDee Belemnite (VPDB). Ambos análisis se realizaron en los *Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona*.

5.1.2.2. Aplicaciones de los isótopos

La fuerza de enlace covalente de un determinado elemento es función de su masa, por este motivo la velocidad de reacción para las moléculas que contienen los isótopos más ligeros es ligeramente mayor que la de las moléculas que contienen los isótopos más pesados. Así, el producto de las reacciones tiende a enriquecerse en isótopos ligeros, mientras que los reactantes se enriquecen en los isótopos más pesados. Esta diferencia da lugar a efectos cinéticos isotópicos significativos (fraccionamiento isotópico) que permiten identificar el tipo de proceso, e incluso cuantificarlo (Clark *et al.*, 1997).

En la figura 5 se observa como durante los procesos de biodegradación, el fraccionamiento asociado a la degradación del compuesto da lugar a que los valores de $\delta^{13}\text{C}$ del compuesto degradado sean cada vez más enriquecidos (Meckenstock *et al.*, 2004). La composición isotópica de los contaminantes estudiados no se modifica por procesos de dilución, sorción, ni transporte; solamente variará por reacciones de degradación (por ejemplo, biodegradación), por ello aplicando la ecuación derivada (1) de la ecuación de destilación de Rayleigh (Clark y Fritz, 1997), se puede determinar el porcentaje de compuesto biodegradado (B):

$$B = 100 \times [1 - (\delta^{13}\text{C}_t + 1000) / (\delta^{13}\text{C}_0 + 1000)^{1000/\epsilon}] \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde ϵ es el factor de enriquecimiento (fraccionamiento isotópico), $\delta^{13}\text{C}_t$ la composición isotópica en el tiempo t y $\delta^{13}\text{C}_0$ la composición isotópica inicial (figura 5).

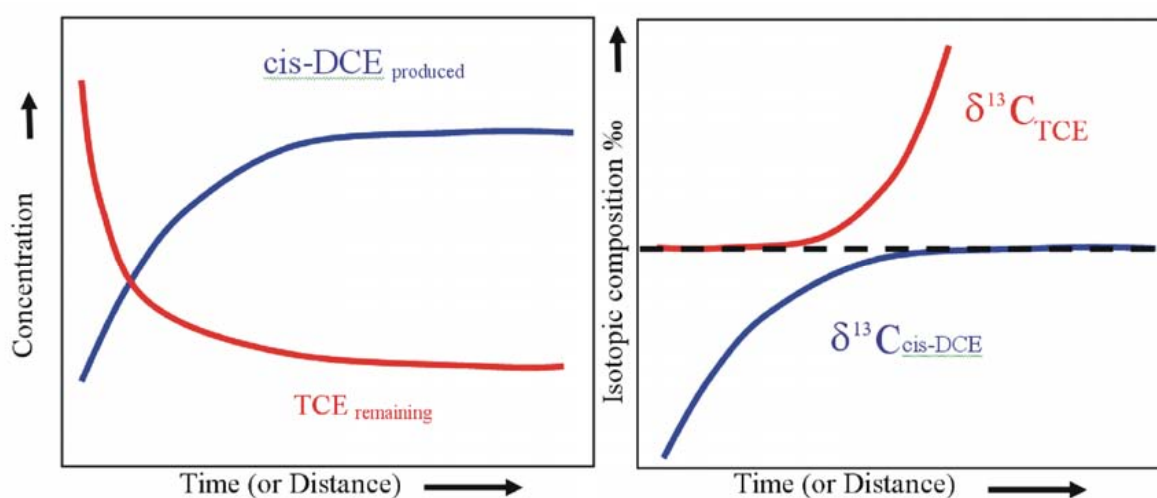


FIGURA 5. Variación de concentración y composición isotópica del TCE y de su producto de degradación, cis-DCE).

La geoquímica isotópica tiene además otras aplicaciones. Así, permite diferenciar compuestos químicos idénticos en cuanto a su formulación, pero que isotópicamente no tienen porque ser iguales. Por ello, a menudo se utiliza para determinar el origen de la contaminación y por tanto la responsabilidad en problemas ambientales.

5.1.3. Caracterización de la contaminación

5.1.3.1. Distribución vertical de COVs en la ZNS y COVs-Cl en el acuífero

La figura 6, muestra el resultado de las mediciones de COVs totales en los testigos de sondeo (ARC, 2007) junto con la concentración de COVs-Cl (sumatorio de PCE, TCE, 1,2-cis-DCE, CT, CF y DCM) en el acuífero. Los disolventes clorados son los contaminantes mayoritarios encontrados en el acuífero. Debido al valor del coeficiente de partición agua / carbono orgánico (K_{oc}) de los COVs-Cl estudiados, 439 y 9 ml/g para el CT y el DCM respectivamente (Pankow y Cherry, 1996), en episodios de lluvia, una cantidad significativa de contaminante puede ser desorbida y transportada al acuífero por el agua de infiltración. Los puntos de muestreo situados en la zona de la balsa y de los depósitos S1 y S3, exhibieron concentraciones de COVs en la ZNS muy superiores a las de los COVs-Cl del acuífero, en comparación con aquellos puntos situados inmediatamente aguas abajo, S4 y S6 (figuras 6 y 1).

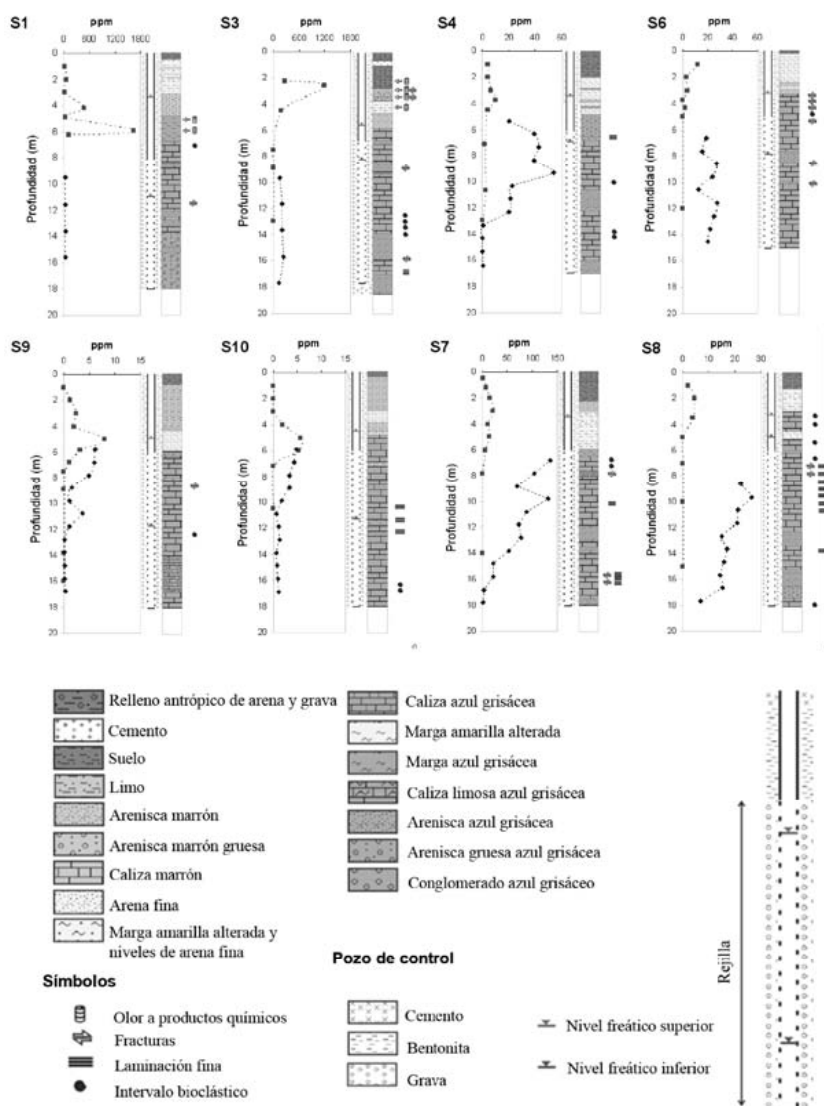


FIGURA 6. Perfiles de los COVs (■) y COVs-Cl (♦) junto con las columnas litoestratigráficas y la variación del nivel freático. Nota: En la leyenda, los materiales de la izquierda corresponden a los de la parte superior y los de la derecha a los estratos inferiores.

La elevada concentración de COVs total en S1 y S3 (> 1000 ppm en algunas muestras) sugiere que en episodios de lluvia, alrededor de estos puntos, puede producirse una entrada de contaminantes al acuífero. Este hecho viene corroborado por la elevada concentración de COVs-Cl en las partes del acuífero donde se sitúan los sondeos S1 (> 10 mg/l de TCE) y S3 (> 20 mg/l de TCE). Los perfiles verticales de concentración de COVs-Cl en el acuífero muestran que los valores más altos se obtuvieron en la parte superior, indicando que el contaminante puede haber emanado desde la ZNS. Contrariamente a S1 y S3, en los puntos S4 y S6 la concentración de COVs-Cl en el acuífero fue superior a la concentración de COVs de

la ZNS. Según esta interpretación, los COVs medidos en los testigos de sondeo probablemente provienen del agua subterránea. Este origen es consistente con el hecho que las mayores concentraciones de COVs se midieron en los testigos situados por debajo del nivel freático (figura 6).

Los perfiles verticales de concentración de contaminante en la ZNS y el acuífero han permitido entender mejor el efecto de la contaminación en la ZNS sobre el acuífero en diferentes partes del emplazamiento. Se han observado algunas áreas donde la ZNS actúa como fuente contaminante en comparación a otras donde la contaminación proviene principalmente del transporte a través del acuífero. Los datos isotópicos han permitido relacionar la contaminación en el acuífero con las distintas fuentes y determinar aproximadamente su alcance, mostrando ser una herramienta muy efectiva en emplazamientos con acuíferos fracturados y varios focos de contaminación.

5.1.3.2. Relación entre fuentes y contaminante presente en el acuífero. Aplicación de la composición isotópica del TCE

Para la caracterización isotópica de las fuentes, se tomaron muestras de agua residual del depósito subterráneo, previamente a su eliminación en 2005, y de una fractura que se interceptó en la zona de las balsas a 5,8 m de profundidad. El agua que fluía por la fractura se interpretó como agua de infiltración superficial, dado que en ese momento ésta se encontraba por encima del nivel freático (figuras 1 y 7). En ese caso, la muestra de agua de la fractura representaría el contaminante lixiviado de la ZNS. La $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ del depósito se midió en tres ocasiones (entre octubre del 2002 y septiembre del 2004), no encontrando variaciones significativas. El valor promedio para el TCE del depósito es de $-16,3 \pm 0,6 \text{ ‰}$ mientras que el valor encontrado en la muestra de la fractura es de $-23,9 \pm 0,2 \text{ ‰}$. Esta diferencia entre ambas fuentes nos permite determinar su origen en el acuífero. Así, en la figura 1 se observa que los valores $\delta^{13}\text{C}_{\text{TCE}}$ determinados en los puntos S3, S6 y S10 se asemejan al valor obtenido en el depósito y que los valores de los puntos S1 y S4 son similares a los de la muestra procedente de la fractura.

