

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE FARMACIA

Departamento de Edafología



**EVOLUCIÓN DE SUELOS ÁCIDOS Y
PODSOLIZADOS MERIDIONALES EUROPEOS
(MACIZO DE AYLLÓN. ESPAÑA)**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

Alfredo Ares Mateos

Bajo la dirección de los doctores

María Isabel Hernando Massanet

Juan Hernando Costa

Madrid, 2001

ISBN:84-669-2005-6

INDICE

1. **INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.**
2. **LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO.**
3. **CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO.**
 - 3.1 El relieve y las cuencas hidrográficas.
 - 3.2 Geología.
 - 3.3 Vegetación.
 - 3.4 Climatología.
4. **MÉTODOS.**
 - 4.1 Métodos de campo.
 - 4.2 Determinaciones generales.
 - 4.2.1 Determinaciones físicas.
 - 4.2.2 Determinaciones químicas.
 - 4.2.3 Estudio mineralógico.
 - 4.3 Determinaciones específicas.
 - 4.3.1 Determinación de hierro y aluminio.
 - 4.3.2 Fraccionamiento de la materia orgánica.
5. **MATERIAL.**
 - 5.1 Localización de los puntos de muestreo.
 - 5.2 Características morfológicas de los perfiles.
 - 5.3 Descripción de las muestras.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Discusión: Propiedades físicas, químicas y físico-químicas.

6.2 Discusión: Edafogénesis.

6.3 Discusión: Estudio mineralógico.

6.3.1 Mineralogía de la roca.

6.3.2 Mineralogía de la arena.

6.3.3 Mineralogía de la arcilla.

7. CONCLUSIONES.

8. BIBLIOGRAFÍA.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de los procesos edafogénicos y la caracterización de suelos en áreas de montaña ha sido objeto de numerosos trabajos, Albareda y Asensio (1945) emprenden el estudio de los suelos del Sistema Central por tratarse de suelos de montaña silíceos. Así estudian varios perfiles localizados en El Escorial, Torreldones y Villalba, en función de los factores formadores. Claver (1947) aporta nuevos datos al estudio de los suelos silíceos del Sistema Central recogiendo muestras en Las Guarramillas, Abantos y Las Machotas. Recoge las muestras en localidades encajadas en los límites que se señalan para los pisos diversos de vegetación. Hoyos de Castro (1947) estudia tres perfiles en Piedrahita (Avila) sobre granito.

Guerra et al. (1966) publican el mapa de suelos de España, escala 1:1.000.000, dando para el Sistema Central los siguientes tipos de suelos: tierras pardas húmedas sobre material silíceo, suelos pardos sobre depósitos alóctonos pedregosos, tierras pardas meridionales sobre rocas metamórficas silíceas y sobre rocas ígneas silíceas.

Hoyos et al. (1969) citan en la Sierra de Guadarrama tierras pardas meridionales en las partes bajas situadas al sur, ranker y ranker pardo en alturas comprendidas entre 1260 y 1600 metros. Destacan, además, la influencia de la roca madre, granito, en la composición mecánica del suelo, resultando suelos arenosos, por ser el cuarzo mineral prácticamente inatacable, acumulándose en la fracción gruesa. Asimismo, reconocen en cuanto a la composición de las arcillas, minerales del grupo del caolín, en algunos casos haloisita más o menos hidratada e ilita degradada junto a geles de hierro y aluminio, y en algún caso, la posible existencia de gibsite.

El mismo autor (1979) cita en las Dehesas de Cercedilla a 1490 m. de altitud un Cryumbrept rico en caolinita y con una razón C/N elevada, consecuencia de una mala humificación; y en el Alto de los Leones un Cryumbrept típico sobre roca granítica, muy arenoso, con presencia de ilita y vermiculita en la fracción arcilla como consecuencia de la alteración de biotita. En 1980, en suelos de San Lorenzo del Escorial, (Typic Haplumbrept y Arenic Dystric Eutrochrept) encuentra en la fracción arcilla como minerales dominantes

ilita y caolinita junto a vermiculita e indicios de gibsita. Citan Paleustalfs en Navacepeda de Tormes y Losar de la Vera; Dystrochreps en El Tiemblo, San Bartolomé de Béjar y Candeleda; Umbrepts en Hoyos del Espino, Béjar, Hoyo Casero, Candelario, Villasrubias, San Martín de Valdeiglesias, El Piornal, Villamiel y Cuevas del Valle; y Umbrepts con carácter espódico en El Cabaco, Guisando, Gata (Cáceres) y El Piornal.

Barba et al. (1995), citan en el valle del Paular, Cambisoles, Leptosoles, Luvisoles y Phaeozems a partir de gneis, con una arcilla compuesta fundamentalmente por ilitas y caolinitas, con vermiculitas e interestratificados.

Velasco y Lozano (1972) estudian los procesos de humificación en suelos de la Sierra de Guadarrama, observando la influencia negativa de la altitud y la acidez en los procesos de humificación. Gallardo y García (1973) dan humus tipo móder bajo coníferas y mull ácido bajo fagáceas en suelos de las Sierras de Gredos y Gata. Velasco (1976) estudia la evolución de la materia orgánica en suelos de la submeseta meridional, y comprueba la influencia del material geológico original sobre los procesos de humificación, este mismo autor en 1977 estudia la humificación de los sabinares de la comarca de Somosierra situados sobre materiales gneissicos y calizos. Hoyos de Castro, Hernando Costa y Cuchí Ruíz (1977) estudian la influencia de la vegetación en el desarrollo de suelos del Sistema Central con características similares en el clima y el material original.

Riedel (1973) cita suelos con características similares a los de Europa Central en la zona Oeste del Sistema Central, y hace referencia por primera vez a la existencia de procesos de evolución podsólica en ciertos puntos de la Sierra de Ayllón influenciados por el Atlántico.

Espejo (1988) caracteriza un Podsol ferro-húmico en el Puerto de la Quesera, próximo a nuestra zona de estudio. Ibáñez et al. (1988) estudian quince perfiles de la vertiente sur del macizo de Ayllón y detectan cierta tendencia hacia la formación de zonas de decoloración sin que se cumplan los requerimientos necesarios para poder ser clasificados como horizontes álbicos. Lagos y Velasco (1992) describen un Podsol órtico en la vertiente sur del Puerto de la Quesera, describen a 1800 metros un área representativa de formaciones podsólicas.

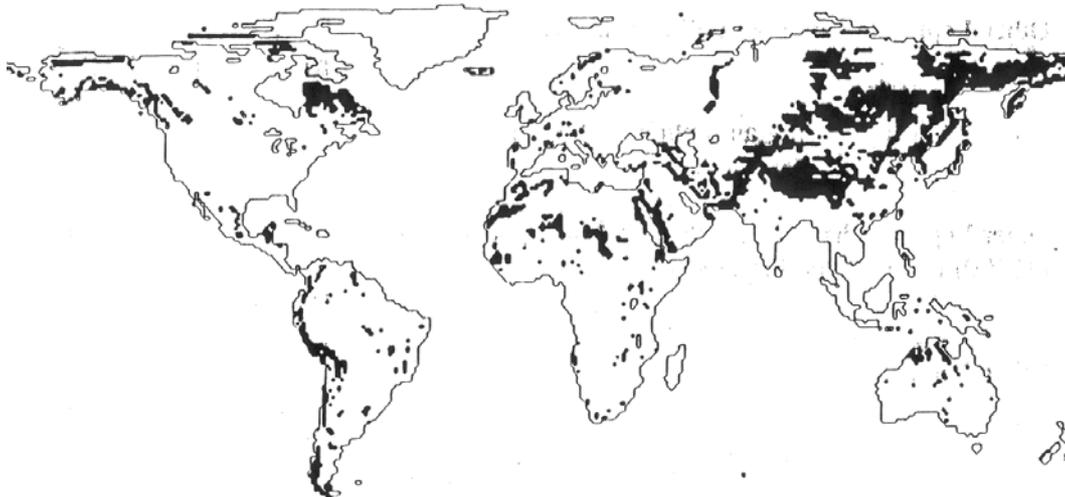
Almendros et al. (1982) realizan una caracterización del humus en una secuencia altitudinal de suelos en el puerto de la Quesera basándose en el estudio de los veinte primeros centímetros del perfil. Concluyen que la humificación disminuye en los ecosistemas situados a mayor altitud, lo que se manifiesta en la reducción del contenido en compuestos húmicos extraíbles asociados a la fracción inorgánica del suelo.

En el macizo de Ayllón y sus contactos con la meseta Norte y Sur aparecen gran variedad de tipos de suelos. Ibáñez et al. (1992) señalan que atendiendo a los criterios especificados por la Soil Taxonomy (1990), de los once Órdenes considerados sólo tres están ausentes en el área de estudio: los ligados a climas desérticos, los tropicales húmedos y los desarrollados sobre materiales volcánicos. Según estos autores estarían representados el 73% de los órdenes reconocidos.

En el área de estudio se han caracterizado principalmente Leptosoles y Regosoles, y de forma puntual Cambisoles, Podsoles y Fluvisoles.

Según Driessen y Dudal (1991), los Leptosoles son los suelos más extendidos en el mundo, se estima que ocupan una superficie de unas 2.260 millones de hectáreas (figura, 1.1). Genéticamente son suelos jóvenes y sus procesos de formación se limitan a la formación de un horizonte A, normalmente de poco espesor, y en algunos casos, incipientes horizontes Bw. Los Leptosoles

Figura 1.1.- Distribución de los Leptosoles a nivel mundial.



estudiados se forman como consecuencia de las importantes pendientes que se dan en la zona y que impiden la completa evolución de los suelos. Los fenómenos de escorrentía tan frecuentes en las zonas de montaña en determinadas posiciones topográficas provocan el arrastre de materiales y sustancias que formarían parte de la solución del suelo y conducen al rejuvenecimiento de los perfiles.

Los Cambisoles ocupan unas 925 millones de hectáreas, o un 7% de los suelos del mundo (Figura 1.2). Muchos Cambisoles representan un estado de desarrollo del suelo transicional entre suelos jóvenes y maduros. Los Cambisoles tienen apreciables cantidades de minerales alterables, lo cual evidencia los estados tempranos de formación en que se encuentran. La mayor parte de los horizontes cámbicos se forman por la alteración o transformación de los minerales primarios “in situ” en situación de drenaje libre interno y externo. En ambientes débilmente ácidos, la hidrólisis de los minerales que contienen hierro (biotita, olivino, piroxeno, anfíboles, etc.) producen hierro ferroso que es oxidado a óxidos e hidróxidos de hierro férrico (hematites, goethita). El hierro libre puede intervenir en formas hidroxiladas ligando arcillas y compuestos húmicos, o puede



Figura 1.2.- Distribución de los Cambisoles a nivel mundial.

evolucionar hacia formas amorfas o criptocristalinas y así recubre partículas de limo, arena y arcilla. El suelo se estructura y toma un color de pardo amarillento a rojizo. Aunque existe algo de lavado de bases, no se observa emigración de hierro, aluminio, materia orgánica o arcilla. Este proceso oxidativo no se limita al horizonte Bw cámbico, ocurre también en el horizonte A y puede ser tan fuerte como en el horizonte B.

A nivel mundial, los Podsoles, ocupan unas 478 millones de hectáreas (Figura 1.3), principalmente en regiones boreales y templadas del hemisferio norte, lo que representa aproximadamente el siete por ciento del total de la superficie de la tierra. Presentan una secuencia de horizontes a lo largo del perfil O Ah E Bhs C más o menos diferenciada. La podsolización aparece bajo la influencia de un mor o un móder que producen cantidades masivas de compuestos orgánicos solubles o pseudosolubles complejantes que migran desde la superficie del perfil al horizonte B. Este lavado subsuperficial deja un horizonte blanquecino E, horizonte álbico.



Figura 1.3.- Distribución de los Podsoles a nivel mundial.

Los Regosoles ocupan una extensión de 900 millones de hectáreas aproximadamente (Figura 1.4). Se encuentran situados principalmente en la región ártica. Se caracterizan por ser suelos con poco grado de desarrollo

formados sobre mantos de materiales no consolidados lo que favorece la aparición de procesos erosivos. Sobre materiales ácidos pueden desarrollar un horizonte A úmbrico si la materia orgánica se descompone muy lentamente por acción del clima.



Figura 1.4.- Distribución de los Regosoles a nivel mundial.

El objeto del presente trabajo es la caracterización de suelos desarrollados en las cuencas de los ríos Lillas y Riaza, así como su evolución y desarrollo en función del material de partida y la vegetación bajo la que se encuentran. Se centró el estudio en el análisis de los datos obtenidos del fraccionamiento de materia orgánica de los suelos más representativos de ambas zonas y en el análisis de las distintas formas extraíbles de hierro y aluminio. Estos datos permitieron realizar un estudio comparativo.

Por otra parte se estudian y analizan los procesos que conducen a la incipiente podsolización de un número importante de suelos desarrollados en la cuenca del río Riaza y las causas que impiden que la podsolización sea completa.

Aunque se han realizado interesantes estudios edáficos en la Sierra de Ayllón, la mayoría de ellos se centran en el análisis de un número pequeño de muestras. Con este trabajo se pretende contribuir al conocimiento de las características de los suelos de montaña, a partir del estudio de dieciséis perfiles completos y representativos tomados a diferentes alturas en la sierra de Ayllón.

2. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

Entre las provincias de Segovia y Guadalajara, formando parte del sector más oriental del Sistema Central, se extienden las cadenas montañosas que constituyen el macizo de Ayllón (Figura).

El área de estudio se encuentra localizado en el término municipal de Riofrío de Riaza, perteneciente a la provincia de Segovia y en el término municipal de Cantalojas, en el rincón noroccidental de la provincia de Guadalajara. Los puntos de muestreo pertenecen a las cuencas de los ríos Riaza (Segovia) y Lillas (Guadalajara).

La provincia de Segovia tiene una extensión de 6.921 km² y una densidad de población de 21 hab/km², la provincia de Guadalajara tiene una superficie de 12.214 km² y su densidad de población es de 13 hab/km². Estas dos provincias son las que presentan menor número de habitantes y menor extensión de Castilla León y Castilla la Mancha respectivamente.

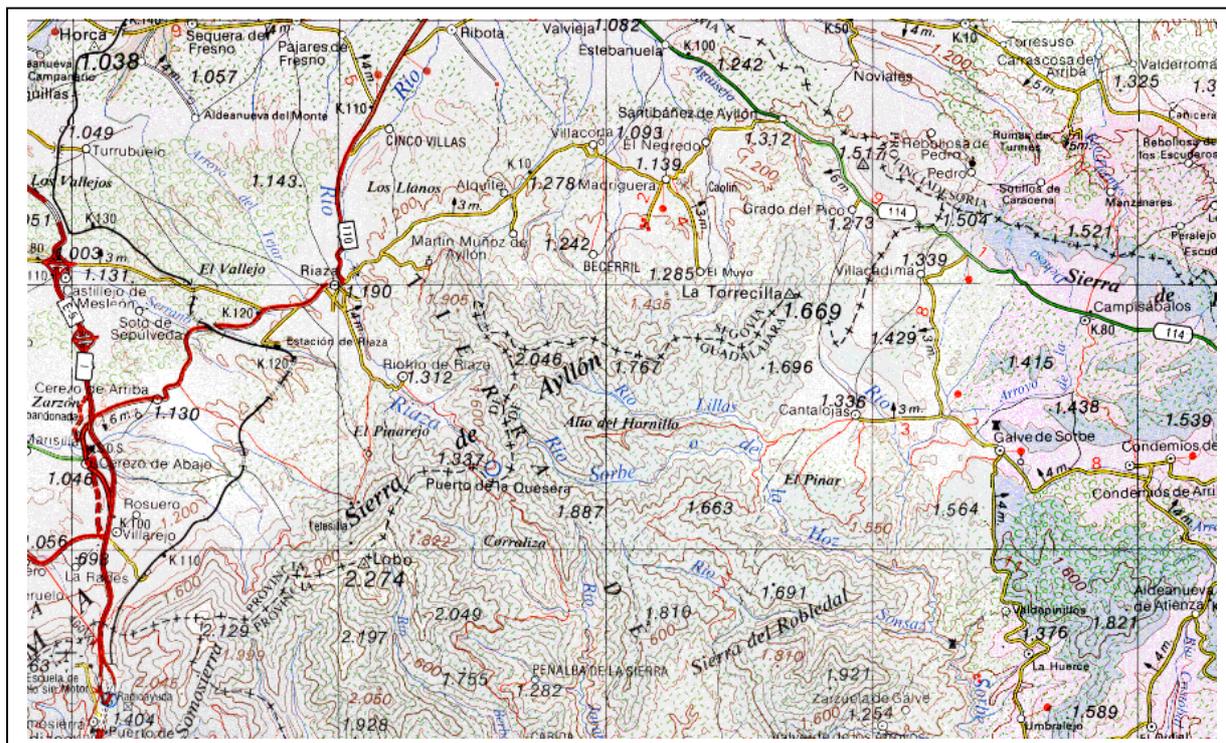
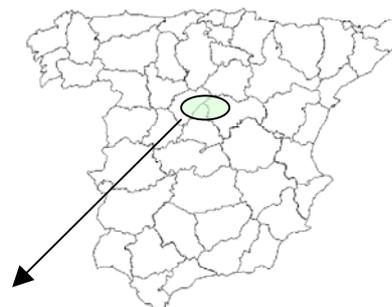


Figura 2.1.-Mapa topográfico del área de estudio.

3. CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO FÍSICO

3.1 El Relieve y las Cuencas Hidrográficas

En la sierra de Ayllón, el collado de la Quesera, que ejerce de divisoria de aguas entre las cuencas del Duero (río Riaza) y del Tajo (río Jaramilla), está flanqueado por elevaciones cuarcíticas paleozoicas de pendientes abruptas; dichas elevaciones delimitan valles de curso irregular encajados en los materiales paleozoicos de naturaleza esquisto-pizarrosa, cuyas vertientes presentan pendientes variables, por lo general comprendidas entre el diez y el treinta por ciento. La vertiente septentrional de la Sierra de Ayllón presenta una gran simplicidad orográfica, pues piedemonte y superficie de cumbres quedan articulados mediante un escarpe o ladera sencilla bastante rectilínea, que se enfrenta directamente a las planicies de la cuenca del Duero.

En cuanto al modelado fluvial, en esta vertiente se forman redes de carácter difuso en el piedemonte con cobertura, que se definen sobre formaciones superficiales “tipo raña”. También existen redes formando gargantas en el piedemonte, manteniendo una notable continuidad con los encajonamientos de la ladera; tal es el caso, entre otros, del río Riaza. Las laderas se presentan poco coluvionadas, y los recubrimientos edáficos erosionados en muchos lugares, debido a la deforestación. Pueden definirse dos series de coluvionamiento: una antigua plio-pleistocena, y otra más reciente, que debe ser calificada como cuaternaria (Gutiérrez Elorza, 1994).

La Cuenca del río Lillas situada en la vertiente sur presenta, por el contrario, una geomorfología más compleja. El piedemonte y la superficie de las cumbres quedan separados por una serie de rellanos o elevaciones intermedias como transición hacia la cuenca del Tajo. En esta zona las cabeceras de los ríos carecen de cuencas de recepción típicas en abanico, tampoco abundan los perfiles transversales progresivos, de forma que pasan de gargantas a barrancos y de éstos a valles aluviales. Si se atiende al modelado de las vertientes y procesos de coluvionamiento en esta sierra, se observa que estos fenómenos están ligados a la escorrentía, sobre todo fluvial o periglacial, encontrándose taludes muy activos

asociados a vaguadas de escorrentía difusa, cuencas de recepción torrencial, etc. Las vertientes de esta sierra carecen de perfiles suaves y de recubrimientos importantes. La acción fluvial, sin duda la más activa, no ha podido anular la morfología anterior, y la acción glaciaria y periglaciaria sólo ha hundido las cumbres o generado modificaciones locales y la acción gravitacional tampoco ha sido capaz de generar un modelado especialmente intenso. Las laderas en esta zona, aparecen poco coluvionadas.

La situación de los perfiles en los escarpes o laderas, incide en la evolución de los mismos, dando suelos de escaso desarrollo y poco profundos.

En la Figura 3.1.1 se muestra, a nivel general, la red hidrográfica en la que se localizan las cuencas de los ríos Riaza y Lillas.

El río Riaza nace en el Cancho de la Pedrosa, muy cerca del collado de la Quesera. Pertenece a la cuenca hidrográfica del río Duero, en el que desemboca directamente después de recorrer más de cuarenta kilómetros sin recibir afluentes importantes (Figura 3.1.2).

El río Lillas nace cerca del Cerro de Mesa Peñota, durante su curso alto va recibiendo el agua de numerosos arroyos y barrancos. Pertenece a la Cuenca hidrográfica del Tajo, en el que desemboca pasando por el Sorbe, el Henares y el Jarama (Figura 3.1.3).

Figura 3.1.1.- Cuencas hidrográficas de los ríos Riaza y Lillas.

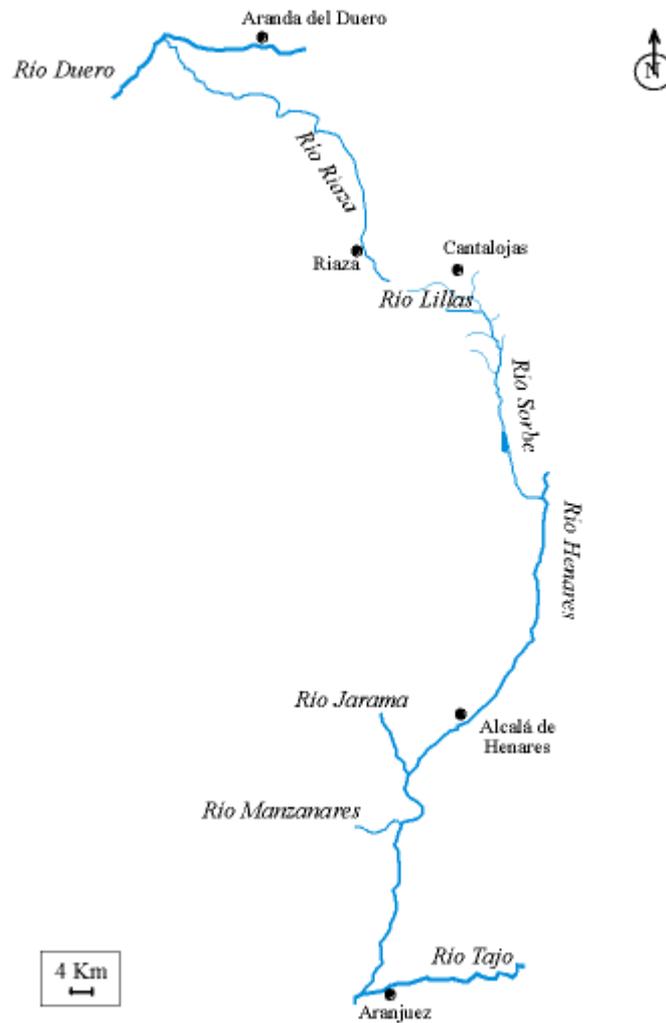


Figura 3.1.2.-Red hidrográfica local del tramo alto del río Riiza.

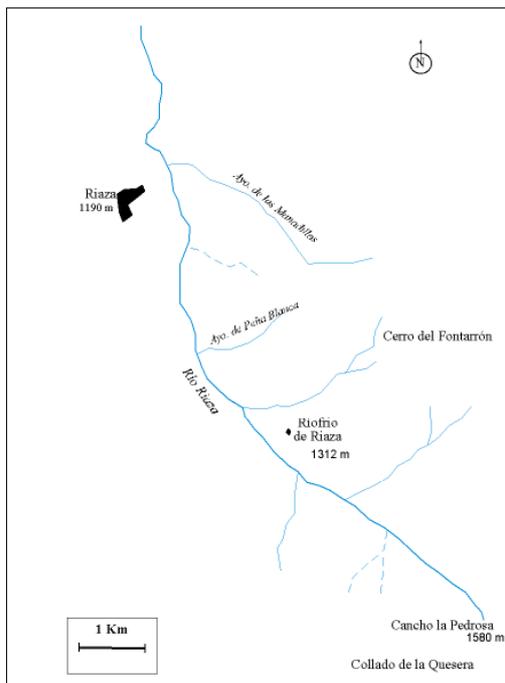
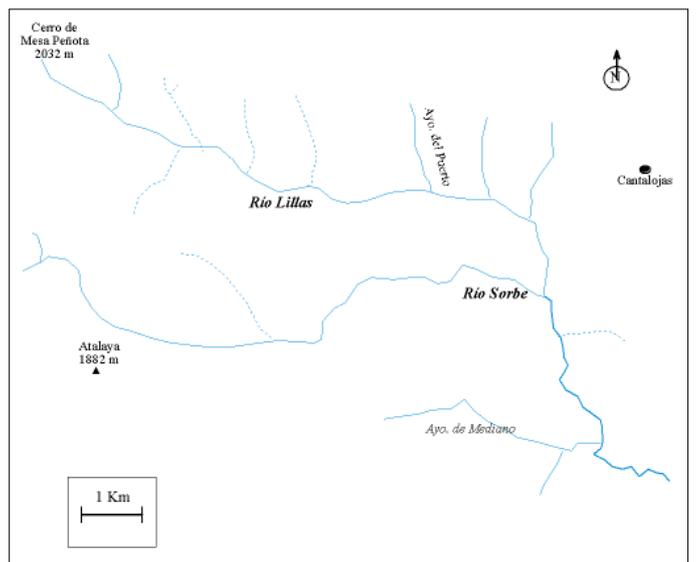


Figura 3.1.3.- Cuenca hidrográfica del río Lillas.



3.2 Geología

El Sistema Central, denominado también Cordillera Carpetovetónica o Central, constituye una larga cadena montañosa de unos 500 km de longitud, que divide a la meseta ibérica en dos unidades: la submeseta norte y la submeseta sur.

La cordillera Central se originó por fracturación durante el Terciario Superior, y sus materiales se formaron a su vez por metamorfismo y granitización de sedimentos paleozoicos durante la orogenia herciniana.

Puede considerarse que el Sistema Central comienza en las estribaciones orientales de la Sierra de Ayllón, cuya cumbre más elevada es el pico del Lobo (2.273 metros), continúa hacia occidente por Somosierra (pico de las Tres Provincias, 2.129 metros), que junto al puerto del mismo nombre abre paso al amplio conjunto de alineaciones de la Sierra de Guadarrama.

El sector más occidental de la Sierra de Ayllón, denominado Somosierra-Ayllón, forma un conjunto definido por terrenos paleozoicos. El ordovícico está formado en la base por cuarcitas, cuarcitas con intercalaciones esquistosas y pizarras; y en el techo cuarcitas que aparecen en bancos y masivos (Foto 3.2.1). En el tramo inferior se identifican pizarras satinadas algo micáceas y junto a ellas pizarras cuarcíticas de tonalidades más claras, que hacia el techo de la formación se hacen ampelíticas. En el silúrico se repite la misma serie que en el ordovícico, en la parte inferior cuarcitas claras, encima pizarras negras de grano fino que a veces se hacen arenosas (IGME, 1971).

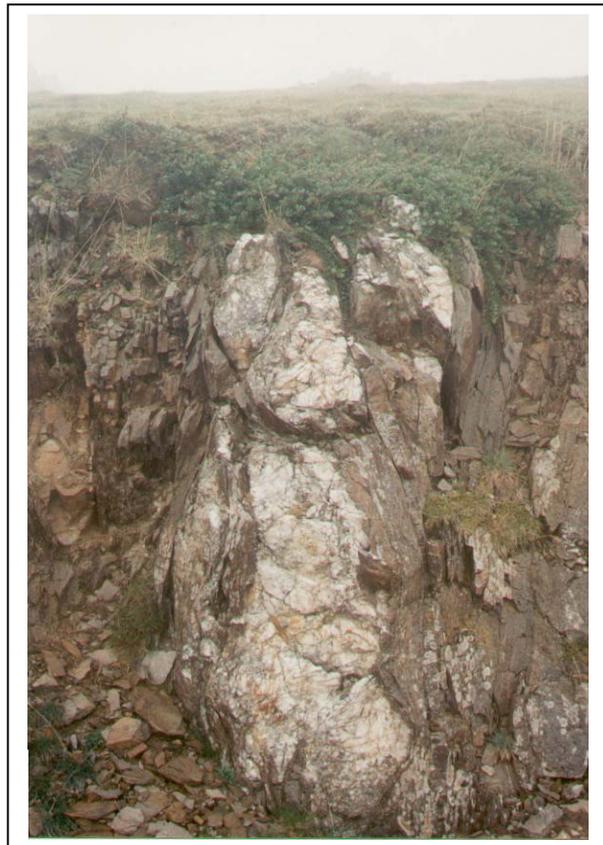


Foto 3.2.1.- Cuarcitas y Esquistos.

3.3 Vegetación

Todo la zona se agrupa en la provincia corológica: provincia Carpetano ibérico-leonesa o sector guadarrámico subsector ayllonense que representa un enclave de características únicas a nivel botánico en el sistema central (Ibáñez et al., 1982). Se distingue de otros de la provincia carpetana por la menor continentalidad del clima que se traduce en la sustitución del piso montano de coníferas de *Pinus silvestris* por otro caducifolio de *Fagus sylvatica* en umbrías favorecidas por el microclima o por la expansión de las masas zonales inferiores de *Quercus pyrenaica* en áreas de climatología más contrastada.

Simultáneamente los matorrales de alta montaña constituidos principalmente por el piorno (*Cytisus purgans*) son sustituidos en el macizo de Ayllón por brezales, *Erica arborea*, *E. australis* y el arándano (*Vaccinium myrtillus*).

El macizo de Ayllón se diferencia de otras áreas de montaña del Sistema Central por ser el límite meridional de distribución de los hayedos peninsulares y de otras especies de características centroeuropeas.

El Sistema Ibérico dirección Norte-Sur tuvo gran importancia en la migración del haya desde la España eurosiberiana hasta el macizo de Ayllón. Así en las épocas favorables para los caducifolios el haya tuvo oportunidad de migrar desde el norte de España a través de las sierras de Figueras, Demanda y Moncayo hasta el Sistema Central donde han quedado acantonadas en la Sierra de Ayllón.

La serie supramediterránea ayllonense silicícola del haya se encuentra únicamente refugiada en el puerto de la Quesera y en Cantalojas (Guadalajara), en zonas cuyos valores climáticos se sitúan en un termoclima frío (7-9°C) y un ombroclima húmedo (1200-1500 mm). Hoy en día, al haber disminuido las precipitaciones de verano, estos bosques se han hecho más xéricos por lo que *Fagus sylvatica* se ha quedado como relicto en aquellas situaciones microclimáticamente favorecidas que le recuerdan la oceanidad de épocas pasadas. Las hayas no resisten ni heladas tardías ni sequedad durante los calores del verano, de forma que los hayedos del Sistema Ibérico se sitúan en las laderas

que reciben las corrientes de aire fresco y húmedo que durante el verano pasan de la submeseta norte a la sur a través de los collados serranos. Esto explica la posición de estos hayedos en la vertiente sur de la sierra cuando lo lógico en general sería la cara norte, más fría y espuesta a las lluvias del otoño y primavera, así, aunque el enfriamiento de las masas de aire que remontan el macizo y provocan precipitaciones son difíciles de evaluar, relegan al haya a posiciones microclimáticas favorables (Foto 3.3.1) dentro de las grandes áreas climáticas de melojares.



Foto 3.3.1.- Aspecto general del hayedo de la Pedrosa entre la niebla.

Fitosociológicamente, los hayedos del Sistema Central, pertenecen a la asociación *Galio rotundifolii-fagetum* (Rivas Martínez, 1962). Estos bosques, forman masas puras con escaso sotobosque y cobertura herbácea, probablemente pertenezcan a restos de la vegetación postglaciar que debieron ocupar mayores extensiones en el Sistema Central en épocas no muy lejanas. El suelo está cubierto por una espesa capa de hojarasca que puede dar lugar a diferenciados horizontes orgánicos.

En las zonas del puerto de la Quesera en que los hayedos se introducen en los dominios del melojar utilizando la humedad ambiental de los márgenes del

río Riaza, el cortejo florístico es el típico del *Luzulo-Quercetum pyrenaicae* que constituye la alianza típica de los bosques en galería o ripisilvas de estos enclaves. Las etapas de degradación de estos hayedos pertenecen a los brezales de la asociación *Halimio ocymoidis-Ericetum aragonensis*.

En el puerto de la Quesera el haya parece presentar tres unidades fitoecológicas (Ibáñez, 1982): la primera situada a menor altitud es la de influencia ripisilvica, con abundante matorral ripisilvícola y con influencia de las etapas de sustitución del melojar de altura, la segunda sería el hayedo monoespecífico (respecto a especies arbóreas y arbustivas) y por último la que se encuentra situada a mayor altitud con presencia de especies de brezal permanente, y arándano (*Vaccinium myrtillus*), y donde los pies de haya se encuentran retorcidos y achaparrados (Foto 3.3.2).



Foto 3.3.2.- Aspecto general de la segunda unidad fitoecológica del hayedo de la Pedrosa.

Corresponden a las masas de *Q. pyrenaica*, los bosques de mayor extensión del macizo de Ayllón. El *Q. pyrenaica* (roble castellano, melojo o rebollo) es endémico de la península ibérica, es un árbol estrictamente silicícola, de suelos pobres y excelente movilizador de bases. Soporta la xericidad estival aunque tiene mayores exigencias pluviométricas que las encinas (Rivas Goday et al., 1955); pertenece al grupo de los *Quercus marcescentes* que se caracterizan por la persistencia en el árbol de las hojas marchitas que sólo caen al comienzo

del nuevo periodo de foliación. Este fenómeno presenta un carácter más acusado en los pies jóvenes y en los rebrotes estoloníferos, particularmente en las ramas basales.

Debido al tradicional aprovechamiento de las masas de melojo en régimen de monte bajo (ramoneo de ganado y aprovechamiento de la madera para carboneo) la mayor parte de la fitomasa aérea no sobrepasa los veinte o treinta años de edad. Sus masas han sido duramente castigadas por el hombre a lo largo de los años, su actual persistencia en extensas áreas se ha visto favorecida por su intensa y eficaz reproducción vegetativa, que le hace rebrotar constantemente a partir de numerosos estolones subterráneos.

Nos encontramos fundamentalmente con masas jóvenes en las que el vuelo de las copas todavía no ha provocado sombra suficiente para eliminar las plantas del matorral instaladas tras la degradación o tala de bosques (Foto 3.3.3).

Las buenas condiciones de los suelos de melojar permiten que vivan en su seno algunas especies propias de bosques basófilos como *Ajuga rotundifolia*, *Melica uniflora* y *Trifolium medium*, junto a los genuinos acidófilos de los melojares sobre sustratos silíceos

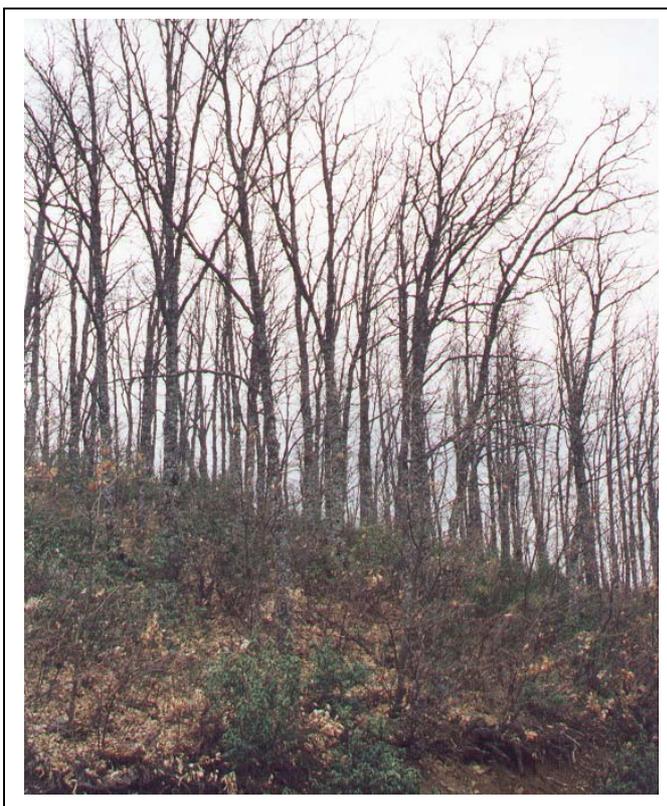


Foto 3.3.3.- Aspecto general del Melojar.

como *Holeum mollis*, *Lonicera peridymenum*, *Melampyrum pratense*, *Tencrium seorodinia* y *Veronica officinalis*, entre otras.

Los bosques de *Q. pyrenaica* pertenecen al dominio climático del *Luzulo-Quercetum pyrenaica* que a través de la subasociación *raniculatorum* se pone en contacto con los márgenes del río.

En estos bosques puede aparecer como etapa de sustitución la asociación *Halimio-Cistetum laurifolii* (Rivas Martínez, 1968) que es característica de las pizarras y cuarcitas silúricas, típicas del borde oriental del Sistema Central; este jaral se encuentra muy empobrecido respecto a las asociaciones más ricas del centro y occidente de la cordillera (Rivas Martínez, 1979), y se caracteriza por la presencia de la cistácea *Halimium ocymoides* y por poseer un estrato de *Cladonia rangiformis*.

En zonas más altas que apenas han sido explotadas por el hombre el melojar va acompañado por un estrato arbustivo de brezos con *Erica arbórea*, *E. australis*, *Arctostaphylos uva-ursi* y *Cytisus scoparius*. De esta forma el *Halimio-Cistetum laurifolii* va dando paso progresivamente al *Halimio ocymoidis-Ericetum aragonensis* (Rivas Martínez, 1963).

La especie más característica de este brezal es la *Erica australis* subsp. *aragonensis* que condiciona la formación de humus tipo mor, como consecuencia de la desfavorable evolución de los restos vegetales del brezo. Estos brezales también pueden ser etapa de sustitución de la zona ocupada por los hayedos del *Galio rotundifolii-Fagetum* (Foto 3.3.4)



Foto 3.3.4.- Brezales como etapa de sustitución del hayedo.

En el puerto de la Quesera, además de lo anterior, hay que resaltar la existencia del piso del matorral altitudinal de alta montaña por encima del piso del *Galio rotundifolii-Fagetum*. En el macizo de Ayllón, los piornales parecen poseer muy poca entidad y se encuentran situados en posiciones occidentalizadas como es el caso del puerto de la Pinilla.

Toman especial importancia los brezales con *Erica arbórea*, *E. australis*, *Juniperus nana*, etc., actuando siempre como especie pionera acompañados de la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*), también es característica la presencia del arándano (*Vaccinium myrtillus*) y *Pterospartum tridentatum* que escasean en los restantes brezales del macizo (Ibáñez et al., 1982)

Los brezales disclimácicos altitudinales (Foto 3.3.5) parecen estar incluidos en la misma asociación que las etapas de degradación de los hayedos. La presencia del canchal ha determinado, al menos en el transecto de estudio, el incompleto asentamiento de todas las especies correspondientes al brezal. El brezal no parece experimentar una fuerte presión antrópica (rozas, fuego, pastoreo, etc.) ya que, de otra forma, no se explicaría la presencia de especies tan sensibles a estas prácticas como *Juniperus communis*, *Vaccinium myrtillus*, etc.



Foto 3.3.5.-Aspecto general del brezal disclimácico altitudinal.

Los pastizales climácicos o “pastizales psicroxerófilos oromediterráneos” se desarrollan en el Sistema Central a partir de los 2000 metros de altitud si bien en zonas donde la ventisca determina la desecación constante y la reducción de la

cobertura nívica estas formaciones pueden descender en altitud. Este fenómeno ya fue observado por Hernández y Saiz (1978) en el Macizo de Ayllón, adquiriendo entonces el carácter de pastizales disclimáticos cacuminales.

En las cumbres del puerto de la Quesera, las condiciones especiales que concurren, hacen que el pastizal psicroxerófilo sea sustituido por una pradera subhigrófila de nardetas aunque de facies alpinizada y de carácter muy xérico (Rivas Martínez, 1963). Esto se traduce en que su fisonomía posea un aspecto almohadillado y escalonado más típico de los pastizales psicroxerófilos que de las praderas de nardetas (Foto 3.3.6). El asentamiento de estas últimas en el enclave analizado parece ser debido a su carácter de ventisquero donde la nieve puede cubrir el suelo hasta bien entrada la primavera. La inclinación de la ladera inhibe la instalación de nardetas más húmedas y la aparición de propiedades hidromórficas en los horizontes superficiales de los suelos que se allí se desarrollan.



Foto 3.3.6.- Aspecto general de la pradera de nardetas en el Collado de la Quesera.

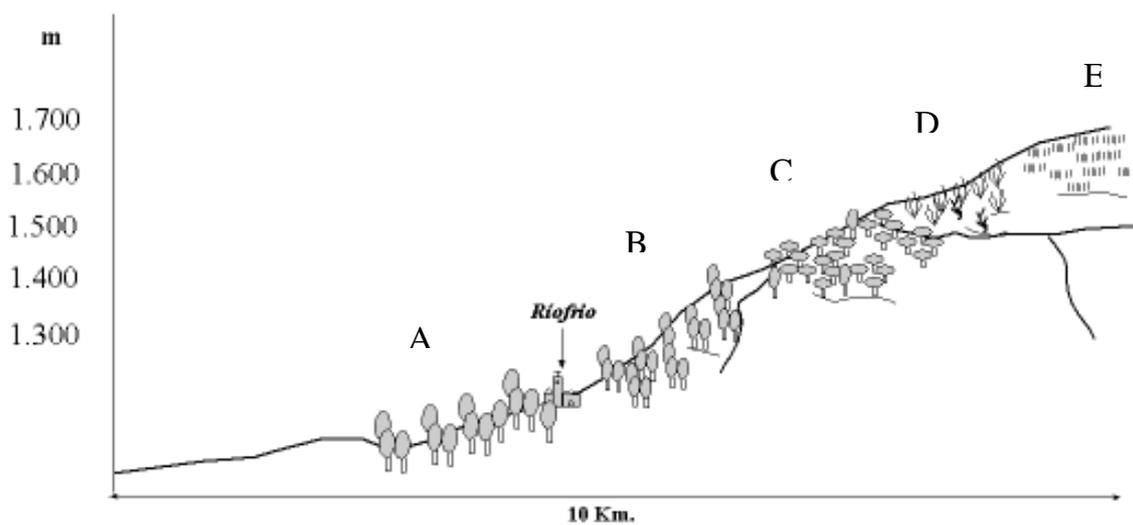
En la cuenca del río Lillas se describen prados inundados temporalmente en las llanuras de inundación del río Lillas. Estos prados fueron agrupados por Mayor (1975) en la Asociación *Cicendietun filiformis* perteneciente a la alianza *Nanocyprion* y al orden *Cyperetalia fusci*. Se presentan en la zona montana,

bajo el dominio climácico del *Luzulo-Quercetum pyrenaico*. Las plantas más frecuentes en estos prados son *Scirpus setaceus* y *Antinoria agrostidea* y de forma más escasa se encuentran *Radiola linoides* y *Spergula rubra ssp. capillacea* (Foto 3.3.7).