5.1.4. Atenuación natural monitorizada

5.1.4.1. Condiciones redox

En el foco de contaminación situado en el piezómetro S-3 (corte S-3, S-6 y S-10, ver figuras 7 y 1), la disminución de las concentraciones de nitratos, sulfatos y oxígeno disuelto (DO), va acompañada por un aumento del carbono inorgánico disuelto (básicamente HCO_3^-), ello indica que se dan condiciones favorables para la existencia de procesos de biodegradación reductiva.

Al contrario, en el piezómetro S-6, la presencia de nitratos (y de sulfatos en concentraciones muy elevadas) excluye su existencia, aunque los valores del carbono orgánico disuelto (DOC) y HCO_3^- parecen indicar la presencia de actividad bacteriana. Finalmente, en el piezómetro S-10 las condiciones geoquímicas no indican

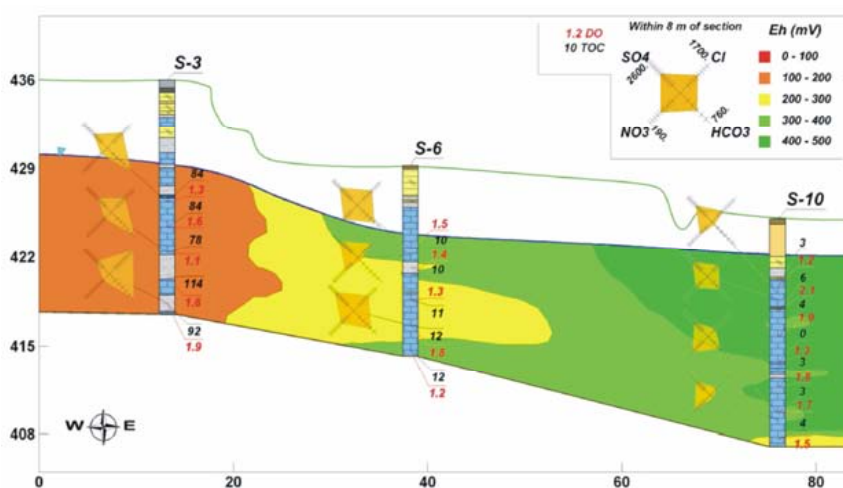


FIGURA 7. Parámetros geoquímicos: Eh, DO (mg/l), DOC (mg/l), HCO_3^- (mg/l), SO_4^{2-} ($\mu\text{g/l}$), NO_3^- ($\mu\text{g/l}$), Cl ($\mu\text{g/l}$) en el corte: S-3, S-6, S-10).

ningún tipo de actividad bacteriana (figura 7). Las concentraciones elevadas de cis-DCE encontradas en la zona próxima a los piezómetros S-3 (hasta 12 mg/l) y S-6 podrían ser debidas también a la existencia de procesos de biodegradación, mientras que en el piezómetro S-10 podrían ser debidas solo a procesos de transporte. La caracterización de las variables

geoquímicas de los distintos piezómetros, ha permitido poner de manifiesto que las zonas más favorables para la existencia de biodegradación son las más cercanas a los focos contaminación (próximas al piezómetro S-3, por ejemplo).

5.1.4.2. Cuantificación de los procesos de biodegradación a partir de la composición isotópica

Quando tienen lugar procesos de biodegradación, el fraccionamiento asociado a la degradación de un compuesto da lugar a que los valores $\delta^{13}C$ del compuesto degradado estén cada vez más enriquecidos en el isótopo pesado (Meckenstock *et al.*, 2004). En este emplazamiento, se determinó la $\delta^{13}C$ del TCE ($\delta^{13}C_{TCE}$) en aquellas zonas que presentaban condiciones favorables a la existencia de procesos de biodegradación. Con estos análisis se pretendía confirmar la existencia de dichos procesos en la zona de estudio, especialmente aguas abajo de las zonas donde se detectaron concentraciones elevadas de productos de degradación (cis-DCE), dado que su presencia a lo largo de la pluma de contaminación podría deberse únicamente a procesos de transporte.

En la pluma de contaminación S-3, S-6 y S-10 (figura 8), la $\delta^{13}C$ del TCE presenta valores más elevados con respecto a la fuente. En la zona más profunda del piezómetro S-3, el valor de la $\delta^{13}C_{TCE}$ (-9,1 ‰) comparado con el de la fuente (-16,3 ‰) resulta ser muy superior. En el piezómetro S-8 (figura 8), el valor de $\delta^{13}C_{TCE}$ (-23,9 ‰) es todavía muy parecido al valor de la fuente (-23,9 ‰) indicando ausencia de procesos de degradación bacteriana (o que en caso de producirse, serían poco relevantes). Aguas abajo, en el piezómetro S-9 (figura 1), donde las condiciones geoquímicas son favorables (en profundidad) el valor de $\delta^{13}C_{TCE}$ (-21,8 ‰) confirma que se están dando procesos favorables a su biodegradación. Finalmente, los valores de $\delta^{13}C_{TCE}$ en las zonas más profundas del S-1 (-22,8 ‰) y del S-4 (-22,4 ‰), se mantienen muy parecidos a la composición inicial de la fuente (-23,9‰). Se explica de esta manera, porque la concentración de cis-DCE es más baja de lo esperado, ya que probablemente los procesos de biodegradación están afectando a otros compuestos distintos del TCE (Palau *et al.*, 2009).

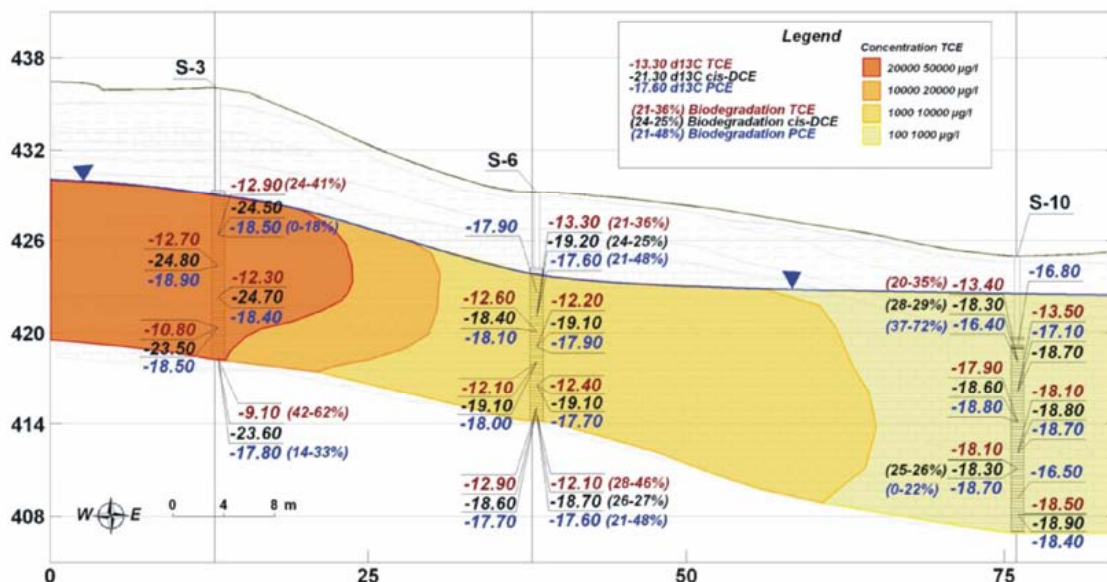


FIGURA 8. $\delta^{13}C$ (en ‰) de PCE, TCE y cis-DCE y porcentajes de biodegradación (Ec. 1) en el corte S-3, S-6, S-10).

Para estimar la cantidad de compuesto biodegradado en la pluma de contaminación S-3, S-6, S-10 (figura 8) se ha aplicado la ecuación de Rayleigh, (ecuación 1), utilizando valores bibliográficos para los coeficientes de enriquecimiento. En el caso del TCE se ha utilizado un valor mínimo de -7,1 ‰ y uno máximo de -18,2 ‰ (Meckenstock *et al.*, 2004). Asimismo, el valor de la composición isotópica inicial utilizado ha sido el correspondiente a la fuente ($\delta^{13}C$ de -

16,3 ‰). Los porcentajes de biodegradación obtenidos oscilan entre unos valores mínimos de 20 – 35% (en los sondeos S-6 y S-10) hasta valores de 42 - 62% (en la zona más profunda del piezómetro S-3).

5.1.5. Remediación: barreras de intersección de la recarga

5.1.5.1. Zanjas de intercepción

Con el objetivo de elaborar un buen modelo conceptual de la ZNS del emplazamiento de Òdena, se realizaron 3 zanjas de gran profundidad que permitirían estudiar la ubicación de los contaminantes en el suelo. La primera se situó encima de la antigua zona de vertido, con unas dimensiones de 14 m de largo, 2,5 m de ancho y entre 6,5 - 7 m de profundidad. Una fractura que se había identificado en el sondeo S-1 se interceptó en la zanja a 5,8 m respecto el nivel topográfico, presentando relleno de materiales finos (limos y arcillas) de color ocre con un elevado grado de contaminación (>3000 ppm de COVs). La segunda zanja se realizó a unos 20 m aguas arriba de la primera, en esta no se observaron indicios de contaminación, ni en el suelo ni en las aguas, así que se rellenó con los materiales excavados. La última zanja se realizó directamente encima de la cisterna subterránea y se prolongó siguiendo el trazado de la tubería del antiguo sistema de alcantarillado, con unas dimensiones finales de 28 m de largo, 2,5 m de ancho y entre 6,5 y 7 m de profundidad (ARC, 2007). En ésta se puso de manifiesto la existencia de volúmenes importantes de suelo contaminado por pérdidas de la red. Estos materiales contaminados fueron extraídos, enviados para su tratamiento y depositados en vertedero.

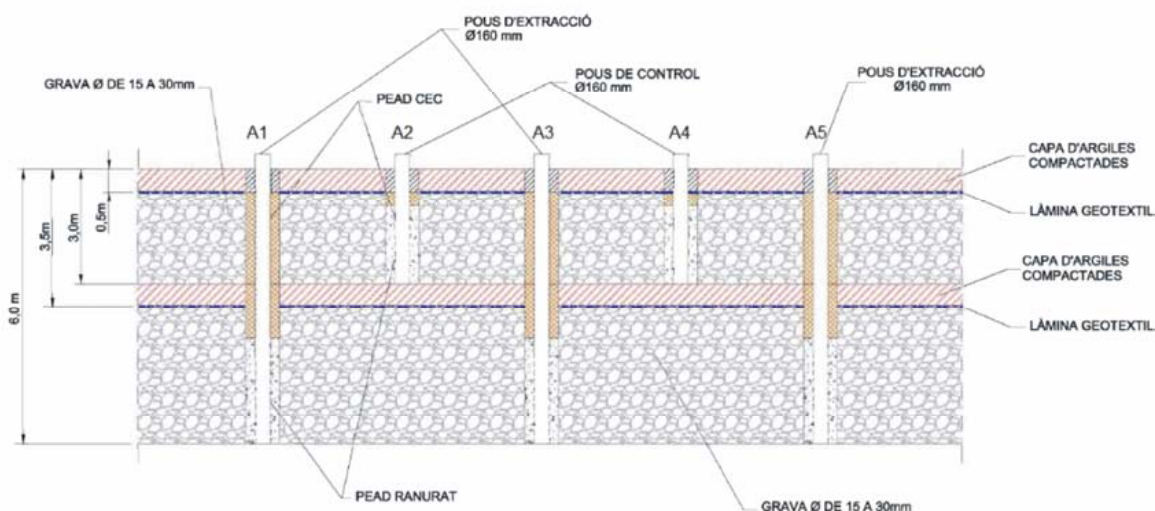


Figura 9. Esquema del acondicionamiento de las zanjas de gran profundidad (ARC, 2007).