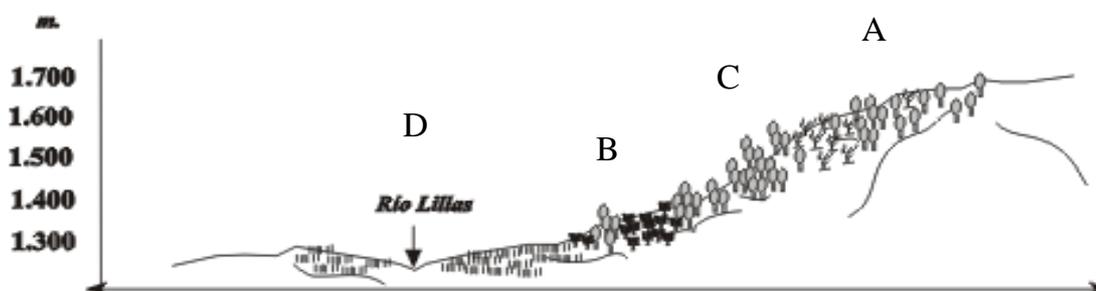
Foto 3.3.7.- Pastizal de inundación en la cuenca del río Lillas.

La serie de vegetación desarrollada en el puerto de la Quesera (Figura 3.3.1), comprende las asociaciones *Halimio-Ericetum aragonensis*, *Galio Rotundifolii-Fagetum*, *Luzulo-Quercetum pyrenaicae* y *Halimio Ericetum Cinerarum*, de mayor a menor altitud, y en el Collado de la Quesera la pradera de nardetas sustituyendo al pastizal psicroxerófilo. En la cuenca del río Lillas (Figura 3.3.2) los melojares de la asociación *Luzulo-Quercetum pyrenaica* generalmente son sustituidos por la asociación *Halimio-Cistetum laurifolii* y en las zonas localizadas a mayor altitud por la asociación *Halimio ocymoidis-Ericetum aragonensis*.



A.- Asociación *Halimio-Ericetum cinerae*; B.- Asociación *Luzulo-Quercetum pyrenaicae*
 C.- Asociación *Galio Rotundifolii-Fagetum*; D.- Asociación *Halimio-Ericetum aragonensis*
 E.- Pradera de nardetas.

Figura 3.3.1.-Serie de vegetación en el Puerto de la Quesera.



A.- Asociación *Luzulo-Quercetum pyrenaica*.
 B.- Asociación *Halimio-Cistetum laurifolii*.
 C.- Asociación *Halimio ocymoidis-Ericetum aragonensis*.
 D.- Asociación *Cicendietum filiformis*.

Figura 3.3.2 .-Serie de vegetación en la Cuenca del río Lillas.

3.4 Climatología

El reducido número de estaciones meteorológicas que existe en todo el área de estudio impide hacer una evaluación precisa de las temperaturas y precipitaciones en la zona. Además, en áreas de montaña, resulta difícil realizar extrapolaciones, ya que éstas podrían enmascarar los frecuentes fenómenos microclimáticos producidos como consecuencia de la compleja fisiografía.

Se tomaron los datos recogidos por las estaciones meteorológicas de Riaza, Riofrío de Riaza, Cerezo de Arriba “La Pinilla”, Cerezo de Arriba “Gran Plato” y Condemios de Arriba teniendo en cuenta una serie de factores:

- El ombroclima está condicionado en todo el Sistema Central por el régimen de los vientos ábregos, que debido a sus componentes dominantes -NE y SO-, hace que se produzca un notable incremento de la precipitación en las áreas más orientales y occidentales de la cordillera, como corresponde a la Sierra de Ayllón.
- Hacia el oriente del Sistema Central las precipitaciones aumentan de modo gradual, registrándose un máximo en la Sierra de Ayllón.
- Existe un periodo de actividad vegetativa muy corto, inferior a cinco meses, condicionado por las bajas temperaturas.
- En el Sistema Central se produce un aumento de la aridez estival de este a oeste debido a la influencia creciente en este mismo sentido del anticiclón de las Azores. La mínima aridez estival se presenta en el subsector Ayllonense.

En los climas templados, con precipitaciones importantes, a los que se suman periodos de insolación y sequía, la alteración mineral y orgánica puede dar suelos genéticamente evolucionados. Este hecho puede verse frenado cuando la naturaleza de las rocas, los restos vegetales y la topografía no son los adecuados para favorecer la evolución de los mismos.

Las condiciones meteorológicas de las dos cuencas estudiadas son muy semejantes, con precipitaciones anuales que rondan los 1000 mm y una temperatura media anual de aproximadamente 8°C. La Cuenca del río Lillas se sitúa a una altitud media algo inferior que la del río Riaza, esto se manifiesta en una menor humedad relativa y un contraste estacional ligeramente mayor en el Lillas. La alternancia entre los periodos de humedad y desecación y las oscilaciones térmicas son una de las causas que facilitan el desarrollo de los procesos de humificación en los suelos de esta Cuenca.

Nombre de la estación: CEREZO DE ARRIBA "GRAN PLATO" SEGOVIA

Longitud: 3°28'24" Latitud 41°11'25"

Altitud: 1880

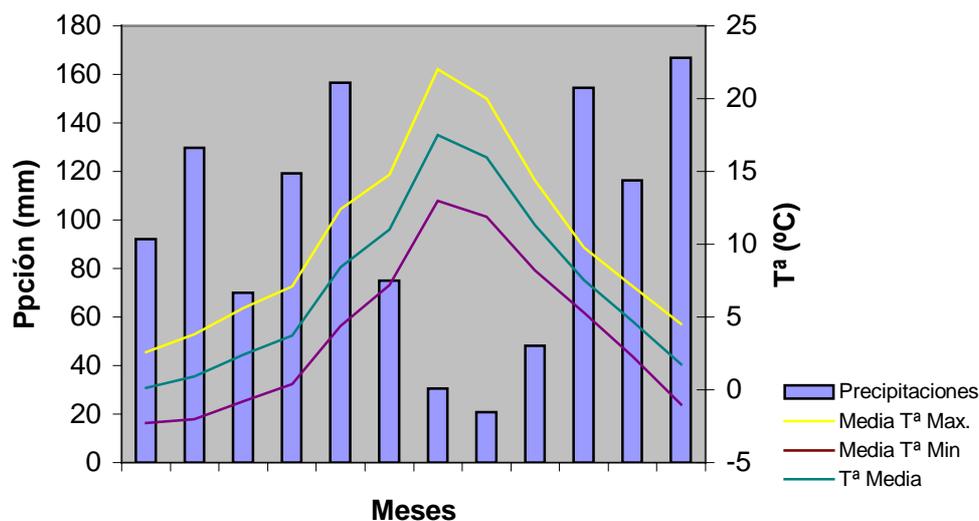
Meses	Precipitaciones (mm)	Media T ^a		T ^a Media (°C)
		Max (°C)	Min (°C)	
Enero	92,1	2,6	-2,3	0,2
Febrero	129,8	3,8	-2	0,9
Marzo	70,1	5,6	-0,8	2,4
Abril	119,1	7,1	0,4	3,8
Mayo	156,7	12,4	4,4	8,4
Junio	74,9	14,8	7,2	11,0
Julio	30,4	22	13	17,5
Agosto	20,8	20	11,9	16,0
Septiembre	48,2	14,4	8,2	11,3
Octubre	154,5	9,8	5,3	7,6
Noviembre	116,2	7,1	2,3	4,7
Diciembre	166,9	4,5	-1	1,8

Precipitaciones total= 1179,7 mm.

Temperatura media= 7,1°C

Ombroclima: Húmedo.

Piso bioclimático: Supramediterráneo.



Nombre de la estación: CEREZO DE ARRIBA "LA PINILLA" SEGOVIA

Longitud: 3°28' 20" Latitud 41°12' 35"

Altitud: 1500

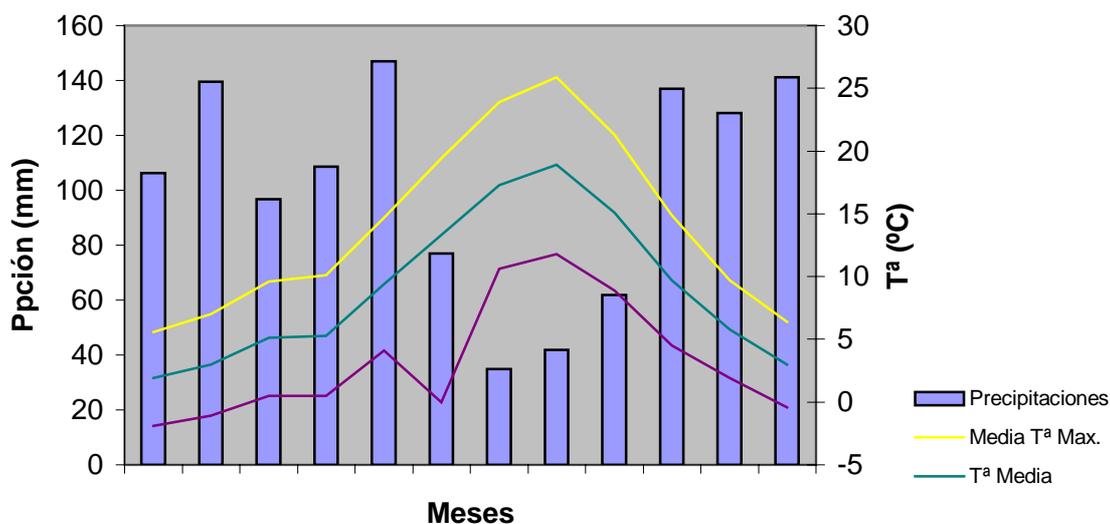
Meses	Precipitaciones (mm)	Media T ^a		T ^a Media (°C)
		Max (°C)	Min (°C)	
Enero	106.2	5.6	-1.9	1.9
Febrero	139.6	7	-1.1	3.0
Marzo	96.7	9.6	0.5	5.1
Abril	108.6	10.1	0.5	5.3
Mayo	147.0	14.7	4.1	9.4
Junio	76.9	19.4	7,2	13.3
Julio	35.0	23.9	10.6	17.3
Agosto	41.8	25.9	11.8	18.9
Septiembre	61.8	21.3	8.9	15.1
Octubre	137.0	14.9	4.5	9.7
Noviembre	128.2	9.7	1.9	5.8
Diciembre	141.1	6.4	-0.4	3.0

Precipitaciones total: 1219.9 mm

Temperatura media: 8.9 °C

Ombroclima: Húmedo.

Piso bioclimático: Supramediterráneo.



Nombre de la estación: RIOFRÍO

Longitud: 3°27'20" Latitud: 41°14'45"

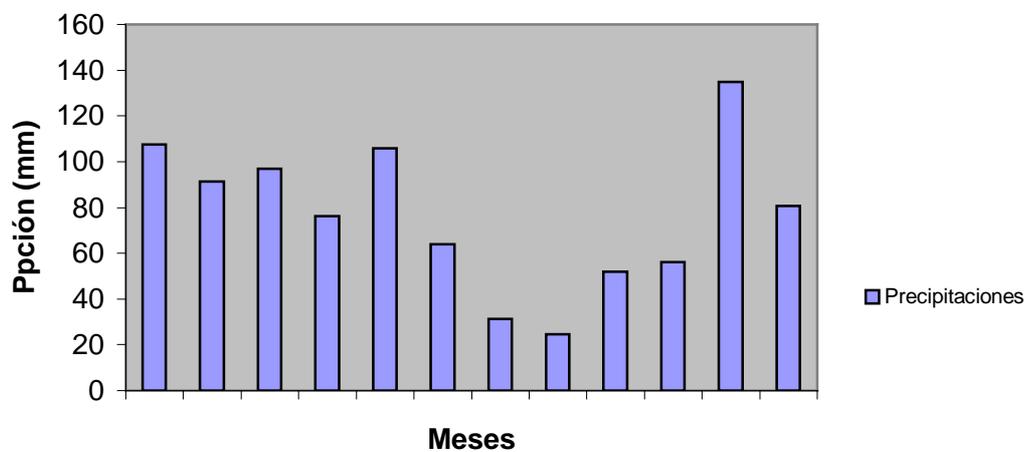
Altitud: 1312

Meses	Precipitaciones (mm)
Enero	107.6
Febrero	91.2
Marzo	96.9
Abril	76.1
Mayo	105.9
Junio	63.9
Julio	31.2
Agosto	24.6
Septiembre	52.0
Octubre	56.2
Noviembre	134.9
Diciembre	80.6

Precipitaciones total= 921.1 mm.

Ombroclima: Subhúmedo.

Piso bioclimático: Supramediterráneo.



Nombre de la estación: CONDEMIOS DE ARRIBA

Longitud: 3°07'20" Latitud 41°13'40"

Altitud: 1320

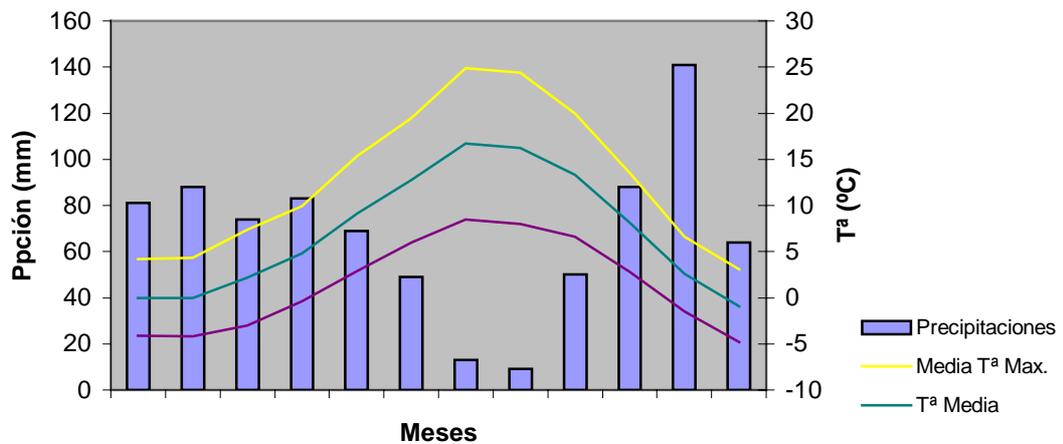
Meses	Precipitaciones (mm)	Media T ^a		T ^a Media (°C)
		Max (°C)	Min (°C)	
Enero	81	4.2	-4.1	0
Febrero	88	4.3	-4.2	0
Marzo	74	7.4	-3	2.2
Abril	83	9.9	-0.4	4.8
Mayo	69	15.3	2.9	9.1
Junio	49	19.5	6	12.8
Julio	13	24.9	8.5	16.7
Agosto	9	24.4	8	16.2
Septiembre	50	20.0	6.6	13.3
Octubre	88	13.5	2.8	8.1
Noviembre	141	6.6	-1.5	2.6
Diciembre	64	3.1	-4.8	-0.9

Precipitaciones total: 809 mm

Temperatura media: 7.1 °C

Ombroclima: Subhúmedo..

Piso bioclimático: Supramediterráneo.



4. MÉTODOS

4.1 MÉTODOS DE CAMPO

Se realizó una ficha de campo con los siguientes datos:

- a) Descripción del perfil: información acerca del sitio de la muestra e información general acerca del suelo.
- b) Descripción de los horizontes del suelo según las normas de la FAO (1977)

4.2 DETERMINACIONES GENERALES

Se realizaron las siguientes determinaciones generales:

Físicas: análisis granulométrico y determinación del color.

Químicas: nitrógeno total, carbono total, determinación del pH y capacidad de cambio catiónico.

Mineralógico: Análisis mineralógico de las fracciones arena, limo y arcilla.

4.2.1 DETERMINACIONES FÍSICAS

Análisis granulométrico.- Se siguió el método descrito en ISRIC 1993. Se empleó hexametafosfato sódico como dispersante, la materia orgánica se oxidó mediante tratamiento con H₂O₂. Las distintas fracciones de la arena: 2000-500 micras, 500-250 micras, 250-100 micras y 100-50 micras, se obtuvieron por tamización; las fracciones del limo: 50-20 micras y 20-2 micras; y la arcilla: tamaño inferior a 2 micras, se obtuvieron mediante la pipeta de Robinson siguiendo los tiempos de sedimentación indicados en ISRIC 1993.

Determinación del color.- Se determina el color según la nomenclatura del Método “Soil color charts” (Munsell 1975, USA) tomando muestras en seco y en húmedo de cada uno de los horizontes y comparándolas con los colores de la escala Munsell. La escala de colores Munsell se rige por unos parámetros que nos definen el color del espectro: Rojo (R), Amarillo (Y), Naranja (YR), la variación de la intensidad clasificada del 1 al 10 (Value) y la pureza del color (Chroma).

4.2.2 DETERMINACIONES QUÍMICAS

Determinación del nitrógeno total.- Se ha determinado por el método de Kjeldahl (ISRIC, 1987). Fundamento: se pasa todo el nitrógeno a forma amónica, atacando con SO_4H_2 concentrado en exceso. El SO_4H_2 reacciona con todo el nitrógeno formando $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$. A continuación una cantidad conocida de la solución que contiene el sulfato amónico se trata con NaOH liberándose NH_3 y SO_4Na_2 . El amoniaco se valora con ácido sulfúrico N/70. Para la determinación se empleó el aparato de destilación de Bouat-Afora.

Determinación del carbono total.- Oxidación por vía húmeda según el método de Walkley and Black (1974). Se siguió el método propuesto por ISRIC 1993, siguiendo el procedimiento de Walkley and Black. Fundamento: Se oxida la materia orgánica del suelo con $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$ en medio sulfúrico y se valora el exceso de oxidante con una solución valorada de sal de Mohr: $(\text{SO}_4)_2\text{Fe}(\text{NH}_4) \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, en presencia de difenil amina como indicador.

Determinación de la capacidad de cambio catiónico.- Percolación con acetato de amonio a pH 7,0 según el método de Schollemberg y Simon (1945) modificado por Guitian Ojea (1976). Fundamento: Se basa en la saturación del complejo de cambio mediante la percolación de las muestras con una disolución

de acetato amónico. Esta desplaza a los cationes de su posición de cambio, siendo ocupadas estas posiciones por NH_4^+ que queda fijado en el suelo. El NH_4^+ fijado es desplazado del suelo con ClNa y posteriormente valorado con H_2SO_4 N/70 en el aparato de destilación Bouat-Afora.

El grado de saturación (V) es la razón entre los cationes de cambio (S) y la capacidad total (T), calculado en tanto por ciento.

Determinación del pH (H₂O-ClK).- Se ha determinado la acidez actual (medio acuoso en suspensión suelo:agua 1:2.5) y acidez de cambio siguiendo la metodología propuesta por ISRIC 1993.

4.2.3 ANÁLISIS MINERALÓGICO

Análisis mineralógico de la fracción arena.- Se realizó el análisis mineralógico de las fracciones de la arena de 500 a 200 micras y de 200 a 50 micras según la metodología descrita en ISRIC 1993. Después de eliminar la materia orgánica con H_2O_2 30%, y los recubrimientos de hierro con una solución bufer de citrato y bicarbonato sódico a 75°C y ditionito sódico, se lava con ClNa 1M para diferenciar las dos fracciones de la arena del limo y la arcilla por tamizado en húmedo. Cada una de las fracciones de la arena es tratada con bromoformo lo que permite separar la arena con densidad superior a 2.9 g/cm^3 de la arena con densidad inferior a 2.9 g/cm^3 . La fracción densa ($d > 2.9$) se prepara con Bálsamo de Canadá para su estudio al microscopio óptico y la fracción ligera ($d < 2.9$) previa tinción diferencial con hemateína y nitrato de sodio y cobalto y observación e identificación directa al microscopio.

Análisis mineralógico de la fracción arcilla.- La extracción de arcilla para su estudio por difracción de Rayos X se realizó por sedimentación controlada, previa eliminación de la materia orgánica y dispersión de los agregados. La identificación de la arcilla y la roca triturada a tamaño menor de 2

micras se realizó en un difractómetro Philips x`perd MPD, radiación $k\alpha$ de Cu, siguiendo las indicaciones de Brindley y Brown (1980), Nemezc (1981) y Brown (1972) entre otros. Se obtuvieron difractogramas de rayos X sobre agregados orientados, solvatados con etilén glicol y calentados a 550 °C durante dos horas.

4.3 DETERMINACIONES ESPECÍFICAS

Junto a las determinaciones físicas y químicas de carácter general se realizó el estudio detallado de las distintas formas de hierro y aluminio en todos los horizontes, y un completo fraccionamiento de la materia orgánica en los horizontes más representativos.

4.3.1 DETERMINACIÓN DE HIERRO Y ALUMINIO

Se determinó el hierro y el aluminio total, junto con las fracciones de hierro y aluminio denominadas libre, activo y ligado a materia orgánica.

Hierro y aluminio total.- Fundamento: Se libera todo el hierro y el aluminio presente en la muestra mediante el ataque en caliente con ácido perclórico y ácido fluorhídrico, empleando reactores a presión PHAXE 2000 (Duchafour y Souchier, 1966). La muestra atacada se recoge con HCl 6 N y se lleva a 100 ml con agua destilada determinándose por técnicas de espectroscopia de absorción atómica.

Hierro y aluminio libre.- Se determina según el método de Mehra y Jackson descrito en ISRIC 1993. La muestra se ataca con una solución búfer (citrato de sodio y bicarbonato sódico) añadiendo ditionito sódico como reductor. El hierro y el aluminio se determinan por técnicas de espectroscopia de absorción atómica.

Hierro y aluminio activo.- Se siguió el método descrito por ISRIC 1993. La muestra se agita durante cuatro horas en oscuridad con una solución de acetato amónico y ácido oxálico. El hierro y el aluminio se determinan por técnicas de espectroscopia de absorción atómica.

Hierro y aluminio ligado a materia orgánica.- Se siguió el método propuesto por ISRIC 1993. Se agita la muestra durante dieciséis horas con una solución de pirofosfato sódico. El pirofosfato extrae selectivamente hierro y aluminio complejados con materia orgánica. El hierro y el aluminio se determinan por técnicas de espectroscopía de absorción atómica.

4.3.2 FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA

Se realizó el fraccionamiento de la materia orgánica siguiendo el método propuesto por Toutain (1981).

Se disuelve la muestra en una mezcla de bromoformo y alcohol, se agita y centrifuga recogiendo el sobrenadante con densidad menor a 1,84 en el que se determina el carbono libre e incluye materia orgánica fresca o muy poco transformada. Con el residuo se realiza un tratamiento con ultrasonidos para dispersar los agregados más débiles y se recoge un nuevo sobrenadante en el que se determina la humina heredada.

Al nuevo residuo se le aplica un tratamiento con una mezcla de pirofosfato y sulfato sódico, se centrifuga y quedan en el sobrenadante los ácidos fúlvicos y los ácidos húmicos y en el residuo la humina de insolubilización extraíble y la humina de insolubilización no extraíble o residual. Al añadir ácido sulfúrico concentrado se produce la precipitación de los ácidos húmicos y permite separarlos de los ácidos fúlvicos que quedan en forma soluble en el sobrenadante. Para extraer la humina de insolubilización extraíble se trata el residuo con

pirofosfato sódico, hidróxido sódico y sulfato de sodio, lo que permanece insoluble en el residuo es la humina de insolubilización no extraíble.

5. MATERIAL

5.1 Localización de los puntos de muestreo

Se tomaron perfiles de suelos representativos de la zona en los términos municipales de Riofrío de Riaza y Cantalojas, que albergan las Cuencas del río Riaza (Cuenca hidrográfica del Duero) y del río Lillas (Cuenca hidrográfica del Tajo) respectivamente. La extensión estudiada de las dos cuencas es aproximadamente 30 Km² y la distancia que separa el nacimiento de los dos ríos de unos 5 Km (Figura 5.1.1)

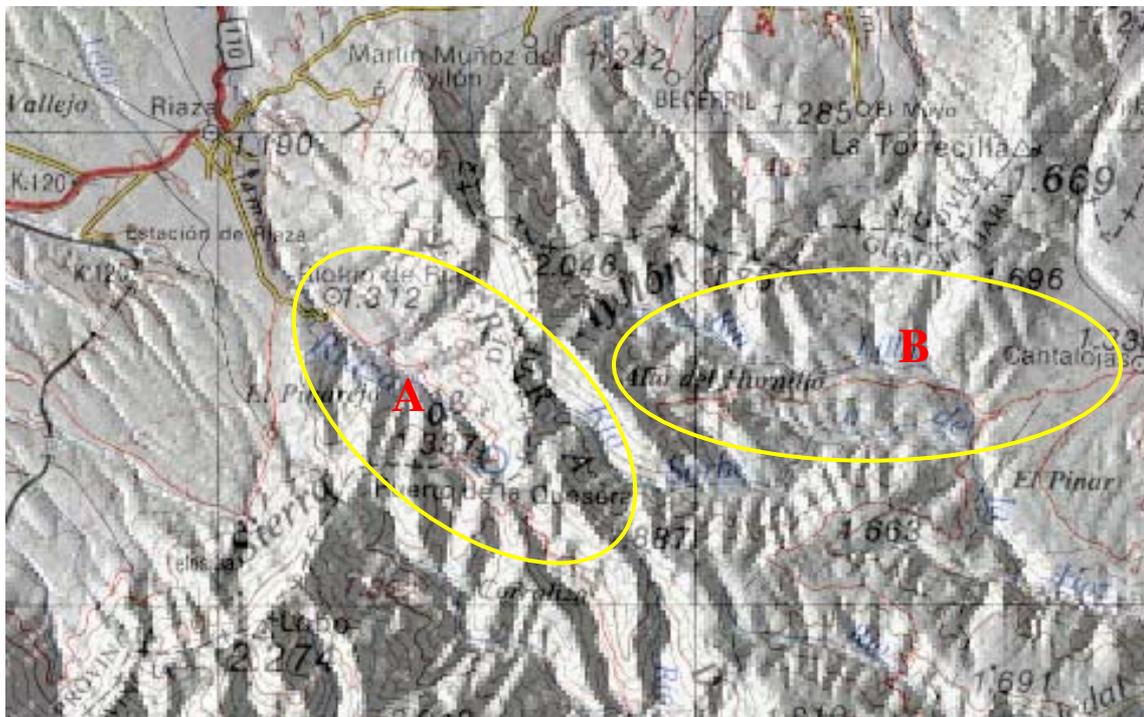


Figura 5.1.1.- Localización geográfica de las Cuencas del río Riaza (A) y del río Lillas (B)

El río Riaza se forma a partir de las aguas recogidas en el Collado de las Lagunas y en el Collado de la Quesera, a una altitud de unos 1700 metros. Cuando sus aguas llegan a la localidad de Riofrío de Riaza han salvado un desnivel de 400 metros y han recorrido unos 5 Km con una pendiente media del 8%. El río Lillas presenta una extensa cuenca de recepción, con importantes pendientes, de los 1900 metros del collado de Buitrera se alcanzan los 1500 metros en apenas 2Km, en este punto la pendiente se suaviza y el río discurre por un ancho cauce hasta unir sus aguas con las del río Sorbe después de unos 7 km cuando la altitud ha descendido hasta los 1300 metros, por tanto la pendiente

media de este tramo es de apenas un 3% lo que permite el depósito de materiales aluviales. Durante este tramo el río Lillas recoge las aguas del barranco de los Chorros, el Arroyo del Puerto, el Barranco de la Tonda y el Barranco de los Prados, esto aumenta el aporte de materiales aluviales de la misma naturaleza que todas las rocas de la zona.

El lugar en el que se tomaron las muestras viene indicado en el siguiente diagrama (Figura 5.1.2) y en el mapa topográfico que le acompaña (Figura 5.1.3)

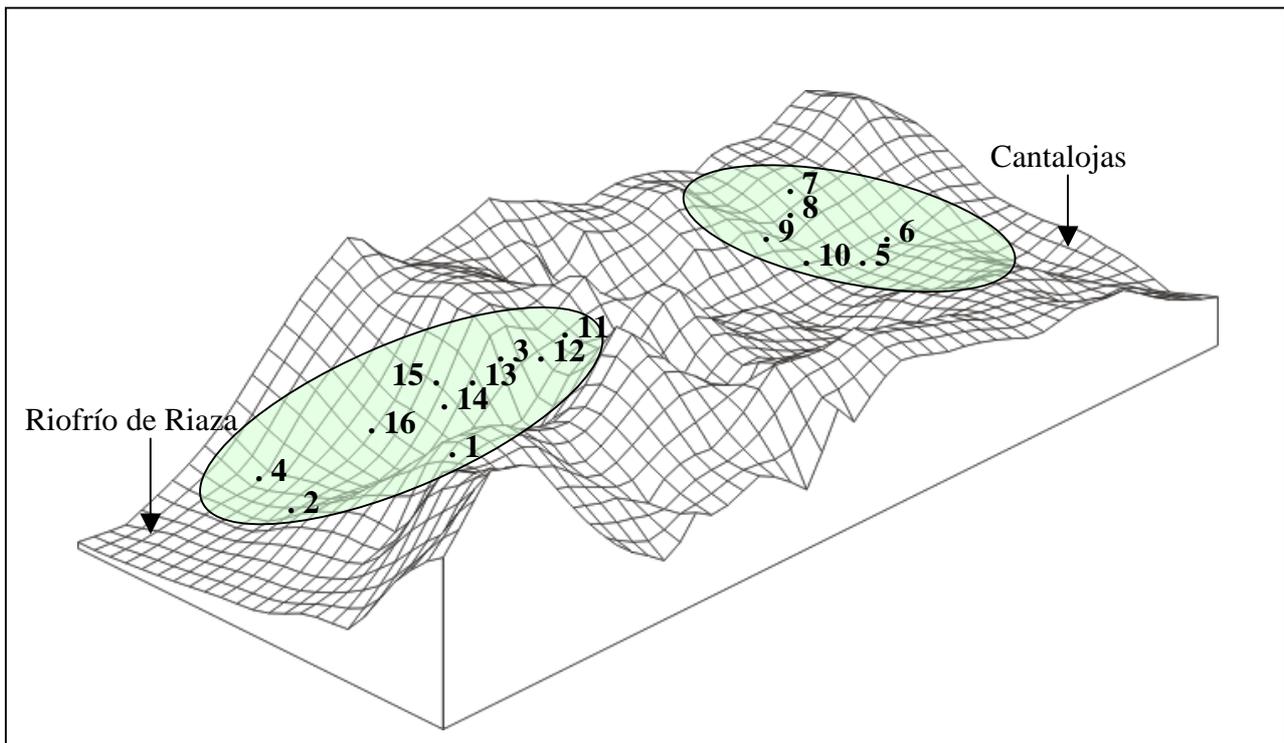


Figura 5.1.2.- Puntos de muestreo en un perfil altitudinal del área de estudio.

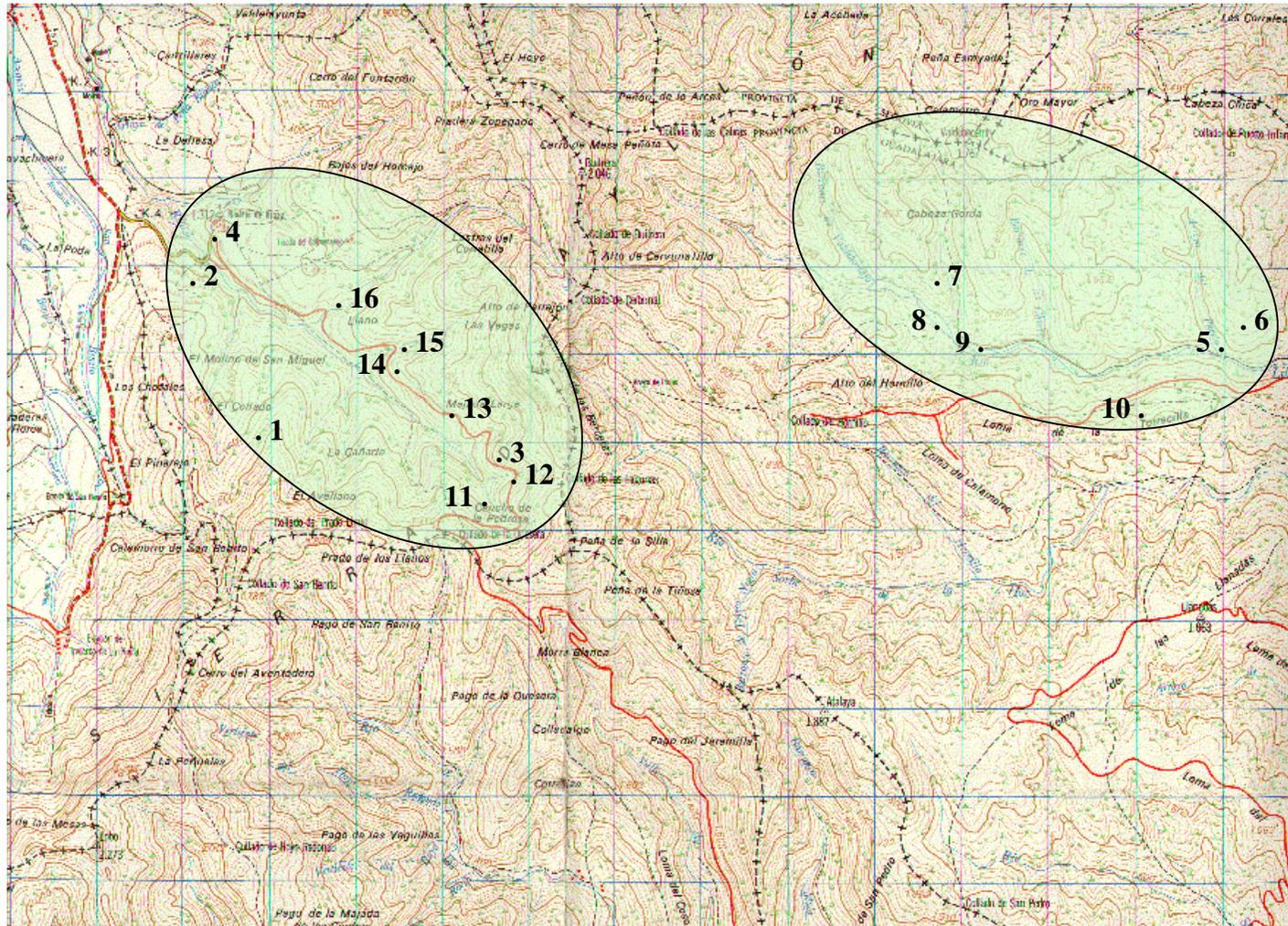


Figura 5.1.3.- Localización topográfica de los puntos de muestros

5.2 Propiedades morfológicas

Se presentan en la tabla 5.2.1 las principales características morfológicas de los perfiles tomados en la Cuenca del río Riaza, agrupados por unidades de suelo. En la tabla 5.2.2 se recogen las características morfológicas de los suelos estudiados en la Cuenca del río Lillas, también agrupados por unidades de suelo.

Todos las muestras se encuentran en un terreno circundante de tipo montañoso, entre una altitud de 1.300 a 1.700 metros, en laderas que presentan pendientes del tres al cuarenta por ciento, con orientaciones variables, fundamentalmente Norte, Noroeste y Oeste.

La vegetación bajo la que se desarrolla es de tipo melojar, brezal, hayedo, jaral o pradera, presentándose en algunos casos influencia de distintos tipos de vegetación.

Los materiales de partida de tipo metamórfico comprenden esquistos, pizarras y cuarcitas, y en algunos suelos con influencia aluvial o coluvial, mezcla de estos materiales

PERFIL	LOCALIZACIÓN	VEGETACIÓN	MATERIAL DE PARTIDA	PTE.. (%)	ALTITUD (m)	FISIOGRAFÍA	TERRENO CIRCUNDANTE	ORIENTACIÓN	COORD. UTM
LPd ALF 1	La Pinilla	Melojar y brezo	Esquisto micáceo	25	1500	Rellano en ladera	Montañoso	NORTE	46093 456235
LPd ALF 2	Riofrío de Riaza	Melojar	Esq. Mic. feldespáticos	10	1300	Ladera	Montañoso	NORTE NOROESTE	46190 456615
LPu ALF 4	Riofrío de Riaza	Melojar	Cuarcitas	20	1300	Ladera	Montañoso	SUDOESTE OESTE	46245 456610
LPu ALF 12	Cancho de la Pedrosa	Pradera y Brezal	Cuarcitas y Esquistos	15	1700	Ladera	Montañoso	OESTE	46515 456310
LPI ALF 15	Hayedo de la Pedrosa	Hayedo	Cuarcitas	7	1430	Rellano en ladera	Montañoso	OESTE	46440 456510
RGh ALF 13	Majada larga	Hayedo y Brezal	Esquistos y Cuarcitas	40	1520	Ladera	Montañoso	OESTE	46510 456420
RGh ALF 16	Puerto de la Quesera	Hayedo, Melojar, Brezal	Esquistos y Cuarcitas	10	1360	Ladera	Montañoso	ESTE	46365 456520
PZe ALF 3	Cancho de la Pedrosa	Brezal	Pizarras cuarcíferas	4	1550	Ladera	Montañoso	NOROESTE	46570 456380
PZu ALF 14	Hayedo de la Pedrosa	Hayedo	Esquistos y Cuarcitas	5	1430	Rellano en ladera	Montañoso	OESTE	46440 456505
CMm ALF 11	Collado de la Quesera	Pradera	Pizarras y Esquistos	3	1710	Ladera	Montañoso	OESTE	46495 456310

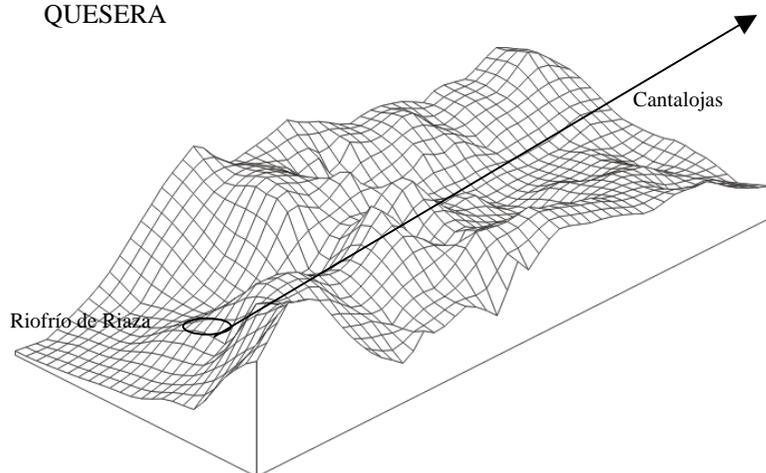
Tabla 5.2.1.-Localización e información general de los perfiles del Puerto de la Quesera.

PERFIL	LOCALIZACIÓN	VEGETACIÓN	MATERIAL DE PARTIDA	PTE.. (%)	ALTITUD (m)	FISIOGRAFÍA	TERRENO CIRCUNDANTE	ORIENTACIÓN	COORD. UTM
LPu ALF 7	Margen del río Lillas	Jaral y Melojar	Esquistos	25	1420	Ladera	Montañoso	SUR	47050 456570
LPu ALF 10	Pista hacia Majaelrayo	Brezal	Pizarras	15	1360	Rellano en ladera	Montañoso	NORTE	47560 456280
LPm ALF 9	Loma de la Torrecilla	Melojar	Esquistos	40	1540	Ladera	Montañoso	NORTE	47150 456440
RGh ALF 8	Margen del río Lillas	Pradera	Esquistos	15	1420	Ladera	Montañoso	NORTE	47070 456515
FLu ALF 5	Margen del río Lillas	Jaral y Pradera	Pizarras y Esquistos	15	1340	Ladera	Montañoso	NORTE	47585 456405
FLg ALF 6	Margen del río Lillas	Pradera	Pizarras y Esquistos	0	1340	Rellano	Montañoso	OESTE	47590 456410

Tabla 5.2.2.- Localización e información general de los perfiles de la cuenca del río Lillas.

LEPTOSOLES





Leptosol dístico ALF 1

Localización: La Pinilla.
Coordenadas UTM: 46093 456235
Vegetación: Melojar y brezo.
Material de partida: Esquisto micáceo.
pte: 25%
Altitud: 1500 metros.
Fisiografía: Rellano en ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Norte.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-18	10YR 5/4	10YR 6/4	Ar	gra.m.	a	2f	+	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-raíces:** MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-actividad humana.**

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica			Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							V (%)	%arena 2000-50	%limo g. 50-20	%limo f. 20-2	%arcilla ¹ ≤2
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T					
Ah	5.5	5.1	8.8	0.3	16.5	0.07	0.18	0.09	0.32	0.66	6.94	9.44	86.5	4.7	5.9	2.9

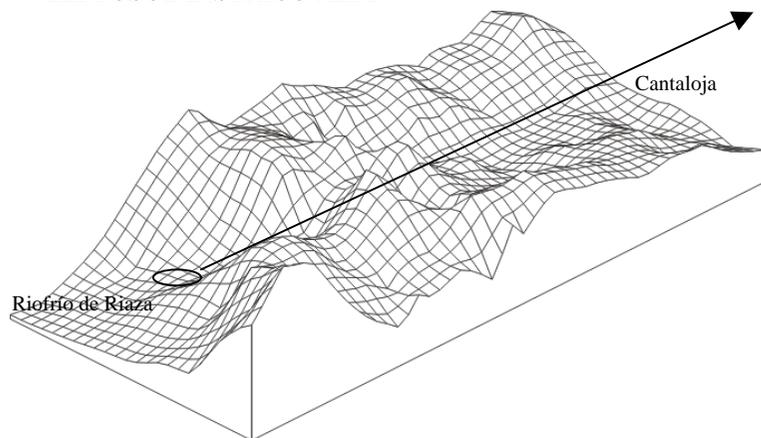
Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	C libre	Humus (en % respecto al total de carbono)			Hierro (en %)				Aluminio (en %)					
		H.H	A.F.	A.H	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	28.7	14.2	0.9	11.4	33.8	11.1	1.4	0.5	0.1	3.4	0.9	0.8	0.3	6

C libre: Carbono libre; **H.H.-Humina heredada;** **A.F.-Ácidos fúlvicos;** **A.H.-Ácidos húmicos;** **H.I.E.-Humina insoluble extraíble;** **H.I.-humina insoluble no extraíble o residual.**

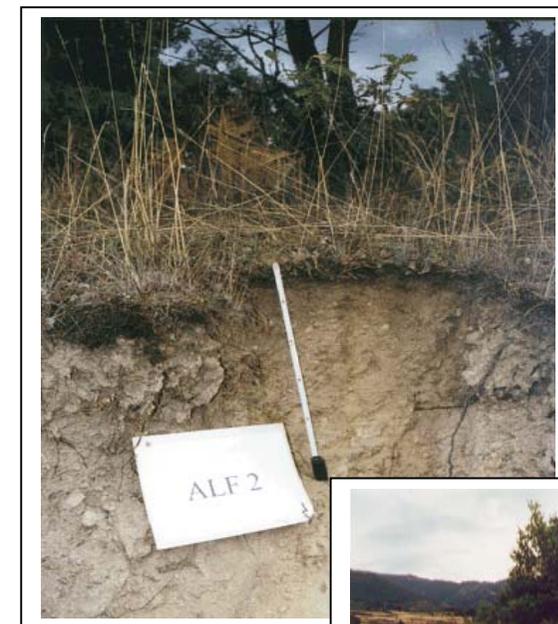
d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Leptosol dístrico ALF 2

Localización: Riofrío de Riaza.
Coordenadas UTM: 46190 456615
Vegetación: Melojar.
Material de partida: Esquistos micáceos.
pte %: 10%
Altitud: 1300 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Norte/Noroeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-10	10YR 4/3	10YR 4/3	Fco.ar.	gr.m.	e	3f	+	+
AB	10-20	10YR 5/6	10YR 6/3	Ar.Fca.	p.	e	1f	-	-
CB	20-30	10YR 6/4	10YR 7/3	Ar.Fca.	p.	e	1f	-	-
C	30-50	10YR 7/3	10YR 8/3	Ar.Fca.	p.	a	0m	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; fib.-fibrosa; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-raíces:** MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-actividad humana.**

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena	% limo g	% limo f	% arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V (%)				
Ah	5.4	4.9	8.4	0.4	11.4	0.02	0.53	0.83	2.08	3.46	16.54	20.9	68.8	9.4	12.8	9.1
AB	5.5	1.6	2.8	0.2	6.8	0.02	0.24	0.27	0.63	1.16	10.02	11.52	75.0	7.8	10.7	6.7
CB	5.5	0.5	0.9	0.2	2.8	0	0.16	0.16	0.34	0.66	7.21	8.73	80.1	5.0	9.6	5.3
C	5.4	0.2	0.3	0.2	1.1	0	0.14	0.14	0.31	0.59	5.93	9.47	78.1	6.1	10.4	5.3

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)				Aluminio (en %)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H	H.I.E.	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	30.72	13.72	0.72	13.52	28.98	12.34	1.9	0.5	0.2	3.7	1.3	1.1	0.5	14.7
AB							2.2	0.4	0.2	3.2	2.1	1.5	0.4	19.1
CB							2.1	0.2	0.2	3.2	0.9	0.8	0.4	20.5
C							1.4	0.2	0.1	2.8	0.8	0.7	0.2	16.9

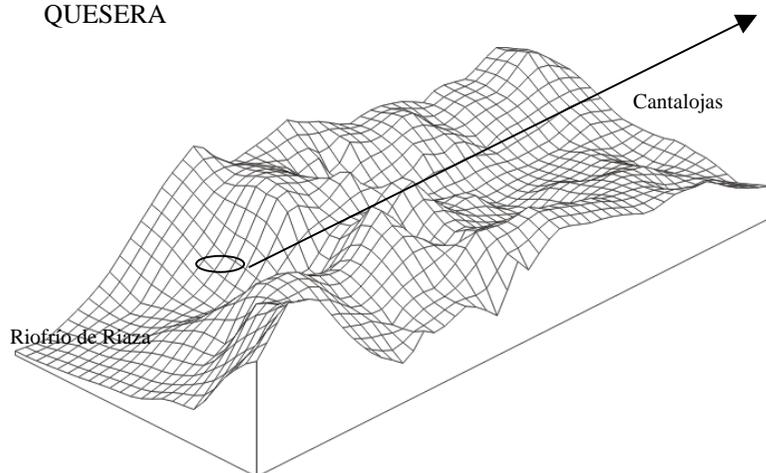
C libre: Carbono libre; **H.H.-Humina heredada;** **A.F.-Ácidos fúlvicos;** **A.H.-Ácidos húmicos;** **H.I.E.-Humina insoluble extraíble;** **H.I.-humina insoluble no extraíble o residual.**

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.