Con el fin de interceptar las aguas de recarga con altas concentraciones de contaminantes orgánicos, las dos zanjas de intercepción se rellenaron con escombros urbanos inertes procedentes de la construcción (figura 9), constituidos principalmente por cemento Pórtland, fragmentos de cerámicas de construcción, yeso y áridos diversos. La composición mineralógica del cemento, suele estar representada principalmente por portlandita ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), entre otras fases como alita, belita, langbeinita, aphtitalita. La portlandita es un hidróxido alcalino que en contacto con agua se disuelve y el equilibrio portlandita – agua comporta la basificación de la solución. Por este motivo el agua recogida en las zanjas tiene pH alcalino, de 12, valor muy superior al valor en condiciones naturales de las aguas subterráneas de la zona, las cuales presentan un pH promedio de 7,6. Como las zanjas no están impermeabilizadas en su base, ni en los laterales es de esperar que parte de las aguas de las zanjas se reintroduzcan en el acuífero.

5.1.5.2. Experimentos de hidrólisis alcalina

El estudio y experimentación por parte del grupo de Mineralogía Aplicada y Medio Ambiente, del *Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona*, con diversos tratamientos de oxidación química avanzada sobre aguas contaminadas y la consiguiente observación del efecto provocado por la aplicación de pH alcalino como activador de la oxidación por persulfato de, concretamente, tricloroetano (TCA), condujo al estudio en profundidad de la hidrólisis alcalina, en particular, la inducida por materiales de escombros urbanos inertes constituidos en su mayoría por portlandita.

Se estudió, mediante experimentos en *batch*, el efecto de reducción de la concentración de cloroformo (CF), PCE, TCE, tolueno, TCA y cis-DCE asociado a la hidrólisis alcalina producida a partir de hormigón triturado, cemento en polvo e hidróxido de calcio. El hormigón triturado pretendía simular el efecto de los escombros urbanos inertes; el cemento en polvo y el hidróxido de calcio pretendían obtener resultados únicamente debidos a la hidrólisis alcalina, sin los posibles efectos de adsorción a las partículas sólidas que se podrían producir en el caso del hormigón. Los resultados obtenidos (tabla 2) indican que el hormigón es responsable de la máxima reducción de contaminantes, evidenciando procesos de adsorción que se sumarían a los efectos reales de degradación. La contribución de la degradación a la reducción de la concentración, se observa en los resultados obtenidos por basificación con hidróxido de calcio o con cemento.

TABLA 2. Reducción de CF, TCE, PCE, tolueno, TCA y cis-DCE en el estudio de hidrólisis alcalina con hormigón, cemento e hidróxido de calcio.

Material	Compuesto	% Reducción en 28 días	pH a los 28 días
Hormigón (sólido triturado)	CF	95	12.6
	TCE	75	
	PCE	90	
	Tolueno	75	
	TCA	70	
	cis-DCE	64	
Cemento (polvo)	CF	78	12.4
	TCE	40	
	PCE	58	
	Tolueno	46	
	TCA	34	
	cis-DCE	31	
Medio basificado con CaOH	CF	85	12.5
	TCE	51	
	PCE	68	
	Tolueno	47	
	TCA	52	
	cis-DCE	32	

En el siguiente estudio se aplicó el análisis de los isótopos del carbono ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) como método para distinguir el efecto real de la degradación potencial producida por hidrólisis alcalina, respecto a otros posibles efectos no degradativos como adsorción en la fase sólida de los escombros o volatilización. La determinación de la composición isotópica debería permitir determinar la eficacia real del proceso de degradación a nivel de campo. En primer lugar se realizaron experimentos en *batch*, que permitieron la obtención de los valores de composición isotópica del CF en contacto con la portlandita a lo largo del tiempo, lo que permitiría conocer la presencia o ausencia de degradación. Mediante los resultados isotópicos también se pretendió obtener el factor de enriquecimiento isotópico, necesario para posteriormente hacer un seguimiento del mismo proceso en el campo, y poder determinar así su eficacia.

Posteriormente se realizó un estudio de la evolución temporal de la concentración y composición isotópica del CF en las zanjas de recuperación de las aguas de lixiviación, en las cuales, como ya se ha indicado, se habían vertido escombros urbanos de portlandita.

Tal como se observa en la figura 10, los resultados obtenidos en los experimentos de laboratorio muestran una reducción de la concentración de CF con el tiempo, llegando a desaparecer a los 21 días. Esta reducción es probablemente debida, en gran medida, a un efecto de degradación causado por la portlandita, el cual se hace evidente debido al considerable enriquecimiento en ^{13}C que se produce (189‰) a lo largo del experimento. Con los resultados obtenidos y a partir de la ecuación de Rayleigh se obtuvo un factor de enriquecimiento isotópico de -42,8‰.

De los resultados obtenidos del seguimiento de la zanja, se puede concluir, por un lado, que a lo largo del tiempo se produce una variación significativa de la concentración de CF que puede ser ocasionada por la lluvia, a veces causante de posibles diluciones y a veces del arrastre del contaminante retenido en el suelo hacia la zanja. Por otro lado, los resultados de la composición isotópica a lo largo del tiempo muestran que se ha producido un enriquecimiento de 10,9‰. Esta tendencia indica que independientemente de otros factores implicados se está produciendo una degradación del CF en la zanja, probablemente debido al elevado pH (12) inducido por la portlandita.

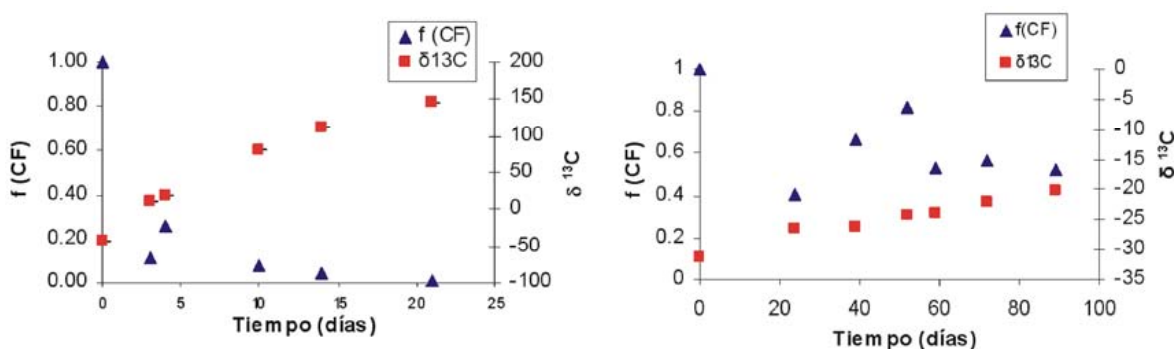


Figura 10. Resultados del experimento en batch (izquierda) y de campo, en la zanja (derecha): fracción remanente (▲) y composición isotópica $\delta^{13}\text{C}$ (■) del cloroformo a lo largo del tiempo.

Los resultados de este estudio indican que la hidrólisis alcalina producida por incorporación de portlandita puede ser un método eficaz para la degradación del CF y, además, que el análisis isotópico del ^{13}C permite discernir los efectos asociados a la degradación de otros procesos (adsorción o volatilización). Con el valor del coeficiente de enriquecimiento obtenido previamente en el laboratorio se puede cuantificar este proceso directamente en el campo.

5.1.6. Referencias bibliográficas

- ARC (2001). Investigació subsòl de l'antiga planta HIGHTEX S.A., Òdena. Agència de Residus de Catalunya. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.
- ARC (2007). Tasques de mostreig i gestió de sòls contaminats a les instal·lacions de l'antiga HIGHTEX al terme municipal Òdena. Agència de Residus de Catalunya. Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya.
- CLARK, I.D., AND FRITZ, P. (1997): *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. Lewis, Boca Raton, Florida, 55-57.
- MECKENSTOCK, R.U., MORASH, B., GRIEBLER, C. AND RICHNOW, H.H. (2004). Stable isotope fractionation analysis as a toll to monitor biodegradation in contaminated aquifers. *Journal of contaminated aquifers*, 75, 215-255.
- PALAU, J., MARCHESI, M., SOLER A., ARAVENA R., QUERALT, P., MARCUELLO A. (2007a). Site characterization of a fractured bedrock aquifer contaminated with dense non aqueous phase liquids in Catalonia, Spain. *Water Pollution in natural Porous media at different scales. Assessment of fate, impact and indicators. Wapó*, 211-219.

- PALAU, J., SOLER, A., TEIXIDOR, P., ARAVENA, R. (2007b). Compound-specific carbon isotope analysis of volatile organic compounds in water using solid-phase microextraction. *J. Chromatogr. A*, 1163, 260-268.
- PALAU, J., MARCHESI, M., OTERO N., CANALS A., SOLER A. (2009) Estudio de la relación suelo-acuífero en un emplazamiento contaminado por disolventes clorados. Estudios en la Zona No Saturada del Suelo. Vol IX. Eds.: Silva, O. y Carrera, J. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 546-553.
- PALAU, J. (2008). Aplicación de la composición del carbono de compuestos orgánicos volátiles en acuíferos contaminados por disolventes clorados. Tesis doctoral. Directores: Soler, A. y Canals, A. Universitat de Barcelona. Facultat de Geologia. Dept. de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, 232pp.
- PANKOW, J.F Y CHERRY, J.A. (1996). Dense chlorinated solvents and other DNAPLs in groundwater. 1st ed. Portland, Oregon. Waterloo Press.

5.2. Rehabilitación de suelos en canteras de caliza: el caso de La Falconera (Garraf)

Josep M. Alcañiz^{1,2}, Vicenç Carabassa¹, Oriol Ortiz^{1,2} y Esteve Serra³

(1) Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals (CREAF), Edifici C, Campus UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, España.

(2) Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), Dpto. Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Facultat de Biociències, Campus UAB, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), Barcelona, España.

(3) Àrea d'Avaluació i Restauració d'Activitats Extractives, Generalitat de Catalunya, 08029 Barcelona, España.

Resumen

Las zonas denudadas por actividades mineras en Cataluña ocupan unas 6.300 ha que corresponden a áreas en explotación, ocupadas por instalaciones o pendientes de restauración. Predominan las canteras de calizas y las extracciones de gravas siendo las primeras las de mayor dificultad de restauración. Las principales etapas de la restauración de estas canteras comprenden la adecuación geomorfológica de la zona afectada, el establecimiento de una red de drenaje para el control de la escorrentía, la reposición del suelo y la revegetación. Aunque existen diversas opciones para la recuperación de la cubierta edáfica, el empleo de tierras importadas y de materiales residuales del proceso de extracción, mejorados con enmiendas orgánicas, es el procedimiento más frecuente. Las enmiendas orgánicas más empleadas son composts de distinto origen y lodos de depuradora urbana.