LEPTOSOL ÚMBRICO ALF4
QUESERA

PUERTO DE LA



Leptosol úmbrico ALF 4

Localización: Riofrío de Rianza
Coordenadas UTM: 46245 456610
Vegetación: Melojar.
Material de partida: Cuarzitas y esquistos micáceos
pte %: 20 %
Altitud: 1300 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Suroeste/Oeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-15	10YR 3/3	10YR 3/2	Fca.	gra.m.	a	2F	+	-
AC	15-35	10YR 4/3	10YR 5/6	Fca.	p.	a	1F	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa Fca.-franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.**-raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes

A.B.-actividad biológica **A.H.**-actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

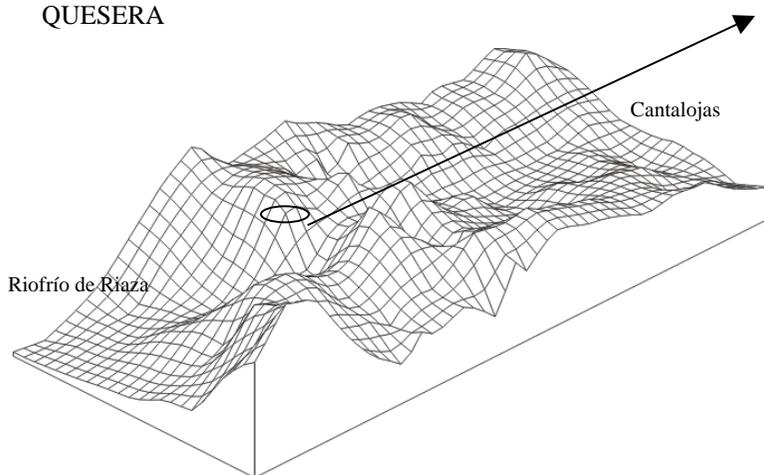
Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena	% limo g	% limo f	% arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V(%)				
Ah	5.9	5.6	9.6	0.5	10.9	0.02	0.92	1.27	4.29	6.5	23.78	27.35	37.8	17.6	22.0	22.6
AC	5.6	1.0	1.7	0.2	5.0	0.02	0.35	0.61	1.13	2.11	11.32	18.69	45.5	18.8	17.1	18.5

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono))					Hierro (en %)				Aluminio (en %)				
	C libre	H.H.	A.F.	A.H.	H.I.E.	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	29.38	11.81	0.24	28.02	11.96	18.60	2.5	0.7	0.2	3.3	0.8	0.8	0.5	13.1
AC							2.1	0.5	0.2	3.2	1.8	1.3	0.3	8.3

C libre: Carbono libre; **H.H.**-Humina heredada; **A.F.**-Ácidos fúlvicos; **A.H.**-Ácidos húmicos; **H.I.E.**-Humina insoluble extraíble; **H.I.**-humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.**- Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Leptosol úmbrico ALF 12

Localización: Cancho de la Pedrosa.
Coordenadas UTM: 46515 456310
Vegetación: Pradera y brezo.
Material de partida: Cuarzitas y esquistos
pte %: 15 %
Altitud: 1700 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Oeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-25	7.5YR 3/2	7.5YR 4/2	Fca.	lgra.	e	3m	+	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa Fca.-franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.**-raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes

A.B.-actividad biológica **A.H.**-actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena 2000-50	% limo g. 50-20	% limo f. 20-2	% arcilla ¹ ≤2
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V				
Ah	5.1	6.7	11.5	0.5	13.6	0.30	0.31	1.81	4.59	7.02	22.75	30.85	49.86	9.36	20.13	20.66

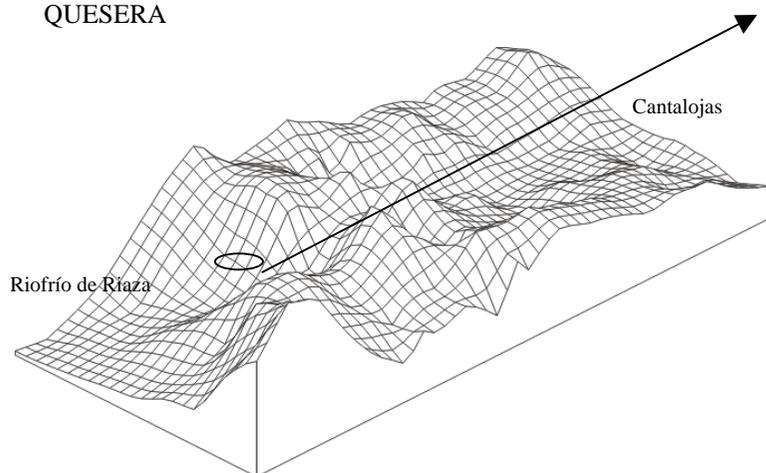
Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)					Aluminio (en %)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T	
Ah	23.31	12.91	9.11	30.36	11.20	13.11	2.0	0.5	0.2	3.0	1.4	0.4	0.4	7.3	

C libre: Carbono libre; **H.H.**-Humina heredada; **A.F.**-Ácidos fúlvicos; **A.H.**-Ácidos húmicos; **H.I.E.**-Humina insoluble extraíble; **H.I.**-humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Leptosol lítico ALF 15

Localización: Hayedo de la Pedrosa.
Coordenadas UTM: 46440 456510
Vegetación: Hayedo.
Material de partida: Cuarzita.
pte: 7%
Altitud: 1420 metros.
Fisiografía: Rellano en ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Este.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-10	10YR 3/3	10YR 3/2	Fca.	gra.f	-	2f	+	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa, Fca.-franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-**raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-**actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica					Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena	% limo g.	% limo f.	% arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V					
Ah	4.8	9.7	16.6	0.5	19.3	0.24	0.43	1.10	2.99	4.76	26.95	17.66	38.44	16.21	26.64	18.71	

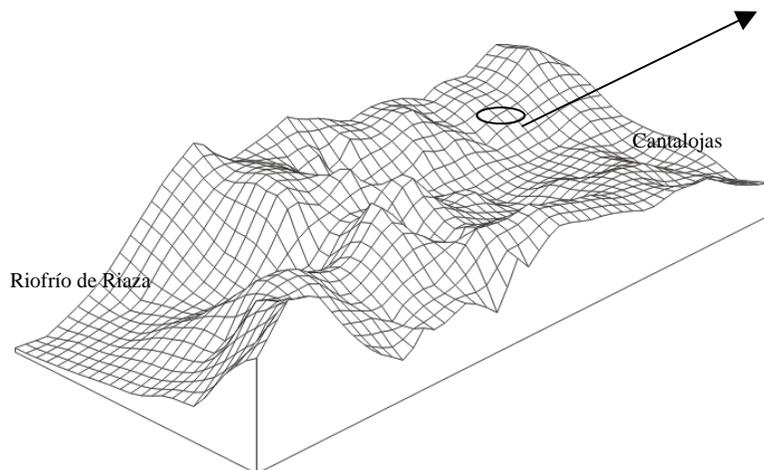
Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)				Hierro (en %)				Aluminio (en %)					
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	15.07	5.63	10.71	36.88	22.08	9.63	1.5	0.6	0.2	2.9	1.1	0.5	0.5	7.32

C libre: Carbono libre; **H.H.-**Humina heredada; **A.F.-**Ácidos fúlvicos; **A.H.-**Ácidos húmicos; **H.I.E.-**Humina insoluble extraíble; **H.I.-**humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Leptosol úmbrico ALF 7

Localización: Parking del Hayedo de Tejera Negra.

Coordenadas UTM: 47050 456570

Vegetación: Jaral.

Material de partida: Esquistos.

pte %: 25 %

Altitud: 1420 metros.

Fisiografía: Ladera.

Terreno circundante: Montañoso.

Orientación: Sur.

Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-15	10YR 3/3	10YR 5/3	Fca.	gra.f.	a	2F	+	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa Fca.-franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-raíces:** MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-actividad humana.**

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							Ar total	L grueso	L fino	Arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V (%)				
Ah	5.2	4.67	8.03	0.34	13.74	0.10	0.26	1.43	6.57	8.35	21.35	39.11	39.75	22.35	22.23	15.68

Humus (en % respecto al total de carbono)

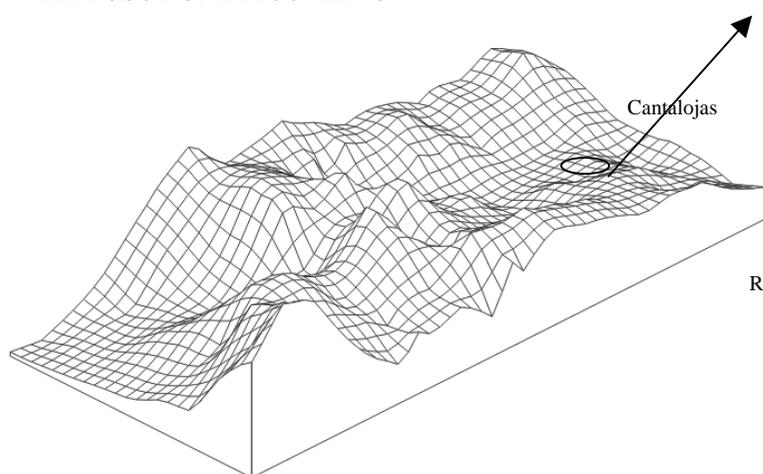
Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)				Aluminio (en %)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	13.72	7.46	8.89	28.27	23.74	17.93	2.5	0.5	0.1	3.74	1.6	0.4	0.3	7.3

C libre: Carbono libre; **H.H.-Humina heredada;** **A.F.-Ácidos fúlvicos;** **A.H.-Ácidos húmicos;** **H.I.E.-Humina insoluble extraíble;** **H.I.-humina insoluble no extraíble o residual.**

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.





Leptosol úmbrico ALF 10

Localización: Carretera de Cantalojas a Majaelayo.

Coordenadas UTM: 47560 456280

Vegetación: Brezal.

Material de partida: Pizarra.

pte %: 15%

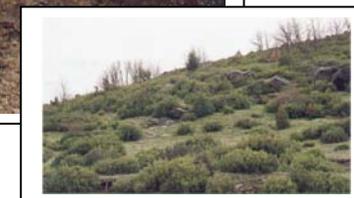
Altitud: 1360 metros.

Fisiografía: Rellano en ladera.

Terreno circundante: Montañoso.

Orientación: Norte.

Riofrío de Riáza



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah ₁	0-10	10YR 3/3	10YR 3/5	Fca.	lgra.	e	2f	+	-
Ah ₂	10-20	10YR 3/3	10YR 3/5	Fca.	lgra.	a	2f	+	-
C	20-40	10YR 6/4	10YR 6/4	Fca.	p.	a	-	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-**raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-**actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)								%arena 2000-50	%limo g. 50-20	%limo f. 20-2	%arcilla ¹ ≤2
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V					
Ah ₁	5.2	13.8	23.7	0.5	28.1	0.10	0.72	2.08	13.61	16.51	33.60	49.13	35.16	18.56	32.79	13.49	
Ah ₂	5.0	6.9	11.9	0.4	19.3	0.10	0.29	0.57	3.65	4.60	28.35	16.23	40.19	18.74	31.76	9.31	
C	5.4	0.4	0.8	0.2	2.6	0.10	0.13	1.23	3.84	5.29	17.15	30.87	26.18	23.53	24.75	25.55	

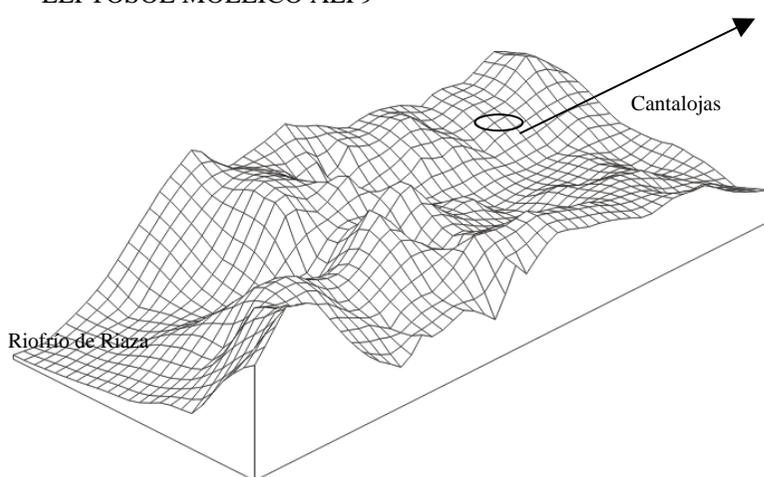
Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)				Aluminio (en %)				
	C libre	H.H.	A.F.	A.H.	H.I.E.	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah ₁	18.65	18.43	6.91	24.85	17.20	13.96	2.2	0.5	0.2	3.34	1.5	0.6	0.7	5.9
Ah ₂	12.27	8.60	10.41	32.56	18.38	17.79	2.6	0.5	0.2	5.82	1.6	0.8	0.7	3.4
C							1.1	0.2	0.1	3.36	1.8	0.5	0.3	3.6

C libre: Carbono libre; **H.H.-**Humina heredada; **A.F.-**Ácidos fúlvicos; **A.H.-**Ácidos húmicos; **H.I.E.-**Humina insoluble extraíble; **H.I.-**humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Leptosol móllico ALF 9

Localización: Loma de la Torrecilla.
Coordenadas UTM: 47150 456440
Vegetación: Brezo, melojo, jara.
Material de partida: Esquistos.
pte %: 40 %
Altitud: 1540 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Norte.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-15	7.5 YR 3/2	7.5 YR 3/3	Fca.	gra.f.	a	2F	+	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa Fca.-franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-raíces:** MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-actividad humana.**

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)								% arena	% limo g.	% limo f.	% arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V (%)					
Ah	5.4	12.4	21.4	0.8	14.8	0.10	1.18	4.14	19.20	24.62	35.70	68.96	30.53	24.10	25.25	20.12	

Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)				Hierro (en %)				Aluminio (en %)					
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.L	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	19.67	18.63	6.71	23.56	20.26	11.18	2.5	0.4	0.1	3.6	1.7	0.6	0.6	20.4

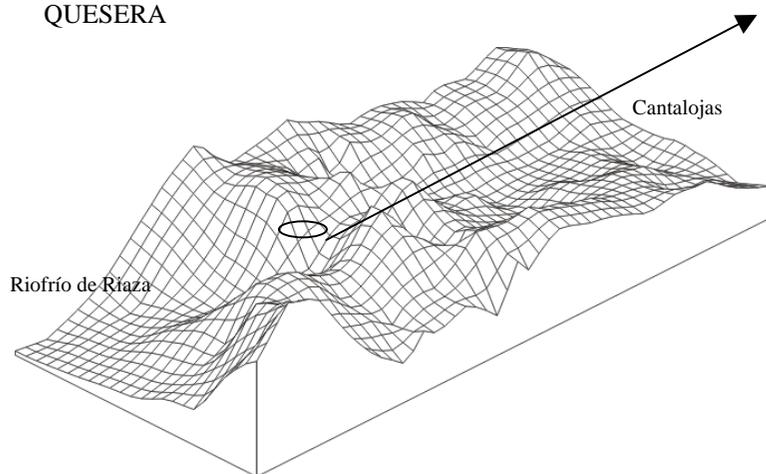
C libre: Carbono libre; **H.H.-Humina heredada;** **A.F.-Ácidos fúlvicos;** **A.H.-Ácidos húmicos;** **H.I.E.-Humina insoluble extraíble;** **H.L-humina insoluble no extraíble o residual.**

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.

REGOSILES





Regosol húmico ALF 13

Localización: Majada larga.
Coordenadas UTM: 46510 456420
Vegetación: Hayedo y brezal.
Material de partida: esquistos, cuarcita.
pte %: 40%
Altitud: 1520 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Oeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah ₁	0-15	7.5YR 4/2	7.5YR 4/3	Fca.	lgra.	a	1f	+	-
Ah ₂	15-35	7.5YR 4/4	7.5YR 4/6	L.Fca.	lgra.	a	1f	-	-
AC	35-65	10YR 5/6	7.5YR 5/6	L.Fca.	p.	a	-	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa, Fca.-Franca, L.Fca.-Limoso franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.**-raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.**-actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)								% arena	% limo g.	% limo f.	% arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V	2000-50				
Ah ₁	5.4	7.4	12.7	0.4	17.9	0.11	0.76	3.56	9.23	13.65	25.20	54.18	44.24	16.44	19.81	19.51	
Ah ₂	5.2	3.1	5.3	0.3	12.2	0.30	0.13	0.36	1.99	2.79	22.40	12.46	44.24	47.72	4.17	3.87	
AC	5.2	1.9	3.2	0.2	10.2	0.76	0.19	0.36	2.87	4.19	11.69	35.81	51.09	42.39	3.79	2.72	

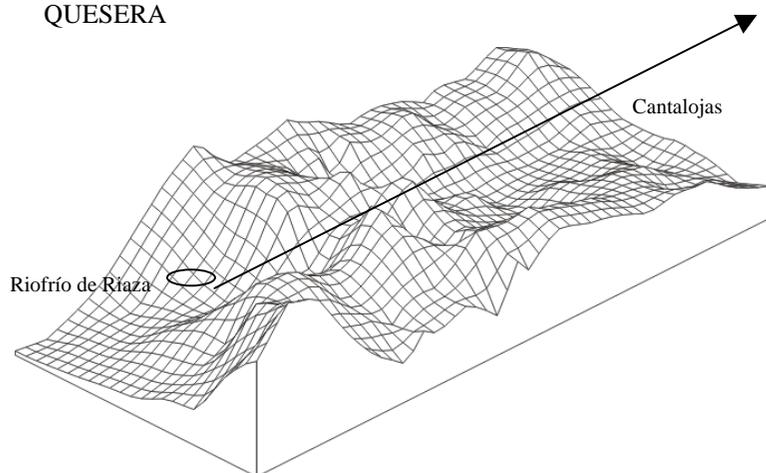
Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)					Aluminio (en %)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T	
Ah ₁	16.75	9.41	12.32	32.17	20.50	8.85	1.9	0.5	0.1	3.0	1.4	0.2	0.2	9.5	
Ah ₂	6.92	1.16	28.83	27.22	18.94	16.92	2.3	0.9	0.3	3.9	1.0	0.5	0.4	8.0	
AC							1.0	0.4	0.2	3.4	0.6	0.4	0.3	7.8	

C libre: Carbono libre; **H.H.**-Humina heredada; **A.F.**-Ácidos fúlvicos; **A.H.**-Ácidos húmicos; **H.I.E.**-Humina insoluble extraíble; **H.I.**-humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.**- Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Regosol húmico ALF 16