En la cantera de La Falconera se ha restaurado una parte de las zonas explotadas mediante el relleno del hueco con estériles mineros y la reposición de suelo a base de tierras importadas, siguiendo un modelo talud-berma que garantiza la estabilidad geotécnica de la zona. La revegetación ha consistido en siembras y plantaciones de una variedad notable de especies, tratando de favorecer la implantación de las autóctonas. Se describen las características morfológicas y analíticas de un tecnosol formado por la mezcla de tierras importadas y estériles mineros y se compara con otro preparado a base de tierras importadas fertilizadas con lodos de depuradora. Se discuten las ventajas e inconvenientes de estos dos tipos de suelos rehabilitados.

5.2.1. La restauración de las actividades extractivas en Cataluña

Cataluña presenta una notable diversidad de sustratos litológicos que han sido explotados históricamente en mayor o menor medida. Así, encontramos desde materiales magmáticos (granitos, basaltos, pórfidos) y metamórficos (pizarras y mármoles), hasta sedimentarios que son los que se explotan en mayor medida. La mayor parte de estos últimos corresponden a rocas carbonatadas (calizas, dolomías, creta), seguidos de gravas y arenas aluviales y, en menor medida, arcillas y yesos (figura 1). Estos recursos minerales son explotados por un elevado número de actividades extractivas distribuidas por toda la geografía catalana, principalmente siguiendo las grandes vías de comunicación y a lo largo de la costa (figura 2). La explotación de calizas es muy abundante en la zona del Macizo de Garraf (Cordillera Litoral) donde se localiza, entre muchas otras, la cantera La Falconera. Las extracciones de gravas y arenas son bastante abundantes en Cataluña y sus yacimientos muy explotados desde hace años. Por el contrario, no se encuentran demasiados yacimientos de arcillas puras, la mayor parte consisten en margas arcillosas, que se concentran en la Depresión Prelitoral. Tienen también interés económico algunas explotaciones de yeso. Por su parte, el granito se explota en algunos afloramientos muy localizados del Pirineo y la Serralada Litoral y Prelitoral.

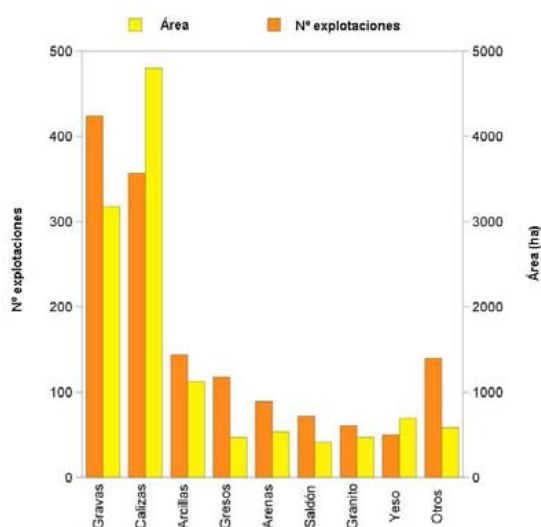


FIGURA 1. Número de actividades mineras y área de afección autorizada en función del recurso explotado, para las actividades extractivas catalanas en activo. Fuente: elaboración propia a partir de datos del EXTCATA 2010.

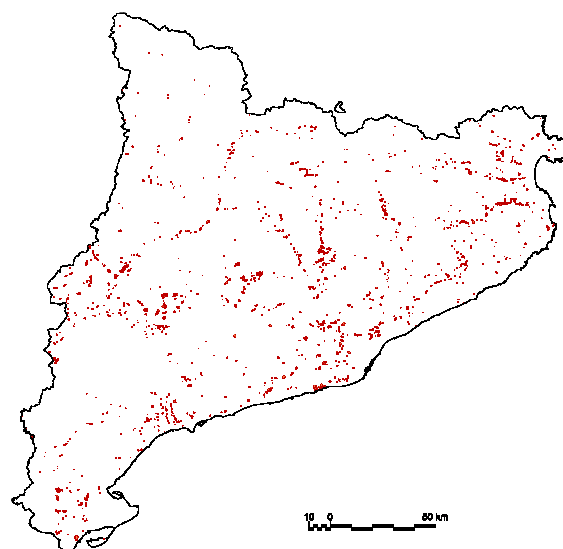


FIGURA 2. Mapa que muestra la distribución de las actividades extractivas en Catalunya (EXTCATA, diciembre de 2010). Fuente: Generalitat de Catalunya, Área de evaluación y restauración de actividades extractivas.

Según datos de la Generalitat de Catalunya, en el año 2010 existían unas 3.500 concesiones de actividad minera explotadas por más de mil empresas. Dentro de este cómputo global se contabilizan actividades extractivas situadas fuera del dominio público hidráulico (2.163), actividades que explotan dentro de éste (523) y también las actividades extractivas abandonadas. Dentro del conjunto de actividades en activo se pueden diferenciar aquellas que tienen una duración de pocos años, vinculadas normalmente a grandes obras públicas, de aquellas de gran magnitud cuya explotación se prolonga varias décadas y que tienen el objetivo de suministrar materia prima para la fabricación de cemento, áridos de trituración o piedra decorativa.

Las actividades mineras nos permiten satisfacer las necesidades de recursos minerales, áridos para la construcción y otras materias primas imprescindibles para la vida cotidiana y el progreso de nuestra sociedad. La producción de cemento en Cataluña el año 2009 fue de 584 kg per cápita (IDESCAT, 2011) y el consumo de áridos de unas 4 toneladas per cápita (*Gremi d'Àrids de Catalunya*, 2010), habiendo sufrido una fuerte recesión estos tres últimos años. Por otro lado, el proceso extractivo conlleva toda una serie de afecciones al medio ambiente que se manifiestan en forma de diversos impactos ambientales desde el comienzo de la explotación, y que se deben corregir de acuerdo con las normativas vigentes. En este contexto, la minimización de impactos y la recuperación de las zonas afectadas por minería es una obligación que asumen las empresas explotadoras como una condición más de su proceso productivo y que la Administración debe controlar.

La restauración de los espacios afectados por actividades extractivas en Cataluña está regulada por la Ley del *Parlament de Catalunya* 12/1981, de 24 de Diciembre, y el correspondiente decreto de desarrollo (Decreto 343/1983, de 15 de Julio). Según esta normativa, las actividades extractivas deben tener un Programa de Restauración aceptado por la administración ambiental competente, en el que se determinen las actuaciones que se han de llevar a cabo para conseguir que los terrenos afectados sean objeto de un adecuado tratamiento de restauración y acondicionamiento mientras duren los trabajos de extracción y, sobre todo, al finalizar el aprovechamiento del recurso minero. Para contrarrestar los impactos

y efectos negativos sobre el medio, el Programa de Restauración de cada actividad recoge las acciones a aplicar sobre las áreas de extracción y de procesado del recurso minero.

Las empresas extractivas están obligadas a depositar fianzas con objeto de garantizar la restauración de las zonas afectadas por la actividad minera. En el caso de incumplimiento de las medidas fijadas en el programa de restauración, dichas fianzas pueden ser utilizadas por la administración competente para garantizar la ejecución de las medidas de restauración pertinentes. La fianza se fija en función de la superficie afectada, el coste global de la restauración y de otros parámetros como el tipo de relleno morfológico, el tipo de cubierta vegetal, las obras auxiliares, etc. Cuando una actividad ha finalizado las labores de restauración puede solicitar el retorno de las fianzas una vez transcurrido el período de garantía. Este período debe permitir la evaluación de la eficacia de las medidas adoptadas, así como sus resultados. En la misma autorización para la explotación se fija el plazo del período de garantía, que oscila entre 5 y 3 años en función de si la actividad se ubica en un espacio de interés natural o no, y que se inicia en el momento en que el titular del derecho minero comunica la finalización de las labores de restauración. El titular mantiene su responsabilidad sobre la zona restaurada hasta que la administración emite informe favorable, una vez transcurrido el período de garantía. En el año 2010 había 254 actividades extractivas en Cataluña que se encontraban en período de garantía, lo que corresponde a un 12% del total de actividades situadas fuera del dominio público hidráulico.

A partir del año 1988 se empezó a implantar en los programas de restauración el criterio de planificación de la restauración de forma integrada al proceso de explotación, como un mecanismo para minimizar los impactos de aquellas actividades que realizaban labores de extracción minera durante muchos años. La restauración integrada se basa en el principio de la minería de transferencia, procurando aprovechar los movimientos de tierra que genera el proceso de explotación para restaurar zonas ya agotadas. Se trata de un mecanismo muy eficiente, ya que permite acelerar el proceso de restauración a la vez que optimiza los costes de las actividades, asegurando su viabilidad y ejecución. Además, consigue reducir las superficies denudadas y refuerza la vinculación entre explotación y restauración. Por otro lado, además de la optimización de los costes de restauración, también supone una reducción de los costes vinculados a las fianzas, ya que las empresas que realizan este tipo de restauración pueden solicitar la devolución por etapas de las fianzas correspondientes a las zonas restauradas. En el año 2010 había en Cataluña un total de 313 actividades extractivas que se encontraban en régimen de restauración integrada, la mayoría de ellas canteras de caliza o graveras.

En este contexto, la Generalitat de Catalunya ha hecho un esfuerzo importante en materia de seguimiento y control de las actividades extractivas. En 1994 la actual Área de Restauración y Evaluación de Actividades Extractivas empezó una campaña de informatización de sus bases de datos y de creación de una cartografía digital temática. Así se generó el mapa digital de actividades extractivas de Cataluña (EXTCATA) que se actualiza periódicamente. Este mapa y su base de datos contiene información bastante detallada sobre cada actividad, indicando la empresa titular, el tipo de recurso explotado, el perímetro de terreno autorizado para la explotación, la situación en que se encuentra la actividad, etc. (figura 3). Se trata de una cartografía consultable en la web de la Generalitat que es de gran utilidad, tanto para la administración, como para las propias empresas del sector. Por otro lado, también en 1994, se inició un programa para localizar y delimitar aquellos espacios afectados por actividades extractivas abandonadas antes de la entrada en vigor de la Ley 12/1981, y para buscar alternativas de restauración. Fruto de este trabajo, el 1999 la Generalitat publicó un mapa detallado de localización de todas las actividades extractivas abandonadas de Cataluña (EXTABA). Recientemente se han iniciado diversos proyectos de

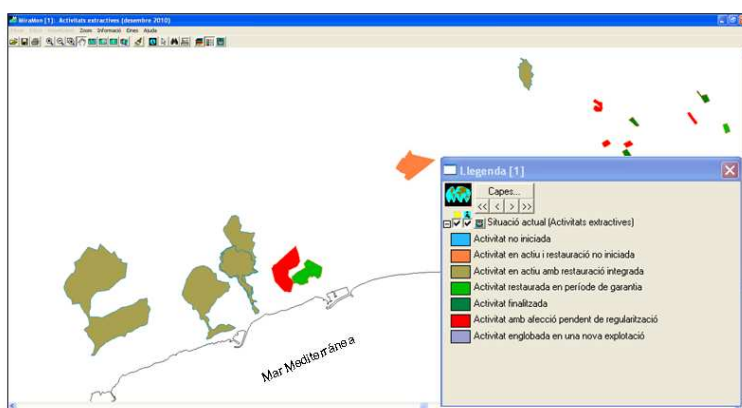


FIGURA 3. Fragmento del mapa EXTCATA, de diciembre de 2010, correspondiente a la zona del Garraf. Se pueden observar explotaciones mineras en diferentes tipos de situación administrativa: con restauración integrada, con afección pendiente de regularización, restaurada en periodo de garantía, en activo y con restauración no iniciada, etc.

investigación encaminados a la exploración de las posibilidades de la tele-detección en el seguimiento y control tanto de las labores de explotación minera como de su restauración.

Otra de las líneas promovidas por la Generalitat en materia de restauración de actividades extractivas ha sido el desarrollo de protocolos y herramientas encaminadas a mejorar la calidad de las

restauraciones y al aprovechamiento de subproductos inherentes al propio proceso de explotación, entre otros. En este sentido, mediante convenios y proyectos con universidades y centros de investigación, se han explorado las posibilidades de utilización de diversos tipos de materiales de relleno (zahorras, escombros inertes, etc.) en la restauración morfológica de los huecos de extracción (Jorba *et al.*, 1992), o bien las ventajas y riesgos que puede tener la utilización de determinadas enmiendas orgánicas, como compost, purines o lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), en la corrección de materiales utilizados para la creación de los substratos de restauración de las zonas explotadas. Resultado de este trabajo ha sido la publicación del manual de *Utilización de lodos de depuradora en restauración* (Alcañiz *et al.*, 2009). También se han estudiado las posibilidades de aprovechamiento de lodos minerales procedentes del lavado de áridos para la corrección mineral de determinados suelos agrícolas, así como para usos industriales (fabricación de vidrio, cerámica, aplicaciones en la industria química, etc.). Por otro lado, merece ser destacado que durante los años 2004-2007 se llevó a cabo el proyecto coordinado por la Universidad de Barcelona en el que participaron investigadores de diversos centros de Cataluña, denominado *Ecotecnología medioambiental para la restauración de canteras de caliza – EcoQuarry Life*, financiado por la Unión Europea con la colaboración de la Generalitat y empresas del sector, en el que se pusieron en práctica innovaciones técnicas de restauración ecológica en forma de pruebas piloto, y en las que participó la cantera La Falconera. Fruto de este proyecto ha sido el *Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo* (Jorba *et al.*, 2010) que incorpora criterios técnicos y ecológicos adaptados a las condiciones ambientales en que se encuentran nuestras actividades extractivas y que se está difundiendo en el sector. Actualmente se está trabajando en el desarrollo de un protocolo de autoevaluación de la calidad de las restauraciones con el objetivo de que sirva de herramienta práctica de control del proceso de restauración tanto para la propia administración como para el sector extractivo.

Todo este esfuerzo facilitador por parte de la administración se ha visto acompañado de un cambio progresivo de mentalidad en las empresas, que han incorporado la restauración y las buenas prácticas ambientales dentro del propio proceso extractivo, optimizando así los costes de la restauración, incrementando de forma paulatina la calidad de las restauraciones efectuadas y reduciendo los impactos generados durante la extracción y procesado de los productos mineros. Así, se han logrado actuaciones y restauraciones ejemplares que han aparecido referenciadas en documentos de trabajo elaborados por la Comisión Europea (EC, 2010). En el conjunto del territorio catalán existen ya más de 800 zonas de extracción minera restauradas, lo que supone un 40% de las actividades situadas fuera del dominio público

hidráulico. Dentro de estas, el 70% corresponde a restauraciones en que se ha completado el período de garantía y se ha procedido a la devolución de las respectivas fianzas.

5.2.2. Etapas principales del proceso de restauración de una cantera

La restauración de los espacios afectados por las actividades extractivas debe ajustarse a lo previsto en el proyecto incluido en el denominado Programa de Restauración. La primera etapa consiste en el modelado del nuevo relieve de las zonas afectadas para garantizar la estabilidad geotécnica del sustrato y para conseguir la integración paisajística con el entorno. Es muy habitual que en las nuevas laderas se aplique el modelo talud - berma que permite el control de la escorrentía y facilita el acceso mecanizado a toda la zona para las posteriores operaciones. Sin embargo, si se aplica de forma extensa y geométrica conduce a morfologías artificiales. La segunda etapa, no menos importante, va asociada a la primera y en muchos casos se ejecuta conjuntamente; consiste en la construcción de la red de drenaje para controlar la escorrentía y su conexión con la red natural. Ésta debe estar bien dimensionada, con canales protegidos de la erosión y debe procurarse que su diseño sea lo menos artificial posible. La tercera etapa consiste en la reposición de la cubierta edáfica, ya sea el suelo original de la zona, separado por decapado (capaceo) antes de la explotación y conservado adecuadamente, o bien mediante la extensión de una capa de nuevo suelo que se explicará con más detalle en el próximo apartado. La cuarta etapa, que en determinadas ocasiones puede no ser imprescindible, comprende las operaciones encaminadas a la revegetación de la zona, mediante siembras y plantaciones, con objeto de proteger el suelo de la erosión y recuperar las comunidades vegetales características de la zona. No siempre resulta fácil compaginar la protección frente a la erosión, que demanda recubrimientos elevados del suelo, con el desarrollo de la formación vegetal autóctona, que requiere la introducción de especies arbustivas y arbóreas de crecimiento relativamente lento. Finalmente, la quinta etapa, que a veces es ignorada, comprende el seguimiento y control de las zonas restauradas -al menos durante el periodo de garantía- para mantener funcional la red de drenaje, controlar la estabilidad de los taludes, reponer las marras en las plantaciones y en definitiva, realizar el control de calidad de la zona restaurada antes de la inspección final por parte de la Administración, que será la que decida si procede el retorno de las fianzas.

5.2.3. La preparación de nuevos suelos para la rehabilitación del terreno

Uno de los aspectos que más condicionan la evolución de la cubierta vegetal, y en definitiva la integración paisajística de una zona restaurada, es la composición y las propiedades del nuevo suelo restaurado. Estos suelos creados por el hombre se denominan Tecnosoles en el nuevo sistema de clasificación WRB 2006 (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

5.2.3.1. Origen y características de los sustratos empleados en la restauración

Es importante diferenciar los materiales utilizados para el relleno de los huecos de extracción de roca, de los empleados en la restauración del suelo, es decir, lo que los técnicos del sector denominan la capa de "suelo edáfico" o más comúnmente "tierra vegetal" que no suele superar los 80 cm de grosor.

Los tipos de materiales utilizados en la creación de Tecnosoles para la restauración de canteras son: (1) el propio suelo original separado por decapado (en general escaso), (2) las tierras procedentes de obras cercanas, (3) los restos del proceso de extracción de la roca formados por finas capas de arcilla o margas intercaladas en las calizas que no tienen utilidad comercial y, (4) los residuos del proceso de trituración o cribado de los áridos (zahorra) que tienen un contenido muy elevado de carbonatos.

1) Suelo de decapado

En el caso que nos ocupa, los suelos originales de esta zona del Macizo de Garraf suelen ser muy pedregosos en superficie, esqueléticos, calizos, de textura franco-arcillosa, con procesos de rubefacción y descarbonatación evidentes en las zonas donde alcanzan mayor evolución (*terra rosa*), y con contenidos relativamente elevados de materia orgánica en el horizonte A. Su separación por decapado suele ser difícil y los volúmenes obtenidos resultan insuficientes para su reposición directa en las zonas a restaurar por lo que habitualmente terminan mezclados con materiales residuales de la cantera o tierras externas. Sería deseable que el suelo rehabilitado tuviera una pedregosidad parecida a la del natural, aunque un parecido total raramente se consigue (tabla 1).

TABLA 1. Comparación cualitativa de las características de los suelos naturales del entorno y los de zonas restauradas en canteras del Macizo de Garraf (síntesis de resultados de varias canteras)

Característica	Suelos naturales	Suelo restaurado
Profundidad	Variable, poco profundo	Variable, profundo a base de rellenos
Distribución espacial del suelo	Heterogénea, depósitos coluviales, bolsas	Homogénea por zonas (taludes/bermas), rellanos
Pedregosidad superficial	Elevada	Baja
Elementos gruesos	Muy abundantes	Frecuentes
Composición elementos gruesos	Homogénea (calizas)	Heterogénea (impropios, cantos rodados, etc.)
Mineralogía dominante	Calcita, dolomita, arcillas	Arcillas, calcita
Textura	Franco-arcillosa	Franco-limosa, franco arenosa
Contenido de carbonatos (tierra fina)	Variable, medio-bajo	Variable, elevado, especialmente si se utilizan residuos de trituración de caliza
Materia orgánica (0-20cm)	Medio-alto	Medio-bajo (excepto si se utilizan enmiendas orgánicas)
pH	7- 8,5	6,8 – 8,7 (rango mayor)
C/N	10-12	8-12
P Olsen (mg/kg)	<15	(rango muy amplio)
K asimilable (AcNH ₄)	Medio-bajo	Medio-bajo
Salinidad	Muy baja	Baja (salvo excepciones)
Capacidad de Retención de Agua Disponible (CRAD)	Baja (excepto en fondos de valle)	Media (influyen las características del subsuelo, rellenos)

2) Tierras externas

Es frecuente que las canteras de calizas situadas en el entorno del área metropolitana de Barcelona reciban tierras procedentes de las obras que se realizan en los alrededores, como sucede en La Falconera. En el caso de que procedan de obras públicas de cierta envergadura, como las tierras extraídas por las tuneladoras que están construyendo las nuevas líneas de metro, autovías de acceso o el tren de alta velocidad, los volúmenes generados son muy grandes y su composición relativamente homogénea; sin embargo cuando proceden de obras de menor tamaño su composición y calidad es muy irregular y de difícil control. En este último caso suelen contener una proporción considerable de los llamados impropios (escombros, hierros, restos de cerámica, hormigón, plásticos, etc.), a pesar de su catalogación como “tierras limpias” que posibilita su destino final en actividades extractivas. Se excluyen para este uso los materiales catalogados como escombros (residuos de la construcción) que deben ser enviados a una planta de reciclaje de áridos o a un vertedero adecuado (muchos de ellos ubicados en antiguas actividades extractivas).

3) Residuos de la extracción de roca

En cuanto a los residuos del proceso de extracción de roca caliza, consisten en capas o bolsas que no tienen la dureza requerida para la fabricación de áridos, o también vetas de

arcillas o margas intercaladas entre las calizas. Estos materiales se suelen emplear como rellenos del hueco de extracción pero en caso de no disponer de tierras suficientes, pueden ser empleados como base para la preparación de Tecnosoles. Incluso cuando se dispone de tierras suficientes, es conveniente incorporarlos a los substratos de restauración para proporcionar un contenido de elementos gruesos que se asemeje más al del suelo original. Si se utilizan directamente como sustituto del suelo es necesario casi siempre incorporar enmiendas orgánicas.

4) Residuos del proceso de fabricación de áridos

En las canteras de esta zona suelen tener una composición muy rica en caliza ya que se originan al machacar la roca en el proceso de obtención y clasificación de los áridos. Comprenden las denominadas zahorras artificiales y la fracción fina del proceso de tamizado de los áridos sin interés comercial. Algunas canteras disponen de una planta de lavado de áridos que genera unos limos residuales que se separan por un proceso de decantación o prensado. Estos residuos se utilizan para el relleno de huecos en canteras, pero en algún caso se emplean también para la preparación de Tecnosoles por lo que deben ser corregidos con enmiendas. El exceso de carbonatos y su granulometría limosa son los principales inconvenientes de este tipo de materiales.

5.2.3.2. Preparación de suelos artificiales

En las canteras de caliza de Cataluña abundan dos tipos de Tecnosoles: (1) los esqueléticos, formados mayoritariamente por los materiales de rechazo pedregosos de las canteras (*Tecnosoles spólicos*) y (2) los que podríamos denominar “*térricos*”, en los que predominan las tierras importadas, más o menos fértiles. Entre ambos extremos se encuentran suelos de características intermedias, incluso en una misma cantera.