Localización: Puerto de la Quesera
Coordenadas UTM: 46365 456520
Vegetación: Haya, roble y brezo.
Material de partida: Esquistos y cuarcitas.
pte: 10%
Altitud: 1360 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Este.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah ₁	0-10	7.5YR 4/2	7.5YR 4/3	Fca.	lgru.	a	2f	+	-
Ah ₂	10-45	5YR 4/3	5YR 4/4	Fca.	lgra.	a	2f	-	-
AC	45-65	10YR 6/4	10YR 6/4	Fca.	p.	a	0	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa, Fca.-Franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular, gru.-grumosa; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.**-raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.**-actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)						% arena	% limo g.	% limo f.	% arcilla ¹	
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T					V
Ah ₁	5.5	7.4	12.8	0.4	18.1	0.30	0.52	3.25	8.67	12.74	19.74	64.52	44.41	15.31	22.98	17.31
Ah ₂	4.7	5.4	9.2	0.3	19.5	0	0.16	1.54	3.79	5.49	19.60	28.02	36.08	20.48	25.47	17.97
AC	5.6	3.0	5.2	0.2	13.5	0	0.05	0.37	3.19	3.61	10.15	35.54	47.09	20.14	20.14	12.64

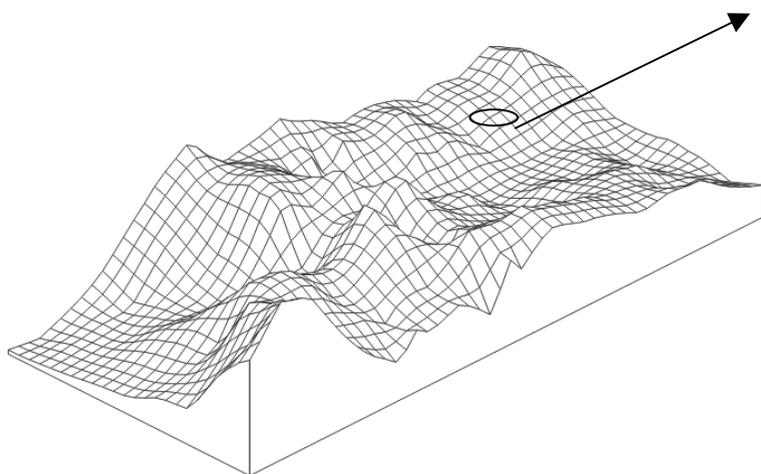
Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)				Hierro (en %)				Aluminio (en %)					
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah ₁	18.99	9.46	4.72	25.09	28.23	13.51	1.1	0.5	0.1	2.89	0.7	0.3	0.2	12.4
Ah ₂	13.56	2.49	12.62	34.06	24.36	12.91	1.6	0.6	0.2	3.63	0.9	0.5	0.3	27.8
AC	3.09	0.78	12.63	67.84	13.02	2.64	0.9	0.4	0.1	2.34	0.6	0.4	0.3	30.2

C libre: Carbono libre; **H.H.**-Humina heredada; **A.F.**-Ácidos fúlvicos; **A.H.**-Ácidos húmicos; **H.I.E.**-Humina insoluble extraíble; **H.I.**-humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.**- Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Regosol húmico ALF 8

Localización: Parking del Hayedo de Tejera Negra.
Coordenadas UTM: 47070 456515
Vegetación: Pradera.
Material de partida: Esquistos.
pte %: 15 %
Altitud: 1420 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Norte.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-55	5YR 3/2	5YR 4/2	Fca.	gra.f.	e	2F	+	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa Fca.-franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-**raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-**actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena	% limo g.	% limo f.	% arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V (%)				
Ah	5.4	7.02	12.07	0.44	15.95	0.10	0.19	1.23	5.50	7.02	23.10	30.39	42.45	21.57	22.32	13.65

Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus				Hierro				Aluminio					
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	14.53	13.40	7.18	21.14	24.60	19.15	1.9	0.5	0.1	3.07	1.9	0.5	0.4	8.3

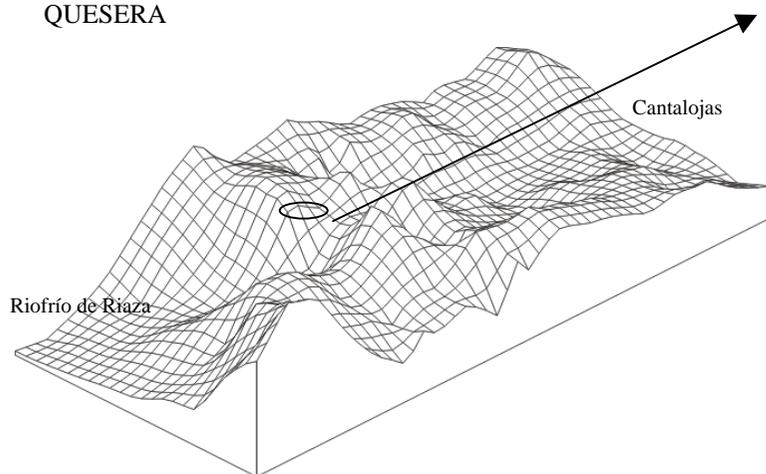
C libre: Carbono libre; **H.H.-**Humina heredada; **A.F.-**Ácidos fúlvicos; **A.H.-**Ácidos húmicos; **H.I.E.-**Humina insoluble extraíble; **H.I.-**humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.

PODSOLES





Podsol éntico ALF 3

Localización: Cancho de la Pedrosa.
Coordenadas UTM: 46570 456380
Vegetación: Brezal.
Material de partida: Pizarra cuarcífera.
pte %: 4%
Altitud: 1550 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Noroeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-15	10YR 2/2	10YR 3/2	Fco.Ar.	gra.m.	e	2M	+	-
AB _{hs}	15-30	10YR 3/2	10YR 3/3	Fco.Ar.	gra.m.	e	2M	-	-
BC	30-50	10YR 4/3	10YR 5/3	Fco.Ar.	p.	a	2G	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-**raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-**actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

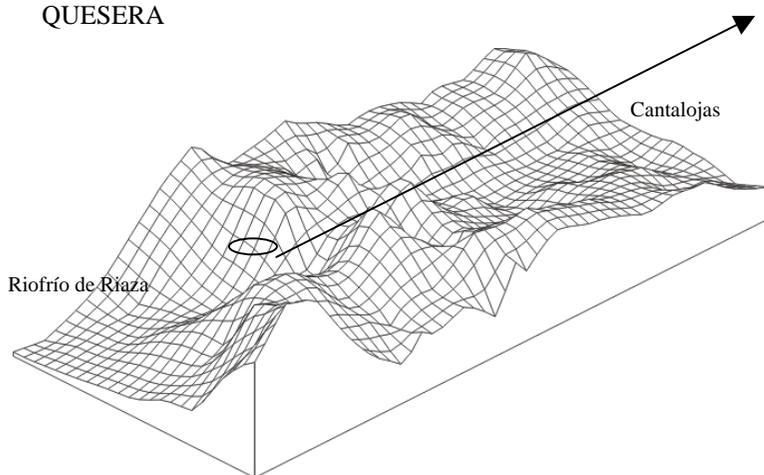
Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena	% limo g.	% limo f.	% arcilla ¹
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V(%)				
Ah	4.9	7.3	12.5	0.4	17	0.02	0.43	0.65	1.48	2.58	29.40	8.77	56.3	15.9	14.8	13.0
AB _{hs}	5.0	3.1	5.4	0.2	19.6	0.02	0.16	0.16	0.35	0.69	16.67	4.12	54.9	16.7	16.1	12.2
BC	5.1	0.9	1.5	0.2	5.4	0	0.10	0.06	0.11	0.27	11.16	2.22	66.4	17.2	10.6	6.0

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)				Aluminio (en%)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	17.58	10.53	3.53	41.15	11.98	15.23	2.4	1.0	0.4	3.0	0.6	0.6	0.6	9.0
AB _{hs}	13.83	6.97	14.26	26.06	21.05	17.83	2.3	1.2	0.9	3.2	1.9	1.7	0.9	5.8
BC							1.1	0.7	0.5	3.3	1.5	1.2	0.5	10.8

C libre: Carbono libre; **H.H.-**Humina heredada; **A.F.-**Ácidos fúlvicos; **A.H.-**Ácidos húmicos; **H.I.E.-**Humina insoluble extraíble; **H.I.-**humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Podsol úmbrico ALF 14

Localización: Hayedo de la Pedrosa.
Coordenadas UTM: 46440 456505
Vegetación: Hayedo.
Material de partida: Cuarzitas y esquistos.
pte %: 5%
Altitud: 1430 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Oeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
O	0-10	7.5YR 3/2	7.5YR 3/3	Fca.	fib.	a	3f	+	-
Ah	10-50	10YR 3/1	10YR 3/2	Fco.Ar.	lgr.m	a	3f	+	-
E	50-60	10YR 5/1	10YR 5/3	Fco.Ar.	p.	a	1f	-	-
Bhs	60-100	10YR 5/6	10YR 5/6	Fco.Ar.	p.	a	1m	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa, Fca.-Franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; fib.-fibrosa; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.**-raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.**-actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena 2000-50	% limo g. 50-20	% limo f. 20-2	% arcilla ¹ ≤2
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V				
O	5.1	28.1	48.3	0.9	31.2	0.43	0.76	6.23	17.26	24.68	40.60	60.80	37.54	14.59	24.39	23.47
Ah	5.0	9.8	16.8	0.5	19.6	0.24	0.28	2.26	7.51	10.29	23.24	44.29	63.26	7.81	13.76	15.18
E	5.1	3.3	5.7	0.2	16.0	0.04	0.05	0.13	1.64	1.86	8.75	21.21	61.31	13.66	11.76	13.26
Bhs	5.5	3.8	6.5	0.5	7.7	0.30	0.05	0.20	1.95	2.51	13.30	18.86	66.01	10.41	15.21	8.38

Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)				Hierro (en %)				Aluminio (en %)					
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
O	40.78	39.83	2.91	5.94	6.33	4.20	0.4	0.2	0.1	0.7	1.0	0.4	0.2	9.3
Ah	2.33	0.08	22.50	52.40	13.72	8.96	0.3	0.2	0.1	1.6	1.0	0.3	0.2	11.6
E	4.60	0.34	27.50	10.12	50.04	7.39	0.3	0.1	0.1	0.8	1.4	0.3	0.2	7.6
Bhs							2.9	1.3	0.5	5.3	3.0	1.2	1.2	8.11

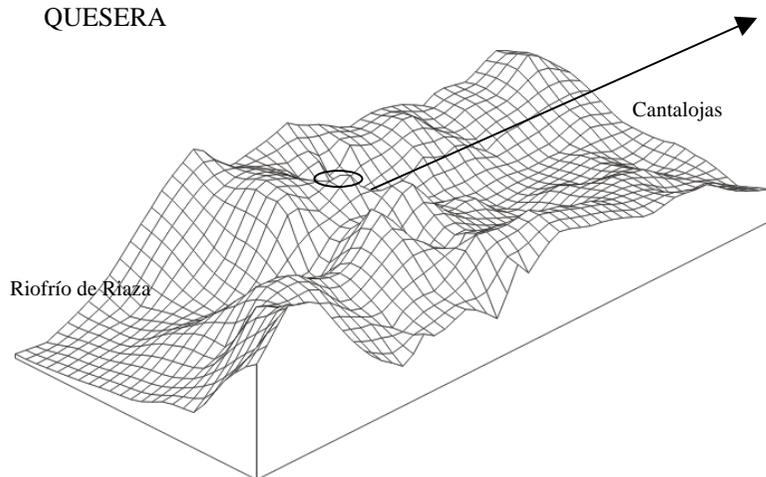
C libre: Carbono libre; **H.H.**-Humina heredada; **A.F.**-Ácidos fúlvicos; **A.H.**-Ácidos húmicos; **H.I.E.**-Humina insoluble extraíble; **H.I.**-humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.**- Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.

CAMBISOLES





Cambisol móllico ALF 11

Localización: Collado de la Quesera.
Coordenadas UTM: 46495 456310
Vegetación: Pradera.
Material de partida: Pizarra, esquistos, cuarcita.
pte %: 3%
Altitud: 1710 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Oeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah ₁	0-15	7.5YR 3/2	7.5YR 3/3	Fca.	1gra.	-	3f	+	-
Ah ₂	15-30	7.5YR 4/2	7.5YR 4/3	L.Fca.	1gra.	-	2f	-	-
AC	30-50	10YR 5/3	10YR 6/4	L.Fca.	1gra.	a	2f	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa, Fca.-Franca, L.Fca.-Limoso franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.**-raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.**-actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena	% limo g.	% limo f.	% arcilla
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V (%)				
Ah ₁	5.7	9.2	15.9	0.7	13.7	0.16	0.78	3.42	21.07	25.43	30.80	82.57	37.49	17.76	20.74	24.01
Ah ₂	5.7	5.0	8.7	0.4	11.2	0.30	0.76	1.60	8.83	11.49	21.35	53.79	40.62	14.44	41.02	3.92
AC	5.7	1.8	3.2	0.2	8.1	0.17	0.55	0.84	5.15	6.71	15.40	43.59	46.94	47.61	2.76	2.69

Humus (en % respecto al total de carbono)

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)					Aluminio (en %)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H.	H.I.E	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T.	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T	
Ah ₁	24.59	18.05	4.02	13.62	18.82	20.90	1.8	0.5	0.2	3.1	0.9	0.3	0.2	8.6	
Ah ₂	11.92	6.68	8.68	33.58	16.80	22.33	2.5	0.7	0.2	3.7	2.0	0.4	0.3	7.7	
AC							2.1	0.7	0.2	3.3	0.6	0.4	0.4	6.1	

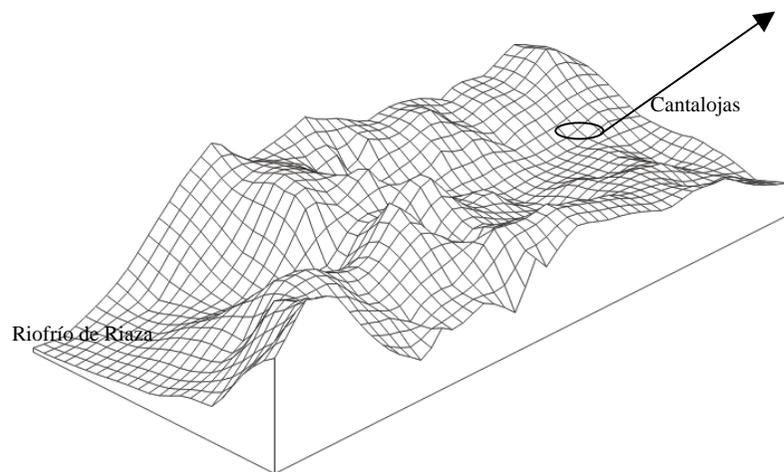
C libre: Carbono libre; **H.H.**-Humina heredada; **A.F.**-Ácidos fúlvicos; **A.H.**-Ácidos húmicos; **H.I.E.**-Humina insoluble extraíble; **H.I.**-humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.**- Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.**- Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.

FLUVISOLES





Fluvisol úmbrico ALF 5

Localización: Cantalojas.
Coordenadas UTM: 47585 456405
Vegetación: Jaras y pradera
Material de partida: Pizarras.
pte %: 15 %
Altitud: 1340 metros.
Fisiografía: Ladera.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Norte.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah ₁	0-20	10YR 3/2	10YR 3/1	L.fca.	p.	a	3F	+	-
Ah ₂	20-50	10YR 3/3	10YR 4/2	Fca.	gra.	a	3F	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa Fca.-franca, L.fca.-limoso franca.

ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa

F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-**raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.

A.B.-actividad biológica **A.H.-**actividad humana.

Propiedades físicas y químicas

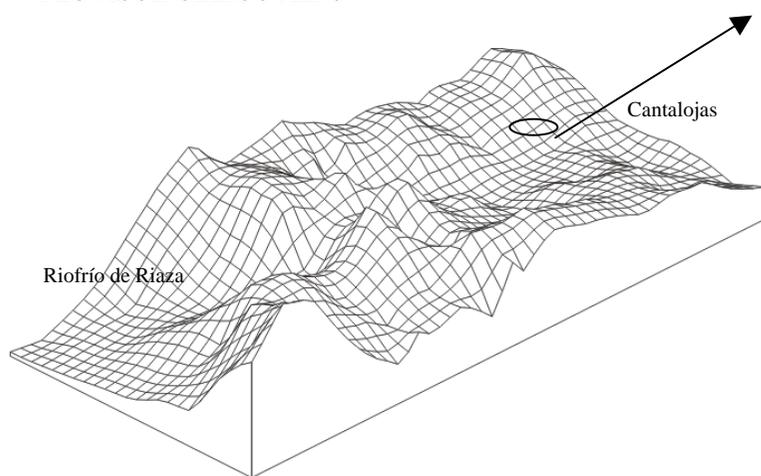
Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)							% arena 2000-50	% limo g 50-20	% limo f 20-2	% arcilla ¹ ≤2
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V (%)				
Ah ₁	4.9	10.03	17.25	0.57	17.60	0.10	0.41	1.36	6.15	8.02	27.30	29.36	28.13	24.48	29.98	17.41
Ah ₂	4.8	4.93	8.48	0.34	14.50	0.03	0.10	0.26	1.74	2.13	18.69	11.42	38.15	20.15	26.48	15.23

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)				Aluminio (en %)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H	H.I.E.	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah ₁	8.32	13.90	6.63	24.03	24.90	22.23	2.0	0.4	0.1	3.34	3.7	0.5	0.4	4.71
Ah ₂	10.77	9.77	5.96	23.29	31.53	18.68	2.6	0.4	0.2	3.27	4.7	0.6	0.5	4.53

C libre: Carbono libre; **H.H.-**Humina heredada; **A.F.-**Ácidos fúlvicos; **A.H.-**Ácidos húmicos; **H.I.E.-**Humina insoluble extraíble; **H.I.-**humina insoluble no extraíble o residual.

d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.

¹Tamaño en micras.



Fluvisol gleico ALF 6

Localización: Cantalojas.
Coordenadas UTM: 47590 456410
Vegetación: Pradera
Material de partida: Pizarra y esquistos.
pte %: rellano.
Altitud: 1340 metros.
Fisiografía: Rellano.
Terreno circundante: Montañoso.
Orientación: Oeste.



Propiedades morfológicas

Horizonte	Prof. (cm)	Color		Textura	Estr.	F.R.	R.R.	A.B.	A.H.
		Húmedo	Seco						
Ah	0-20	10YR 3/1	10YR 3/2	Fco.Ar.	gra.f.m	-	3F	+	-
Bg	20-50	2.5Y 3/1	2.5Y 5/2	Fca.	p.	e	2F	+	-
Cg	50-60	2.5Y 2/1	2.5Y 5/1 (*)	Fco.Ar.	p.	e	1F	-	-

TEXTURA: Ar.-arenosa, Ar.Fca.-arenosa franca, Fco.Ar.-franco arenosa, Fca.-franca.
ESTRUCTURA: 1.-débil, 2.-moderada, 3.-fuerte; gra.-granular, p.-particular; f.-fina, m.-media, g.-gruesa
F.R.-fragmentos rocosos: e.-escasos, f.-frecuentes, a.-abundantes. **R.R.-**raíces: MF.-muy finas, F.-finas, M.-medianas, G.-gruesas; 0.-muy pocas, 1.-pocas, 2.-comunes, 3.-abundantes.
A.B.-actividad biológica **A.H.-**actividad humana.
 (*) Manchas de tonos 7.5 YR 5/6 y 2.5 YR 4/6.