La tendencia actual consiste en combinar diferentes materiales para construir un suelo más equilibrado, con unas especificaciones de calidad como las que se recomiendan en el *Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo* (Jorba *et al.*, 2010). Utilizando la maquinaria disponible en las canteras es posible diseñar el nuevo suelo a medida de los objetivos de revegetación y de integración paisajística deseados. Cuando no se dispone de suficiente suelo de decapado y se construye el Tecnosol a base de materiales de rechazo de la propia cantera, o se utilizan tierras de importación de capas profundas, suele ser necesario incorporar enmiendas orgánicas que deben ser correctamente dosificadas e incorporadas al sustrato. En las canteras de Cataluña los tipos de enmiendas orgánicas más utilizados son composts de diverso origen, purines (Salazar *et al.*, 2009) y lodos de EDAR (Alcañiz *et al.*, 2009). Uno de los perfiles que se describen en este capítulo corresponde a un talud restaurado con tierras fertilizadas con lodos de EDAR.

5.2.3.3. Clasificación tentativa

Desde el año 2006 la WRB incluye un grupo de suelos de referencia denominado Tecnosoles. Estos suelos contienen una cantidad significativa de artefactos (reconocibles en el suelo porque han sido hechos o extraídos de la tierra por el hombre), o están sellados por roca dura técnica (material duro creado por el hombre, que tiene propiedades diferentes a la roca natural). Los tecnosoles incluyen suelos de desechos (rellenos, lodos, escorias, escombros o desechos de minería y ceniza), pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembranas y suelos construidos con materiales hechos por el hombre. Los Tecnosoles son frecuentemente referidos como suelos urbanos o de minas (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007). Se diferencian de los Antrosoles porque éstos conservan la base del suelo o subsuelo con pocas modificaciones y no contienen tantos artefactos.

Los suelos artificiales que se utilizan en la rehabilitación de canteras se sitúan en una posición intermedia entre ambos grupos de referencia, ya que habitualmente no alcanzan el 20% de artefactos que requieren los Tecnosoles, pero han sido completamente reconstruidos a partir de residuos de la cantera y de tierras aportadas de los alrededores, lo que supone una importante modificación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos originales. Por este hecho consideramos que encajan mejor en los Tecnosoles, más específicamente en los subgrupos *úrbico* o *espólico*. Se echa en falta un posible subgrupo “*térrico*” en los Tecnosoles, que reflejaría mejor este tipo de suelos formados por el aporte de tierras externas.

5.2.4. La restauración de la cantera La Falconera

La cantera La Falconera se encuentra situada en el municipio de Sitges, comarca del Garraf, provincia de Barcelona. Se trata de una actividad extractiva emplazada en el Parque Natural del Garraf, un espacio de interés natural incluido en la Red Natura2000 (catalogado como ZEPA y Lugar de Interés Comunitario). El Parque del Garraf alberga hábitats de elevado valor ecológico, así como especies amenazadas, como el águila perdiguera (*Hieraetus fasciatus*). Se trata de un paisaje mediterráneo meridional, dominado por un matorral denso. Las plantas dominantes son la coscoja (*Quercus coccifera*) y el lentisco (*Pistacea lentiscus*). También encontramos el palmito (*Chamaerops humilis*), el carrizo (*Ampelodesmos mauritanica*) y otras especies de origen africano. Una parte significativa está ocupada por bosques secundarios de pino carrasco.

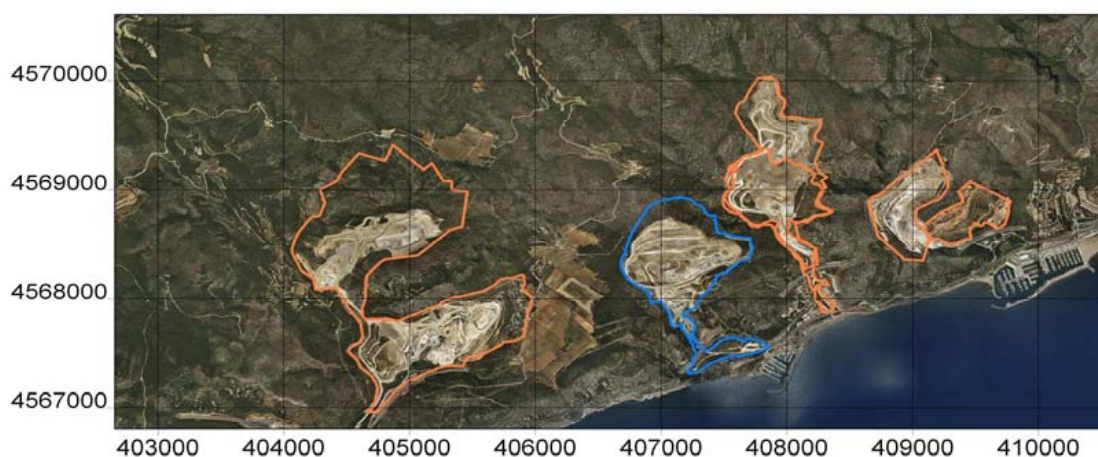


FIGURA 4. Las costas del Garraf concentran una importante densidad de actividades extractivas, como se puede observar en esta ortofotografía del Institut Cartogràfic de Catalunya. Las líneas naranjas representan los límites de diferentes concesiones y la azul los de La Falconera, según EXTCATA de diciembre de 2010.

El parque dispone de un plan especial de protección del medio físico y del paisaje, y de un plan urbanístico de protección, como principales figuras legales de protección. Dichas figuras son compatibles con la explotación de los recursos litológicos existentes en el parque, lo que debido a la calidad de la roca y a la proximidad a la conurbación de Barcelona, se traduce en una importante densidad de actividades extractivas en la zona (figura 4).

La superficie de afección autorizada para la cantera La Falconera es de unas 80 ha. Según datos del 2010, más de la mitad de esta superficie (42 ha) corresponde a suelo desnudo por labores de explotación, aunque existen todavía importantes reservas de suelo no afectado (17 ha). El 13% de la superficie de afección autorizada corresponde a equipamientos vinculados al proceso de explotación o de tratamiento de los materiales (plantas machacadoras, vías de acceso, acopios, oficinas, etc.).

Las primeras labores de restauración se efectuaron durante los años 90, en la parte baja de la explotación, en una superficie de aproximadamente 8,5 ha. Fue en la década siguiente cuando se empezó a restaurar en la parte alta de la explotación (4 ha). En la actualidad hay un total de 11 hectáreas restauradas, lo que supone un 14% de la superficie de afección autorizada y un 26% de la superficie en explotación. La empresa PROMSA, explotadora de la actividad, se caracteriza por sus iniciativas de carácter ambiental, siendo su política de gestión ambiental un referente a nivel nacional e internacional (EC, 2010). La empresa ha colaborado en diferentes proyectos de investigación y transferencia, como el proyecto RESTOFANGS, prueba piloto de utilización de lodos de EDAR como enmienda orgánica, o el proyecto ECOQUARRY antes citado, de transferencia de conocimientos técnicos y científicos a la práctica de la restauración.

El sistema de restauración del suelo utilizado en La Falconera se basa en el uso intensivo de materiales de aportación externa, básicamente tierras procedentes de excavaciones de obras. No obstante, el uso de estériles o tierras de rechazo también es habitual. En todo caso, estos son los materiales

utilizados en las labores de relleno, sin llegar a realizar voladuras en banco. El modelo geomorfológico aplicado es el de talud-berma, en las zonas con mayor pendiente, y el de talud continuo con ondulaciones en las zonas de menor pendiente (figura 5). Sin embargo, en la parte baja de la explotación se pueden observar unos antiguos frentes rocosos en forma de paredes casi

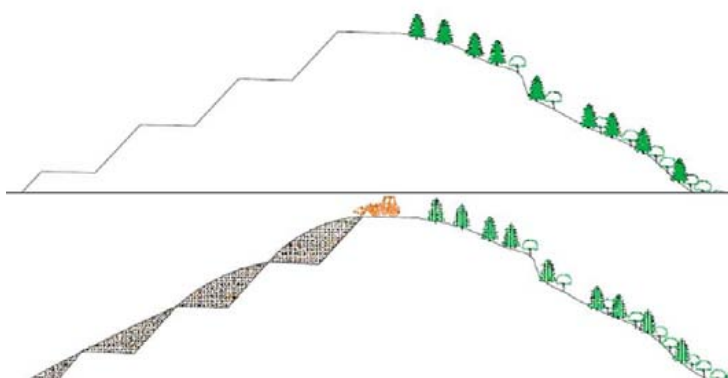


FIGURA 5. Proceso de adaptación geomorfológica mediante relleno con materiales de aportación realizado en La Falconera. Fuente: PROMSA.

verticales que se tuvieron que dejar dada la imposibilidad de realizar otra adaptación geomorfológica en esta zona. Se trata de zonas explotadas antes de la entrada en vigor de la Ley 12/1981, y que consecuentemente no se explotaron de forma apta para la restauración. No obstante, este tipo de afloramiento rocoso es habitual en el macizo de Garraf, lo que ayuda a integrar dicha zona en su contexto paisajístico.

Una vez realizada dicha adaptación morfológica se procede a extender los sustratos que formarán el “suelo edáfico” o capa superficial de “tierra vegetal”, previamente enmendados, si procede, con compost o lodos de EDAR. Como se ha comentado, los sustratos utilizados para la creación de los Tecnosoles consisten básicamente en tierras de aportación externa, normalmente procedentes de la zona de Gavà, Viladecans, Castelldefels, u otras poblaciones cercanas. Se trata de sustratos con unas características diferentes de las de los suelos naturales de Garraf. Otra diferencia importante es la profundidad del suelo, mucho mayor en las zonas restauradas que en las zonas naturales, donde predominan los suelos lépticos.

5.2.5 Descripción de los Tecnosoles de La Falconera

Seguidamente se procede a describir dos Tecnosoles creados para la restauración: uno a partir de tierras externas, en su mayoría sin enmendar, y otro formado también con tierras importadas, pero enmendadas con lodos de EDAR.

5.2.5.1. Tecnosol a partir de tierras de importación sin enmendar

Información general

PERFIL: La Falconera 1 (Ref. FAL-1)
FECHA DESCRIPCIÓN: 18/01/2010
DESCRIPTORES: Josep M. Alcañiz y Vicenç Carabassa
SITUACIÓN: Sierra de la Coma Roja, Cantera La Falconera, PROMSA, Término municipal de Garraf (Comarca del Garraf), provincia de Barcelona

Cartografía

COORDENADAS UTM: 31N
X= 407442
Y= 4568208
ALTITUD: 152 m

Geomorfología

FORMA DEL RELIEVE: Ladera convexa
PENDIENTE: 48%
ORIENTACIÓN: Noroeste
SITUACIÓN DEL PERFIL: en la parte alta de la vertiente, surcos de erosión estabilizados

Material original

Aportes de tierras varias de la zona de Gavà (suelos aluviales cuaternarios; conglomerados de matriz franco-arenosa, predominantemente calizos, sin cementar), que incluyen restos de escombros. Sustrato formado por rellenos de más de 10 m de espesor

Uso del suelo y vegetación

Yermo, restauración del medio natural (paisaje de rocas calizas, kárstico). En la actualidad, herbazal xerófilo evolucionando a maquia de palmito, romero y lentisco. Recubrimiento global, 90%. Especies más abundantes: *Hyparrhenia hirta*, *Lolium multiflorum*, *Dactylis glomerata*, *Sanguisorba* sp., *Trifolium* sp., *Foeniculum vulgare*, *Psoralea bituminosa*, *Plantago lanceolata*, *Malva* sp., *Dorycnium pentaphyllum*, *Helicrisum stoechas*, *Melilotus officinalis*, *Brachypodium retusum*, *Diploaxis erucoides*, *Medicago sativa*, *Euphorbia* sp., *Mercurialis* sp., *Vicia* sp., *Rosmarinus officinalis*, *Santolina chamaecyparissus*, *Arundo donax*, *Pistacia lentiscus*, *Inula viscosa*, *Rosmarinus officinalis*, *Pinus halepensis*.

Características superficiales

PROFUNDIDAD EFECTIVA: >85 cm
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL Y AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Ligeramente pedregoso (10%), gravas a cantos. Sin afloramientos rocosos en esta ladera, pero muy frecuentes en el resto de la zona
DRENAJE: Bien drenado
CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DISPONIBLE (CRAD): Media-alta

Clima general y del suelo

Mediterráneo-litoral
P: 660mm
T media anual: 14,6°C (Atlas Climático Digital de Catalunya, 2004)
RÉGIMEN DE HUMEDAD: xérico
RÉGIMEN DE TEMPERATURAS: térmico

Clasificación (tentativa)

Tecnosol úrbico spólico (calcárico, esquelético) WRB (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007);
Xerarent háplico. Soil Taxonomy (USDA, 2006)



FIGURA 6. Zona restaurada con tierras de aportación externa en la actividad extractiva La Falconera. Autor: V. Carabassa.



FIGURA 7. Perfil FAL-1. Se aprecia la heterogeneidad del Tecnosol formado como mínimo por la mezcla de dos tipos de tierras (la de color rojizo descrita como material 1, y la blanquecina como material 2). Autor: V. Carabassa.

Descripción macromorfológica de los horizontes (FAO, 2006)**0 a 20/25 cm A**

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (del material disgregado): 7,5YR 4/6 en húmedo, 7,5YR 5/3,5 en seco. MANCHAS: Sin manchas. ELEMENTOS GRUESOS: Muy frecuentes (59% en peso), poligénicos (calizas, cuarcita, con algunos fragmentos de hormigón o cerámica), heterométricos (de grava a piedras), formas diversas, distribución irregular. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: En pequeños bloques subangulares yuxtapuestos a una estructura granular de tamaño medio, débil. CONSISTENCIA: Muy friable. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1,25%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Conchas de caracoles en superficie, galerías de lombrices. RAÍCES: Finas y medianas, frecuentes. POROSIDAD: Alta. ENSAYOS DE CAMPO: Reacción intensa al HCl. LÍMITE INFERIOR, TRANSICIÓN: sin discontinuidades edáficas, ondulado, gradual. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: (pseudo) Ócrico

20/25 a 48/55 cm C1

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (del material disgregado): 7,5YR 4,5/3,5 en húmedo, 7,5YR 5,5/3 en seco; (material 1, sin disgregar. Ver figura 7): 7,5YR 4/4, en húmedo; (material 2, sin disgregar. Ver figura 7): 10YR 6/4, en húmedo. MANCHAS: Sin manchas. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (53% en peso), poligénicos (calizas, con algunos fragmentos de hormigón, cerámica, vidrio, hierros o asfalto), heterométricos (de grava a piedras), formas diversas, distribución irregular. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: Granular de tamaño medio, muy débil. CONSISTENCIA: Muy friable. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (0,65%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Algunas galerías de lombrices. RAÍCES: Finas y medianas, pocas. POROSIDAD: Alta. ENSAYOS DE CAMPO: Reacción intensa al HCl, irregular, mayor en las zonas de material de color más claro. LÍMITE INFERIOR, TRANSICIÓN: Sin discontinuidades edáficas apreciables, ondulado, gradual. Horizonte constituido por la mezcla de dos materiales como mínimo.

48/55 a >90 cm C2

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (del material disgregado): 10YR 6/5 en húmedo, 10YR 6/4 en seco; (material 1, sin disgregar. Ver figura 7): 7,5YR 4/4, en húmedo; (material 2, sin disgregar. Ver figura 7): 10YR 6/4, en húmedo. MANCHAS: Sin manchas. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (55% en peso), poligénicos (calizas, con algunos fragmentos de hormigón, cerámica o asfalto), heterométricos (de gravilla a grava gruesa), formas subangulares, distribución irregular. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: Granular de tamaño medio, muy débil. CONSISTENCIA: Muy friable. MATERIA ORGÁNICA: Muy poca (0,4%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No observada. RAÍCES: Finas y medianas, pocas. POROSIDAD: Alta. ENSAYOS DE CAMPO: Reacción intensa al HCl, irregular, mayor en las zonas de material de color más claro. LÍMITE INFERIOR, TRANSICIÓN: No observado. Horizonte constituido por la mezcla de dos materiales como mínimo.



FIGURA 8. Presencia de fragmentos de hormigón, cerámica, vidrio y otros desechos (artefactos) en los elementos gruesos del horizonte C1 del perfil FAL-1. Autor: V. Carabassa.

Datos analíticos						
Horizonte	Propiedades químicas					
	pH H ₂ O	Cond. eléctrica (ext. 1:5; dS/m)	Carbonatos (%)	N Kjeldahl (%)	P Olsen (mg/kg)	Materia orgánica (%)
A	8,2	0,21	29	0,07	14	1,25
C1	8,2	0,28	41	0,07	8	0,65
C2	8,2	0,34	72	0,07	2	0,40

Complejo de cambio			
K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)
0,5	17,4	1,1	0,1
0,2	19,1	0,8	0,1
0,1	17,8	0,7	0,2

Granulometría							
Toda la muestra			Tierra fina				
> 5 mm (%)	5-2 mm (%)	< 2 mm (%)	Limo grueso (%)	Limo fino (%)	Arcilla (%)	Arena total (%)	Clase textural
41	18	41	18,3	19,6	17,1	45,0	Franca
36	17	47	15,2	22,5	11,0	51,3	Franca
40	15	45	13,3	26,2	10,5	50,0	Franca

Metales pesados						
Hg (µg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
141	20	40	118	0,5	29	41

5.2.5.2. Tecnosol fertilizado con lodos de depuradora

Información general

PERFIL: La Falconera 6 (Ref. FAL-6)
 FECHA DESCRIPCIÓN: 18/01/2010
 DESCRIPTORES: Josep M. Alcañiz y Vicenç Carabassa
 SITUACIÓN: Torrente de la Falconera, Cantera La Falconera, PROMSA, Término municipal de Garraf (Comarca del Garraf), provincia de Barcelona

Cartografía

COORDENADAS UTM: 31N
 X= 407442
 Y= 4568208
 ALTITUD: 157 m s.n.m.

Geomorfología

FORMA DEL RELIEVE: Ladera cóncava
 PENDIENTE: 75%
 ORIENTACIÓN: Suroeste
 SITUACIÓN DEL PERFIL: En la parte media de la vertiente, sin formas de erosión detectables

Material original

Estériles calizos de la propia cantera (calizas mesozoicas) y tierras de aportación externa que constituyen el relleno principal de la ladera sobre el que se ha depositado una capa de 30 a 60 cm de tierras procedentes de excavación de la zona de piedemonte del Macizo de Garraf (suelos formados sobre materiales detríticos, de matriz franco-arcillosa, rojiza, carbonatados)

Uso del suelo y vegetación

Restauración hacia la formación de bosque mediterráneo (paisaje de rocas calizas, kárstico). En la actualidad, herbazal ruderal evolucionando a bosque de *Pinus halepensis*. Recubrimiento global, 100%. Especies más abundantes: *Dactylis glomerata*, *Ampelodesmos mauritanica*, *Fumaria* sp., *Oryzopsis miliacea*, *Helicrisum stoechas*, *Inula viscosa*, *Arundo donax*, *Santolina chamaecyparissus*, *Phillyrea latifolia*, *Olea europaea* var. *sylvestris*, *Pinus halepensis*

Características superficiales

PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO: >90 cm
 PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL Y
 AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Muy ligeramente pedregoso (5%), gravas a bloques. Sin afloramientos rocosos en esta ladera, pero muy frecuentes en las proximidades
 DRENAJE: moderado-bueno
 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA DISPONIBLE (CRAD): Media-alta

Clima general y del suelo

Mediterráneo-litoral
 P: 660mm
 T media anual: 14,6°C (Atlas Climático Digital de Catalunya, 2004)
 RÉGIMEN DE HUMEDAD: xérico
 RÉGIMEN DE TEMPERATURAS: térmico

Clasificación (tentativa)

Tecnosol úrbico spólico (calcárico, esquelético) WRB (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007);
 Xerarent háplico Soil taxonomy (USDA, 2006)



FIGURA 9. Aspecto del talud restaurado con tierras fertilizadas con lodos de depuradora en la actividad extractiva La Falconera. Autor: V. Carabassa.



FIGURA 10. Perfil FAL-6. Se observan dos capas claramente diferenciadas, la superficial procedente de tierras externas enmendadas con lodos de EDAR, y la de color claro formada por estériles mineros. Autor: V. Carabassa.

Descripción macromorfológica de los horizontes (FAO, 2006)

0 a 2 cm 0

Restos identificables de gramíneas en descomposición. Micelios de hongos aparentes.

2 a 15 cm A1

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (del material disgregado): Homogéneo, 7,5 YR 5/4 en húmedo, 5 YR 4/4 en seco. MANCHAS: Sin manchas. ELEMENTOS GRUESOS: Muy abundantes (70% en peso), de calizas (calizas mesozoicas, nódulos de carbonatos secundarios (caliche) heredados del suelo alóctono, muy escasos fragmentos de hormigón o cerámica), heterométricos (de grava fina a grava gruesa), formas subangulares, distribución regular. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: En bloques subangulares yuxtapuestos a una estructura granular de tamaño grueso, moderada. Consistencia: Firme. MATERIA ORGÁNICA: Media (1,54%), humus. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: galerías de lombrices, frecuentes. RAÍCES: finas, poco densas. POROSIDAD: media. ENSAYOS DE CAMPO: reacción intensa al HCl, homogénea. Acumulaciones: Sin acumulaciones (nódulos de caliche heredados). LÍMITE INFERIOR, TRANSICIÓN: Sin discontinuidades edáficas, plano, gradual. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: (pseudo) Ócrico.

15 a 44/48 cm A2

ESTADO DE HUMEDAD: Ligeramente húmedo. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (del material disgregado): Homogéneo, 7,5 YR 5/4 en húmedo, 7,5 YR 4/5 en seco. MANCHAS: Sin manchas. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (53% en peso), de calizas [calizas mesozoicas, nódulos de carbonatos secundarios (caliche) heredados del suelo alóctono, muy escasos fragmentos de hormigón o cerámica], heterométricos (de grava fina a grava gruesa), formas subangulares, distribución regular. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: En bloques subangulares yuxtapuestos a una estructura granular de tamaño grueso, moderada. CONSISTENCIA: Firme. MATERIA ORGÁNICA: Poca (1,29%), humus. ACTIVIDAD DE LA FAUNA: Galerías de lombrices frecuentes. RAÍCES: Escasas, finas, poco densas. POROSIDAD: Media. ENSAYOS DE CAMPO: Reacción intensa al HCl, homogénea. ACUMULACIONES: Sin acumulaciones (nódulos de caliche heredados). LÍMITE INFERIOR, TRANSICIÓN: Sin discontinuidades edáficas, plano, neto. HORIZONTE DE DIAGNÓSTICO: (pseudo) Ócrico.