Propiedades físicas y químicas

Horiz.	pH	Materia orgánica				Capacidad de cambio (en cmol _c Kg ⁻¹)								%arena 2000-50	% limo g 50-20	% limo f 20-2	% arcilla ¹ ≤2
		%C	%MO	%N	C/N	Na	K	Mg	Ca	S	T	V (%)					
Ah	5.04	2.67	4.60	0.22	12.14	0.10	0.10	0.50	2.78	3.48	13.09	26.62	51.71	17.01	21.69	9.59	
Bg	6.05	1.11	1.91	0.18	6.17	0.03	0.07	0.14	2.98	3.22	11.90	27.09	49.23	21.73	20.13	8.91	
Cg	5.18	0.41	0.70	0.18	2.28	0.75	0.07	0.35	1.86	3.04	8.05	37.75	73.92	8.59	12.14	5.34	

Horiz.	Humus (en % respecto al total de carbono)					Hierro (en %)				Aluminio (en %)				
	C libre	H.H	A.F.	A.H	H.I.E.	H.I.	Fe ₂ O ₃ d	Fe ₂ O ₃ ox	Fe ₂ O ₃ p	Fe ₂ O ₃ T	Al ₂ O ₃ d	Al ₂ O ₃ ox	Al ₂ O ₃ p	Al ₂ O ₃ T
Ah	8.70	14.02	9.51	32.63	20.05	15.08	1.7	0.4	0.1	3.97	1.3	0.2	0.1	11.5
Bg							2.2	0.4	0.1	4.08	1.0	0.2	0.2	8
Cg							0.9	0.2	0.1	3.74	0.3	0.1	0.1	9.4

C libre: Carbono libre; **H.H.-**Humina heredada; **A.F.-**Ácidos fúlvicos; **A.H.-**Ácidos húmicos; **H.I.E.-**Humina insoluble extraíble; **H.I.-**humina insoluble no extraíble o residual.
d.- Formas de hierro o aluminio extraídas con ditionito/citrato; **ox.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con oxalato; **p.-** Formas de hierro o aluminio extraídas con pirofosfato sódico; **T.-** Hierro o aluminio total.
¹Tamaño en micras.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se han estudiado suelos representativos de dos áreas con características semejantes. En la cuenca del río Riaza las muestras recogidas forman una secuencia altitudinal a lo largo del puerto de la Quesera y comprenden los diferentes pisos de vegetación que se dan en relación con la altitud; y en la cuenca del río Lillas sobre esquistos y pizarras bajo los diferentes pisos de vegetación. En ambas zonas el material original y la vegetación son semejantes

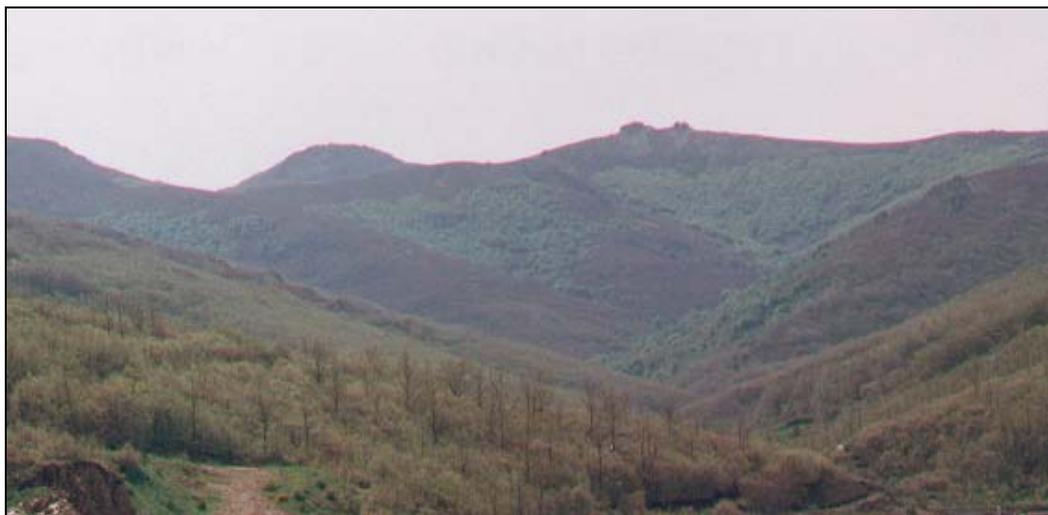


Foto 1.- Cuenca del río Riaza.

por lo que las diferencias más significativas corresponden a la peculiar geomorfología de las dos cuencas (Fotos 1 y 2) y a la existencia de pequeñas



Foto 2.- Cuenca del río Lillas.

variaciones microclimáticas entre éstas. El río Riaza discurre entre abruptas pendientes, sobre los materiales esquistosos y pizarrosos del Puerto de la Quesera, esta pendiente no favorece el depósito de materiales aluviales ni la

formación de Fluvisoles hasta que se suaviza al alcanzarse el piedemonte. En este punto los suelos no se desarrollan sobre materiales paleozoicos sino sobre raña.

El río Lillas se forma a partir de las aguas recogidas por numerosos barrancos y gargantas tanto en la cabecera como a lo largo de su curso alto. El río discurre por un valle aluvial más ancho y con menor pendiente que permite el depósito de sedimentos de naturaleza metamórfica y la formación de Fluvisoles sobre materiales paleozoicos.

A lo largo del puerto de la Quesera están favorecidos los procesos de coluvionamiento que conduce a la formación de perfiles muy inestables de tipo Leptosol y Regosol, este coluvionamiento no se observa en la cuenca del río Lillas por las diferencias geomorfológicas anteriormente apuntadas.

Los suelos se tomaron por encima de los 1300 metros, en el macizo de Ayllón, sobre materiales metamórficos ácidos: cuarcitas, esquistos y pizarras principalmente, y bajo influencia de melojar, brezal, jaral, hayedo o pradera, en algunos casos se trata de etapas de sustitución de la vegetación autóctona degradada. No se aprecia una influencia importante de la acción antropogénica, aunque en toda la zona se ejercen desde hace bastantes años labores de pastoreo y carboneo. Las bajas temperaturas, la naturaleza ácida del material original y las fuertes pendientes condicionan que se encuentren en general poco desarrollados. Los suelos que caracterizan las dos áreas de estudio son Leptosoles, Regosoles, Fluvisoles, Cambisoles y Podsoles.

6.1 Discusión: Propiedades físicas, químicas y físico-químicas

El pH de la zona es ácido, en torno a cinco, condicionado fundamentalmente por la presencia de materiales originales silíceos y por el tipo de vegetación. Los valores más bajos de pH se encuentran en suelos desarrollados bajo brezal y hayedo, y valores algo superiores en las zonas de pradera y melojar. No se observan diferencias importantes entre los pH del puerto de la Quesera y los de la cuenca del río Lillas, siendo estos últimos, en general, ligeramente más ácidos (Tabla 6.1.1 y Tabla 6.1.2).

En la mayor parte de los perfiles se observan grados de saturación inferiores al cincuenta por ciento, valores superiores presentan aquellos desarrollados sobre materiales coluviales del puerto de la Quesera y próximos al ochenta por ciento en el Cambisol móllico ALF 11 desarrollado bajo pradera. Los valores altos en el grado de saturación se producen en suelos con importantes concentraciones de Ca^{+2} y Mg^{+2} como cationes de cambio predominantes. Estos cationes proceden de los aportes de hojarasca, sobre todo bajo influencia de melojo, hayedo o pradera, o están retenidos formando parte de las moléculas húmicas. Se observa una importante cantidad de estos cationes divalentes en los suelos con alto grado de humificación.

La capacidad de cambio total se encuentra ligada a la cantidad de materia orgánica en los horizontes superiores y a la cantidad de arcilla en horizontes inferiores, en general, debido a las importantes cantidades de materia orgánica que aparecen a lo largo de todo el perfil, se encuentra más ligada a la materia orgánica que a la arcilla.

En la cuenca del río Riaza el suelo que presenta mayor grado de saturación y mayor contenido en calcio es el Cambisol móllico ALF 11, esto se debe en parte a la posición fisiográfica que ocupa este suelo, que le permite recoger el calcio que se deposita en el rellano procedente de zonas superiores de la ladera, y a la mejor humificación en la que intervienen el calcio y el magnesio como cationes de enlace entre las moléculas húmicas y los minerales de arcilla. El elevado grado de saturación que tiene el horizonte O del Podsol úmbrico ALF 14, desarrollado bajo haya, se produce por la importante cantidad de calcio y magnesio acumulados por arrastre y a la presencia de estos cationes en los abundantes aportes de hojarasca de haya que no se descomponen bien en esas condiciones.

En la cuenca del río Lillas el grados de saturación, la capacidad de cambio total y el contenido en cationes es similar al que encontramos en Riaza. Los suelos con el grado de saturación más alto son el Leptosol móllico ALF 9 y el Leptosol úmbrico ALF 10. El Leptosol úmbrico ALF 10, aunque actualmente se desarrolla bajo brezal, se encuentra en una zona de melojar recientemente

degradado cuya etapa de sustitución es un brezal. Su alto grado de saturación se explica al conservar el suelo los cationes aportados por el melojar como parte de la estructura de moléculas húmicas. Los cationes de cambio predominantes en la cuenca del río Lillas, al igual que en Riaza, son Ca^{+2} y Mg^{+2} . El Leptosol móllico ALF 9 es el suelo con una mayor cantidad de calcio y un grado de saturación más elevado de los recogidos en la cuenca del río Lillas, por la influencia del melojar bajo el que se desarrolla (Tabla 6.1.1 y Tabla 6.1.2).

Tabla 6.1.1.- pH y capacidad de cambio de los Leptosoles del área de estudio.

		pH	cmol _c Kg ⁻¹					S	T	V (%)
			Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²				
LPdy ALF 1	Ah	5.5	0.07	0.18	0.09	0.32	0.66	6.94	9.44	
LPdy ALF 2	Ah	5.4	0.02	0.53	0.83	2.08	3.46	16.54	20.9	
	AB	5.5	0.02	0.24	0.27	0.63	1.16	10.02	11.52	
	CB	5.5	0	0.16	0.16	0.34	0.66	7.21	8.73	
	C	5.4	0	0.14	0.14	0.31	0.59	5.93	9.47	
LPum ALF 4	Ah	5.9	0.02	0.92	1.27	4.29	6.5	23.78	27.35	
	AC	5.6	0.02	0.35	0.61	1.13	2.11	11.32	18.69	
LPum ALF 7	Ah	5.2	0.10	0.26	1.43	6.57	8.35	21.35	39.11	
LPmo ALF 9	Ah	5.4	0.10	1.18	4.14	19.20	24.62	35.70	68.96	
LPum ALF 10	Ah1	5.2	0.10	0.72	2.08	13.61	16.51	33.60	49.13	
	Ah2	5.0	0.10	0.29	0.57	3.65	4.60	28.35	16.23	
	C	5.4	0.10	0.13	1.23	3.84	5.29	17.15	30.87	
LPum ALF 12	Ah	5.1	0.3	0.31	1.81	4.59	7.02	22.75	30.85	
LPli ALF 15	Ah	4.8	0.24	0.43	1.1	2.99	4.76	26.95	17.66	

S.- Suma total de bases.

T.- Capacidad de cambio total.

V.- Grado de saturación.

Tabla 6.1.2.- pH y capacidad de cambio de otras unidades de suelo del área de estudio.

		pH	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	S	T	V (%)
RGhu ALF 8	Ah	5.0	0.10	0.19	1.23	5.50	7.02	23.10	30.39
RGhu ALF 13	Ah1	5.4	0.11	0.76	3.56	9.23	13.65	25.20	54.18
	Ah2	5.2	0.3	0.13	0.36	1.99	2.79	22.40	12.46
	AC	5.2	0.76	0.19	0.36	2.87	4.19	11.69	35.81
RGhu ALF 16	Ah1	5.5	0.3	0.52	3.25	8.67	12.74	19.74	64.52
	Ah2	4.7	0	0.16	1.54	3.79	5.49	19.6	28.02
	AC	5.6	0	0.05	0.37	3.19	3.61	10.15	35.54
PZet ALF 3	Ah	4.9	0.02	0.43	0.65	1.48	2.58	29.40	8.77
	ABhs	5.0	0.02	0.16	0.16	0.35	0.69	16.67	4.12
	BC	5.1	0	0.1	0.06	0.11	0.27	11.16	2.22
PZum ALF 14	O	5.1	0.43	0.76	6.23	17.26	24.68	40.60	60.8
	Ah	5.0	0.24	0.28	2.26	7.51	10.29	23.24	44.29
	E	5.1	0.04	0.05	0.13	1.64	1.86	8.75	21.21
	Bhs	5.5	0.3	0.05	0.2	1.95	2.51	13.30	18.86
FLum ALF 5	Ah1	4.9	0.10	0.41	1.36	6.15	8.02	27.30	29.36
	Ah2	4.8	0.03	0.10	0.26	1.74	2.13	18.69	11.42
FLgl ALF 6	Ah	5.0	0.10	0.10	0.50	2.78	3.48	13.09	26.62
	Bg	6.1	0.03	0.07	0.14	2.98	3.22	11.90	27.09
	Cg	5.2	0.75	0.07	0.35	1.86	3.04	8.05	37.75
CMmo ALF11	Ah1	5.7	0.16	0.78	3.42	21.07	25.43	30.80	82.57
	Ah2	5.7	0.3	0.76	1.6	8.83	11.49	21.35	53.79
	AC	5.7	0.17	0.55	0.84	5.15	6.71	15.40	43.59

S.- Suma total de bases.

T.- Capacidad de cambio total.

V.- Grado de saturación.

El contenido de materia orgánica es muy variable en los suelos del Puerto de la Quesera y de la cuenca del río Lillas. Los valores más altos se dan en suelos recogidos bajo la influencia del hayedo, como consecuencia del mayor aporte de hojarasca que reciben durante el otoño y el invierno, y por la lenta descomposición de la hojarasca en épocas de menor actividad biológica. En general la cantidad de materia orgánica que se incorpora a través del perfil es alta en toda la zona y alcanza valores altos en profundidad en la mayoría de los suelos. También se observa una notable acumulación de materia orgánica en el

horizonte Bhs del Podsol úmbrico ALF 14, y en el horizonte ABhs del Podsol éntico ALF 3 (Tabla 6.1.4).

Las relaciones C/N reflejan la existencia de humus tipo mull, mull-moder y moder. Estas relaciones son elevadas en suelos desarrollados bajo brezal y hayedo: Leptosoles úmbricos ALF 12 y ALF 10, Leptosol lítico ALF 15, Regosoles húmicos ALF 13 y 16, Podsol úmbrico ALF 14 y Podsol éntico ALF 3. La humificación de los restos del brezal no es buena porque presentan una razón C/N por encima de 60 y es rico en polifenoles capaces de formar polifenol-proteínas que bloquean la mineralización del nitrógeno y le hacen muy resistente a la actividad microbiana (Duchaufour, 1977). Relaciones C/N que corresponden a humus tipo mull se encuentran en los suelos de pradera y melojar: Leptosol dístico ALF 2, Leptosol úmbrico ALF 4, Cambisol móllico ALF 11, Fluvisol gleico ALF 6 y Leptosol móllico ALF 9 en los que los procesos de humificación están favorecidos (Tabla 6.1.3 y 6.1.4).

Tabla 6.1.3.- Materia orgánica y relaciones C/N en los Leptosoles del área de estudio.

		% C	% M.O.	% N	C/N
LPdy ALF 1	Ah	5.1	8.8	0.3	16.5
LPdy ALF 2	Ah	4.9	8.4	0.4	11.4
	AB	1.6	2.8	0.2	6.8
	CB	0.5	0.9	0.2	2.8
	C	0.2	0.3	0.2	1.1
LPum ALF 4	Ah	5.6	9.6	0.5	10.9
	AC	1	1.7	0.2	5
LPum ALF 7	Ah	4.7	8.0	0.3	13.7
LPmo ALF 9	Ah	12.4	21.4	0.8	14.8
LPum ALF 10	Ah1	13.8	23.7	0.5	28.1
	Ah2	6.9	11.9	0.4	19.3
	C	0.4	0.8	0.2	2.6
LPum ALF 12	Ah	6.7	11.5	0.5	13.6
LPli ALF 15	Ah	9.7	16.6	0.5	19.3

Tabla 6.1.4.- Materia orgánica y relaciones C/N en otras unidades de suelo del área de estudio.

		% C	% M.O.	% N	C/N
RGhu ALF 8	Ah	7.0	12.1	0.4	16.0
RGhu ALF 13	Ah1	7.4	12.7	0.4	17.9
	Ah2	3.1	5.3	0.3	12.2
	AC	1.9	3.2	0.2	10.2
RGhu ALF 16	Ah1	7.4	12.8	0.4	18.1
	Ah2	5.4	9.2	0.3	19.5
	AC	3.0	5.2	0.2	13.5
PZet ALF 3	Ah	7.3	12.5	0.4	17.0
	ABhs	3.1	5.4	0.2	19.6
	BC	0.9	1.5	0.2	5.4
PZum ALF 14	O	28.1	48.3	0.9	31.2
	Ah	9.8	16.8	0.5	19.6
	E	3.3	5.7	0.2	16.0
	Bhs	3.8	6.5	0.5	7.7
FLum ALF 5	Ah1	10.0	17.3	0.6	17.6
	Ah2	4.9	8.5	0.3	14.5
FLgl ALF 6	Ah	2.7	4.6	0.2	12.1
	Bg	1.1	1.9	0.2	6.2
	Cg	0.4	0.7	0.2	2.3
CMmo ALF11	Ah1	9.2	15.9	0.7	13.7
	Ah2	5.0	8.7	0.4	11.2
	AC	1.8	3.2	0.2	8.1

Para el estudio granulométrico de las muestras se separaron las siguientes fracciones: fracción arena que se dividió en arena muy gruesa (2000-500 micras), arena gruesa (500-250 micras), arena fina (250-100 micras) y arena muy fina (100-50 micras); fracción limo, que se dividió en limo grueso (50-20 micras) y limo fino (20-2 micras); fracción arcilla partículas con tamaño inferior a 2 micras. En todos los suelos se observa un aumento del tamaño de partículas en profundidad por la existencia de procesos de alteración menos intensos en los horizontes inferiores. En superficie la fracción arcilla se origina por procesos de alteración y por el depósito de los materiales arrastrados como consecuencia de la pendiente. En general, tanto en los horizontes profundos como en los superficiales, dominan las fracciones arenosas frente a los limos, y éstos frente a la arcilla. En la cuenca del río Riaza, el porcentaje más importante de arena corresponde a la arena fina (250-100 micras) liberada a partir del material original, y depositada sobre los horizontes superiores por fenómenos de pendiente; en la cuenca del río Lillas los porcentajes de arena más importantes son de arena muy gruesa (2000-500 micras), que se acumula durante los frecuentes aportes aluviales que experimentan la mayoría de los suelos de esta zona.

En ambas cuencas se dan texturas que van desde limoso francas a franco arenosas. Las texturas francas y franco arenosas predominan en los perfiles desarrollados sobre materiales cuarcíticos y esquistosos y texturas limoso francas en profundidad en los horizontes desarrollados sobre pizarras o esquistos (Figura 6.1.1). Se observa por tanto una relación entre el tipo de material original y la fracción granulométrica mayoritaria.

Los esquistos y pizarras del puerto de la Quesera, producen una mayor cantidad de limo fino y arcilla, mientras que los depósitos coluviales favorecen la aparición de limo grueso y arena bajo influencia de cuarcita. En la cuenca del río Lillas, la cantidad de arena es ligeramente inferior y en los suelos desarrollados sobre las pizarras de esta cuenca, el limo es más abundante que en los suelos desarrollados sobre las pizarras del Puerto de la Quesera, esto es debido a que las

primeras presentan en su composición una textura de grano fino, mientras que las pizarras del puerto de la Quesera son de tipo arenoso.

Figura 6.1.1.-Diagrama de texturas de los suelos de las dos áreas de estudio.

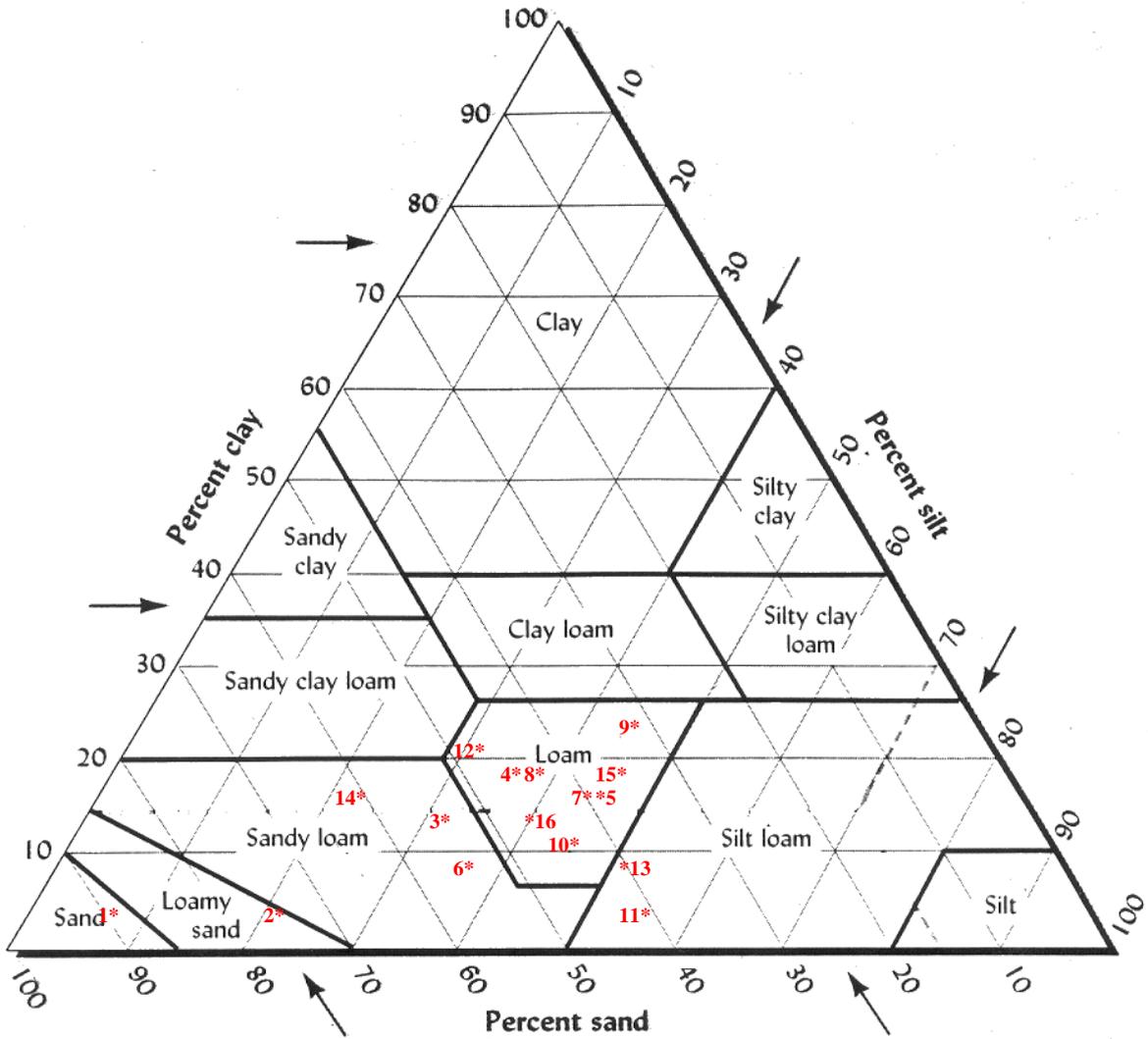


Tabla 6.1.5.- Análisis granulométrico y clase textural de los Leptosoles del área de estudio.