44/48 a >60 cm 2C

ESTADO DE HUMEDAD: Húmedo. ESTADO REDOX: Oxidado. COLOR (del material disgregado): Homogéneo, 7,5 YR 6/3,5 en húmedo, 7,5YR 5/3,5 en seco. MANCHAS: Sin manchas. ELEMENTOS GRUESOS: Abundantes (55% en peso), de calizas (calizas mesozoicas), heterométricos (de grava fina a grava media), formas angulares, distribución homogénea. TEXTURA: Franca. ESTRUCTURA: Sin agregación. CONSISTENCIA: muy friable. MATERIA ORGÁNICA: Poca (0,72%). ACTIVIDAD DE LA FAUNA: No observada. RAÍCES: Muy escasas. POROSIDAD: Media-alta. ENSAYOS DE CAMPO: Reacción muy intensa al HCl, homogénea. LÍMITE INFERIOR, TRANSICIÓN: no observada. Material estéril de la cantera procedente de la trituración de las calizas.

Datos analíticos

Horizonte	Propiedades químicas					
	pH H ₂ O	Cond. eléctrica (ext. 1:5; dS/m)	Carbonatos (%)	N Kjeldahl (% s.m.s.)	P Olsen (mg/kg)	Materia orgánica (%)
A1	8,2	0,19	33	0,08	97	1,54
A2	8,2	0,17	32	0,07	96	1,29
2C	8,2	0,20	44	0,07	13	0,72

Complejo de cambio			
K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	Na (cmol/kg)
1,0	17,6	1,1	0,1
0,5	18,4	1,2	0,1
0,2	17,2	0,8	0,1

Granulometría							
Toda la muestra			Tierra fina				
> 5 mm (%)	5-2 mm (%)	< 2 mm (%)	Limo grueso (%)	Limo fino (%)	Arcilla (%)	Arena total (%)	Clase textural
58	12	30	22,7	24,2	22,5	30,6	Franca
42	11	47	24,2	23,6	21,7	30,5	Franca
40	15	45	22,2	24,6	13,2	40,0	Franca

Metales pesados						
Hg (µg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
58	21	24	95	0,5	34	26

5.2.5.3. Análisis comparativo

En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para diferentes parámetros físico-químicos medidos en una muestra representativa de los dos Tecnosoles descritos anteriormente. Como se puede observar, existen diferencias significativas para la mayoría de los parámetros químicos medidos. Este resultado podría ser debido a la capacidad enmendante de los lodos, pues transcurridos 5 años desde su aplicación el contenido en nutrientes y carbono orgánico es mucho mayor en el Tecnosol creado utilizando lodos de depuradora como enmienda orgánica. No obstante, las diferencias observadas en los parámetros texturales indican que se utilizaron sustratos de base diferentes, aunque en ambos casos dichos sustratos eran tierras de excavación de procedencia externa. Este hecho ejemplifica la gran heterogeneidad existente en los Tecnosoles de zonas restauradas en actividades extractivas, especialmente cuando se utilizan tierras de aportación externa como sustrato base para la rehabilitación de suelos.

TABLA 2. Comparación de parámetros analíticos en el horizonte superficial (0-20 cm) del Tecnosol de la zona restaurada con lodos (FAL-6) y el de la zona restaurada sin el uso de enmiendas orgánicas (FAL-1). Se indica la desviación estándar (n=3). Letras distintas indican la existencia de diferencias significativas (P<0,04).

Parámetro	FAL-6	FAL-1
C _{org} (%)	0,90 ± 0,04 (a)	0,52 ± 0,21 (b)
P Olsen (mg/kg)	80 ± 16 (a)	16,0 ± 4,4 (b)
N Kjeldahl (% s.m.s.)	0,08 ± 0,01 (a)	0,07 ± 0,00 (b)
K (mg/kg)	339 ± 81 (a)	193 ± 5 (b)
Arena total (%)	31,4 ± 0,7 (a)	46,2 ± 6,1 (b)
Limo grueso (%)	21,4 ± 1,4 (a)	17,1 ± 2,1 (b)
Limo fino (%)	24,7 ± 0,5 (a)	21,2 ± 2,2 (a)
Arcilla (%)	2,5 ± 0,4 (a)	15,5 ± 2,9 (b)

5.2.6. Revegetación

La revegetación de las zonas restauradas es un aspecto sumamente importante y constituye una etapa clave del proceso restaurador. En Cataluña se han realizado varios estudios focalizados en la evolución de la vegetación de canteras de calizas que analizan la eficacia de las siembras, la viabilidad de las plantaciones y la recuperación de la vegetación autóctona (Jorba y Vallejo, 2008). La finalidad principal de las siembras es reducir la escorrentía superficial y la erosión, sobre todo justo después de haber extendido los Tecnosoles. No obstante, también hay que tener en cuenta que las especies sembradas no limiten el establecimiento de especies autóctonas. Por lo tanto, la selección de estas especies es relevante ya que puede condicionar el proceso de revegetación, pero también la aparición de posibles problemas de degradación. En determinadas circunstancias, y cuando el riesgo de erosión no es elevado, las siembras pueden no ser necesarias si la revegetación espontánea es efectiva.

Por otro lado, las plantaciones tienen como objetivo acelerar la integración ecológica de las zonas restauradas, aspecto importante en condiciones climáticas típicamente mediterráneas. Además, la siembra y plantación de especies que sirven como elemento de atracción de fauna favorecen la entrada y dispersión de especies autóctonas y aceleran, aún más si cabe, el proceso restaurador.

5.2.7. Experiencias de evaluación de la erosión

Entre los trabajos experimentales desarrollados en La Falconera se han efectuado mediciones de la erosionabilidad del suelo en condiciones de lluvia simulada (40 mm h⁻¹ durante 45 minutos consecutivos) para evaluar la importancia del uso de enmiendas orgánicas (compost) y de la revegetación en el control de la erosión. Los resultados se sintetizan en la figura 11 e ilustran la gran importancia de estos dos factores en el control de la erosión. De esta forma, la mayor erosionabilidad se registró en el suelo sin tratar y sin cobertura, que presentó un valor medio un 80% mayor que el del suelo enmendado y sin cobertura. Cabe destacar que se obtuvieron valores intermedios de erosionabilidad en el suelo sin tratar pero

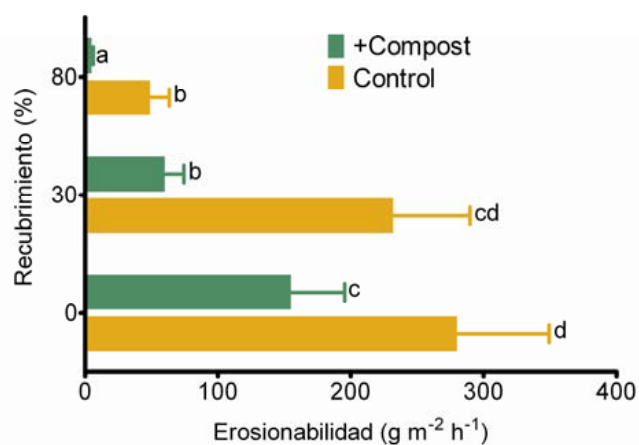


FIGURA 11. Resultados de medidas de erosionabilidad (con lluvia simulada) en suelos enmendados y no enmendados con compost y en tres grados de recubrimiento herbáceo distintos realizadas en la cantera La Falconera. Las barras de error corresponden al error estándar (n=3). Letras distintas indican la existencia de diferencias significativas (P<0,05).

con una alta cobertura herbácea (49 g m⁻² h⁻¹) y en el suelo enmendado y con baja cobertura (60 g m⁻² h⁻¹). En cuanto a los valores mínimos registrados, una alta cobertura vegetal en un suelo enmendado presentó una erosionabilidad un 98% menor que la del suelo no tratado y sin vegetación.

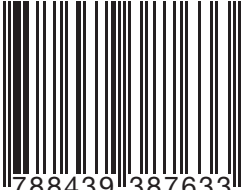
Estos resultados demuestran la gran importancia que puede tener una adecuada preparación del suelo, sobre todo en situaciones donde el riesgo de erosión es alto o cuando no se prevé una recuperación rápida de la cubierta herbácea.

5.2.8. Referencias bibliográficas

- ALCAÑIZ, J.M.; ORTIZ, O.; CARABASSA, V. (2009) Utilización de lodos de depuradora en restauración. Manual de aplicación en actividades extractivas y terrenos marginales. Agència Catalana de l'Aigua, Generalitat de Catalunya. 114p. Barcelona. Disponible en Internet.
- ATLAS CLIMÁTICO DIGITAL DE CATALUNYA (2004) Disponible en Internet.
- EUROPEAN COMMISSION (2010) Non-energy mineral extraction and Natura 2000. Annex I. 25p.
- FAO (2006) Guidelines for soil description. Fourth edition. 98 p. Rome.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2010) Mapa d'activitats extractives. EXTCATA. Disponible en Internet.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (1999) Mapa d'activitats extractives abandonades. EXTABA. Disponible en Internet.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2005) Mapa d'activitats extractives en domini públic hidràulic. EXTAIG. Disponible en Internet.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2010) Restauració d'activitats extractives. Disponible en Internet.

- GREMI D'ÀRIDS DE CATALUNYA (2010) Dades sectorials. Disponible en Internet.
- IDESCAT (2011) Ciment 2006-2010 Consum i importacions. Disponible en Internet.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB (2007) Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- JORBA, M., VALLEJO, V.R. (2008) La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riegos. *Ecosistemas* 17 (3): 119-132.
- JORBA, M., VALLEJO, R., ALCAÑIZ, J.M., JOSA, R., SOLE, A. (1992) Restauració del sòl en pedreres de roca calcària. I Trobada d'Estudiosos de Garraf. *Monografies* 19: 59-61, Diputació de Barcelona.
- JORBA, M., OLIVEIRA, R., JOSA, R., VALLEJO, V.R., ALCAÑIZ, J.M., HERETER, A., CORTINA, J., CORREIA, O., NINOT, J.M. (2010) Manual para la restauración de canteras de roca caliza en clima mediterráneo. Direcció General de Qualitat Ambiental, Àrea d'Avaluació i Restauració d'Activitats Extractives, Generalitat de Catalunya. 104p. Barcelona.
- SERRA, E. (1993) La protecció ambiental en la mineria a cel obert a Catalunya. El programa de restauració. Barcelona. (Edició interna del Departament de Medi Ambient).
- SALAZAR, M., BOSCH-SERRA, A., ESTUDILLOS, G., POCH, R.M. (2009) Rehabilitation of Semi-Arid Coal Mine Spoil Bank Soils with Mine Residues and Farm Organic By-Products. *Arid Land Research and Management* 23 (4): 327-341.
- USDA Natural Resources Conservation Service. Soil Survey Staff (2006) Keys of Soil Taxonomy. Tenth Edition.

ISBN 978-84-393-8763-3



9 788439 387633