		% AMG	% AG	% AF	%AMF	%Arena	% LG	% LF	%Arcilla	Clase textural
		% Arena total				% Limo total				
LPdy ALF 1	Ah	17.1	19.3	35.9	14.2	86.5	4.7	5.9	2.9	Ar.
LPdy ALF 2	Ah	18.1	19.4	21.5	9.8	68.7	9.4	12.8	9.1	Fco.Ar.
	AB	30.1	17.9	19.2	7.8	75.0	7.7	10.6	6.7	Ar.Fca
	CB	35.6	19.1	18.6	6.8	80.1	5.0	9.6	5.3	Ar.Fca
	C	29.7	20.2	20.2	8	78.1	6.2	10.4	5.3	Ar.Fca
LPum ALF 4	Ah	9.6	9.6	10.9	7.7	37.8	17.6	22.0	22.6	Fca.
	AC	16.4	10.6	11.0	7.5	45.5	18.8	17.1	18.5	Fca.
LPum ALF 7	Ah	19.2	6.9	6.7	7.1	39.8	22.3	22.2	15.7	Fca.
LPmo ALF 9	Ah	11.8	4.9	6.0	7.8	30.5	24.1	25.3	20.1	Fca.
LPum ALF 10	Ah1	17.6	6.2	5.3	6.0	35.2	18.6	32.8	13.5	Fca.
	Ah2	23.1	6.1	5.1	5.8	40.2	18.7	31.8	9.3	Fca.
	C	13.7	3.5	3.2	5.7	26.2	23.5	24.7	25.6	Fca.
LPum ALF 12	Ah	9.9	5.9	21.2	13.0	49.9	9.4	20.1	20.7	Fca.
LPli ALF 15	Ah	4.0	5.4	19.2	9.9	38.4	16.2	26.6	18.7	Fca.

Ar.-Arenosa; **Fco.Ar.**- Franco arenosa; **Ar.Fca.**- Arenoso franca; **Fca.**- Franca.

AMG.-Arena muy gruesa (2000-500 micras); **AG.**-Arena gruesa (500-250 micras); **AF.**-Arena fina (250-100 micras); **AMF.**-Arena muy fina (100-50 micras); **LG.**-Limo grueso (50-20 micras); **LF.**-Limo fino (20-2 micras)

Tabla 6.1.6.- Análisis granulométrico y clase textural de otras unidades de suelo del área de estudio.

		% AMG	% AG	% AF	%AMF	%Arena	% LG	% LF	%Arcilla	Clase textural
		%Arena total				% Limo total				
RGhu ALF 8	Ah	19.1	7.1	7.6	8.7	42.5	21.6	22.3	13.7	Fca.
RGhu ALF 13	Ah1	10.9	3.9	18.0	11.4	44.2	16.4	19.8	19.5	Fca.
	Ah2	5.1	4.2	20.6	14.4	44.2	47.7	4.2	3.9	L.Fca.
	AC	7.9	5.0	24.2	13.9	51.1	42.4	3.8	2.7	L.Fca.
RGhu ALF 16	Ah1	10.1	3.4	12.6	18.4	44.4	15.3	23.0	17.3	Fca.
	Ah2	8.2	3.2	9.4	15.3	36.1	20.5	25.5	18.0	Fca.
	AC	10.7	5.2	12.5	18.7	47.1	20.1	20.1	12.6	Fca.
PZet ALF 3	Ah	9.0	5.0	26.3	16.0	56.3	15.9	14.8	13.0	Fco.Ar.
	ABhs	6.9	3.9	27.1	17.0	54.9	16.7	16.1	12.2	Fco.Ar.
	BC	10.5	5.4	32.1	18.4	66.4	17.2	10.6	6.0	Fco.Ar.
PZum ALF 14	O	5.5	7.4	16.1	8.5	37.5	14.6	24.4	23.5	Fca.
	Ah	8.1	12.7	31.7	10.7	63.3	7.8	13.8	15.2	Fco.Ar.
	E	4.3	10.5	34.2	12.4	61.3	13.7	11.8	13.3	Fco.Ar.
	Bhs	14.4	14.4	27.7	9.5	66.0	10.4	15.2	8.4	Fco.Ar.
FLum ALF 5	Ah1	10.4	5.7	5.8	6.3	28.1	24.5	30.0	17.4	L.Fca.
	Ah2	19.5	6.5	5.9	6.3	38.1	20.1	26.5	15.2	Fca.
FLgl ALF 6	Ah	13.9	11.3	16.2	10.2	51.7	17.0	21.7	9.6	Fco.Ar.
	Bg	4.7	9.6	22.3	12.7	49.2	21.7	20.1	8.9	Fca.
	Cg	14.7	22.6	27.7	8.9	73.9	8.6	12.1	5.3	Fco.Ar.
CMmo ALF11	Ah1	4.7	5.1	17.1	10.7	37.5	17.8	20.7	24.0	Fca.
	Ah2	4.6	4.7	19.8	11.5	40.6	14.4	41.0	3.9	L.Fca.
	AC	10.8	5.5	18.0	12.6	46.9	47.6	2.8	2.7	L.Fca.

Ar.-Arenosa; **Fco.Ar.**- Franco arenosa; **Ar.Fca.**- Arenoso franca; **Fca.**- Franca.

AMG.-Arena muy gruesa (2000-500 micras); **AG.**-Arena gruesa (500-250 micras); **AF.**-Arena fina (250-100 micras); **AMF.**-Arena muy fina (100-50 micras); **LG.**-Limo grueso (50-20 micras); **LF.**-Limo fino (20-2 micras)

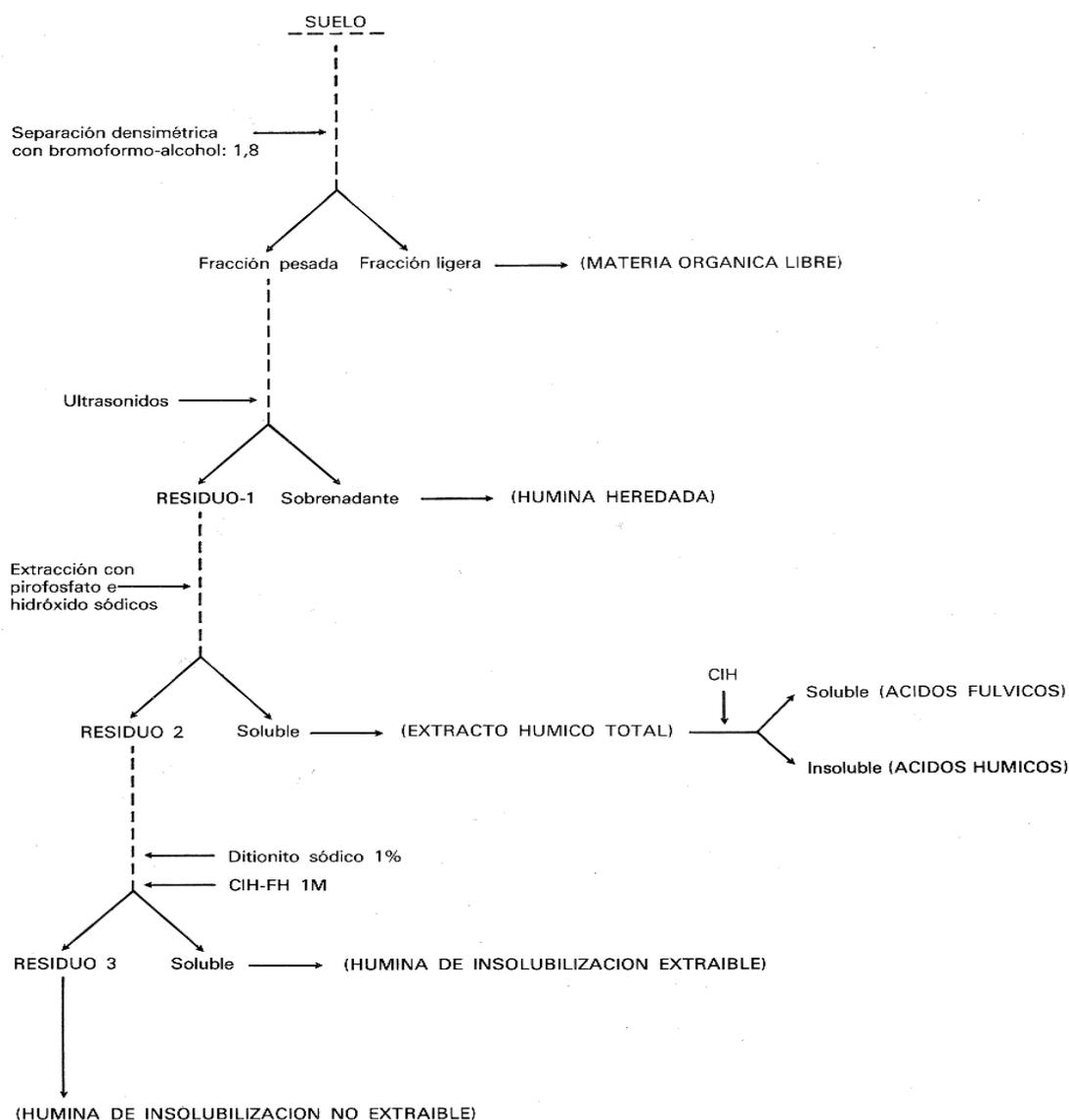
Los complejos órgano minerales contribuyen a mantener la estructura del suelo a través de la estabilidad de los agregados que forman. El papel de las sustancias húmicas en la formación y estabilización de los agregados del suelo fue estudiada por Bartoli et al. (1988) y por Piccolo (1996), quienes señalan que en suelos estables ricos en minerales amorfos, los agregados se forman por la asociación de hierro y aluminio con materiales orgánicos de alto peso molecular que representan la fracción humificada de la materia orgánica. El mecanismo mediante el cual los ácidos húmicos producen esta estabilidad se explica por la formación de complejos entre la arcilla y el humus enlazados mediante cationes adsorbidos en la superficie de las arcillas (Piccolo y Mbagwv, 1994); de esta forma quedan los grupos funcionales del material húmico (grupos carboxilo y fenoles) orientados hacia el interior de los agregados y las cadenas alifáticas y aromáticas hidrofóbicas orientadas hacia el exterior creando una capa que reduce la infiltración de agua en los agregados.

La humificación que presentan los suelos en todo el área de estudio es media. Para el estudio del grado de humificación y la evolución de la materia orgánica humificada se realizó el fraccionamiento de la misma siguiendo el criterio de Toutain (1981), que establece las siguientes fracciones: carbono libre: materia orgánica sin transformar o muy poco transformada, próxima a la materia orgánica fresca; humina heredada: partículas de materia orgánica mucho más transformada que la materia orgánica libre, ligadas a la fracción mineral por medio de débiles enlaces principalmente de naturaleza física, que se pueden romper por dispersión al aplicar un tratamiento con ultrasonidos; ácidos fúlvicos: moléculas húmicas de neoformación poco polimerizadas; ácidos húmicos: moléculas húmicas de neoformación con un importante grado de polimerización; humina de insolubilización extraíble: sustancias húmicas evolucionadas, donde las moléculas húmicas más o menos mineralizadas se unen a las estructuras de los minerales de arcilla o forman complejos órgano-minerales con el hierro, tratándose de uniones reversibles; humina de insolubilización no extraíble o residual: comprende una fracción de materia orgánica muy evolucionada

irreversiblemente ligada a la fracción mineral del suelo, abundante en los humus tipo mull. (Almendros, 1979). Rice y MacCarthy (1988), admiten que en la humina de insolubilización se encuentra diferenciada una fracción de materia orgánica muy evolucionada irreversiblemente ligada a la fracción mineral del suelo. Recientes investigaciones basadas en técnicas de RMN, señalan que esta fracción de materia orgánica insoluble ligada a la fracción arcilla, podría presentar naturaleza alifática (Almendros, 1996)

El siguiente esquema muestra el fraccionamiento que se ha realizado sobre la materia orgánica y los reactivos empleados (Figura 6.1.2).

Figura 6.1.2.- Método y reactivos utilizados para fraccionar la materia orgánica.



Según esto, la materia orgánica poco evolucionada, que dará lugar a humus peor transformado, presenta porcentajes altos de carbono libre y humina heredada, mientras que el humus mejor transformado es rico en huminas de insolubilización y sustancias húmicas extraíbles.

Se estudia el fraccionamiento de la materia orgánica en función del tipo de cobertura vegetal y la altitud donde se desarrollan los suelos obteniendo los siguientes resultados.

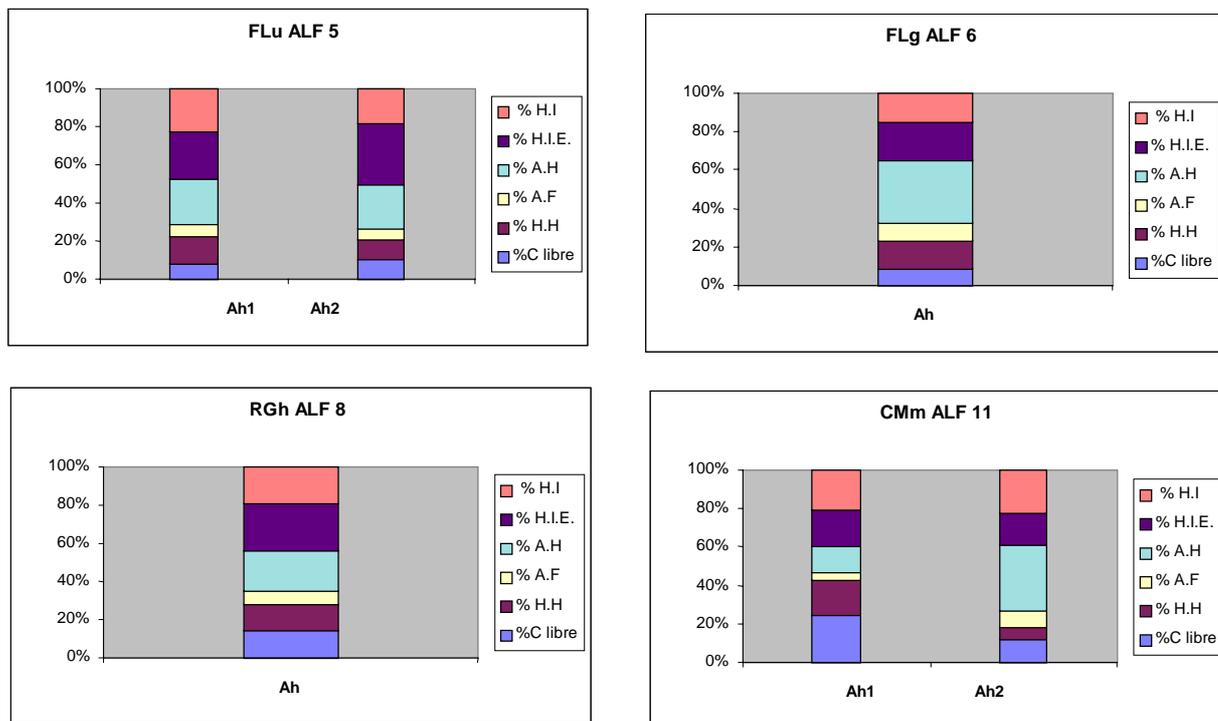
El Cambisol móllico ALF 11, el Regosol húmico ALF 8, el Fluvisol úmbrico ALF 5 y el Fluvisol gleico ALF 6, se desarrollan bajo vegetación de pradera, cuando las condiciones climáticas son adecuadas, los restos vegetales producidos evolucionan con facilidad y son transformados en moléculas húmicas muy estables. En el Cambisol móllico ALF 11, el grado de humificación es relativamente bajo. La pradera de nardetas del puerto de la Quesera se sitúa por encima de los 1.700 metros, en unas condiciones de temperatura y humedad que retardan los procesos de humificación. Sin embargo en este suelo, la materia orgánica transformada tiene un alto grado de evolución y en él se encuentran los valores más altos de humina de insolubilización no extraíble. El Regosol húmico ALF 8 tiene un grado de humificación medio, la materia orgánica se encuentra principalmente en forma de ácidos húmicos y humina insoluble, lo que indica una buena humificación. Los Fluvisoles ALF 5 y ALF 6 tienen los grados de humificación más alto y la materia orgánica se encuentra bien humificada como ponen de manifiesto los altos porcentajes de ácidos húmicos y humina insoluble (Gráfico 6.1.1 y Tabla 6.1.7).

Tabla 6.1.7.-Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo pradera.

			% C libre	% HH	% AF	% AH	% HIE	% HI
			% Carbono ligado					
FLum ALF 5	Ah1		8.3	13.9	6.6	24.0	24.9	22.2
	Ah2		10.8	9.8	6.0	23.3	31.5	18.7
FLgl ALF 6	Ah		8.7	14.0	9.5	32.6	20.1	15.1
RGhu ALF 8	Ah		14.5	13.4	7.2	21.1	24.6	19.2
CMmo ALF11	Ah1		24.6	18.1	4.0	13.6	18.8	20.9
	Ah2		11.9	6.7	8.7	33.6	16.8	22.3

HH.-Humina heredada; **AF.**-Ácidos fúlvicos; **AH.**-Ácidos húmicos;
HIE.-Humina de insolubilización extraíble; **HI.**-Humina de insolubilización no extraíble.

Gráfico 6.1.1.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo pradera.



Bajo la influencia del melojar se desarrollan: el Leptosol mólico ALF 9, los Leptosoles úmbricos ALF 7, ALF 4 y ALF 10 y el Leptosol dístrico ALF 2. El Leptosol mólico ALF 9 tiene un grado de humificación medio con importantes porcentajes de humina insoluble extraíble y ácidos húmicos, la humificación se encuentra favorecida por la importante cantidad de cationes divalentes del horizonte superficial aportados por la hojarasca del melojar. Actualmente el Leptosol úmbrico ALF 7 se desarrolla bajo vegetación de jaral que ha sustituido al melojar recientemente degradado. Esto se manifiesta por la elevada cantidad de Ca^{+2} y Mg^{+2} del horizonte superficial y por la proximidad de un bosque de *Q. pyrenaica* a pocos metros del perfil estudiado. Por este motivo, a pesar de la difícil humificación de los restos de jara, el suelo presenta un grado de humificación medio y un alto porcentaje de humina de insolubilización. Algo semejante ocurre en el Leptosol úmbrico ALF 10; en esta zona el melojar ha sido sustituido por un brezal y también aparece en el horizonte superficial valores altos de cationes divalentes: Ca^{+2} y Mg^{+2} . En el horizonte superficial se aprecia una importante cantidad de materia orgánica mal descompuesta, y una relación C/N próxima a 28 que es debida a la lenta y difícil descomposición de los restos vegetales del brezal. Se mantienen los altos porcentajes de fracciones orgánicas bien humificadas, formadas a partir de la vegetación del melojar primitivo (Gráfico 6.1.2 y Tabla 6.1.8)

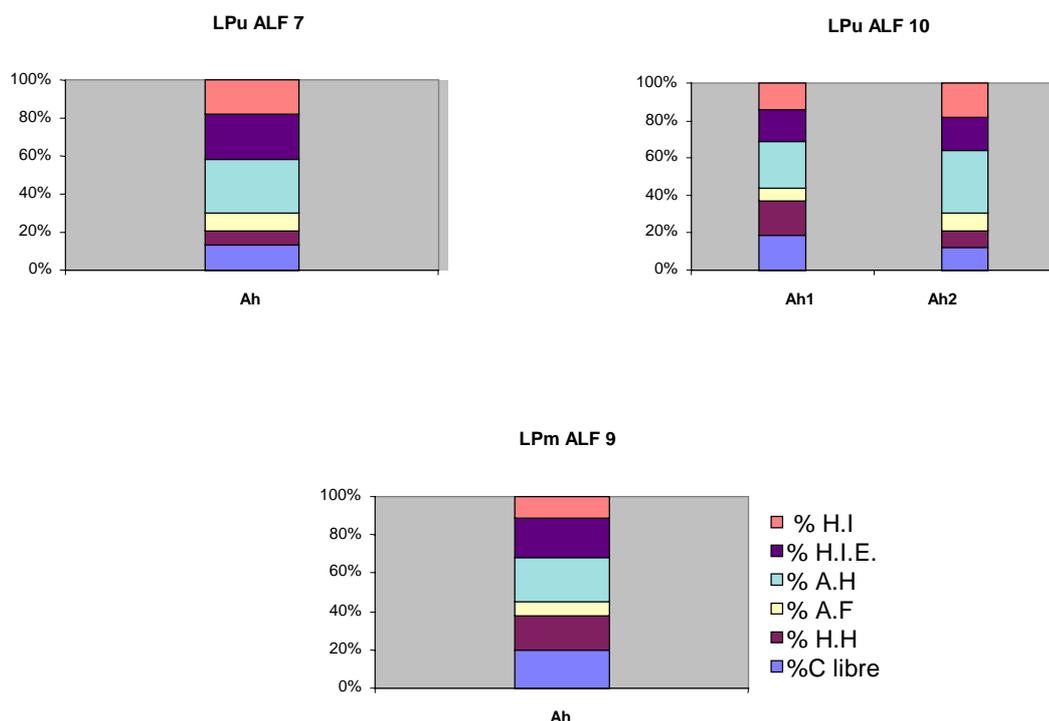
Tabla 6.1.8.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo melojar.

		% C libre	% HH	% AF	% AH	% HIE	% HI
		% Carbono ligado					
LPum ALF 7	Ah	13.7	7.5	8.9	28.3	23.7	17.9
LPmo ALF 9	Ah	19.7	18.6	6.7	23.6	20.3	11.2
LPum ALF 10	Ah1	18.7	18.4	6.9	24.9	17.2	14.0
	Ah2	12.3	8.6	10.4	32.6	18.4	17.8

HH.-Humina heredada; **AF.**-Ácidos fúlvicos; **AH.**-Ácidos húmicos;

HIE.-Humina de insolubilización extraíble; **HI.**-Humina de insolubilización no extraíble.

Gráfico 6.1.2.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo melojar.



El Leptosol dístrico ALF 2 y el Leptosol úmbrico ALF 4, son los que presentan el grado de humificación más bajo, con un porcentaje de carbono libre de 30,7 y 29,4 respectivamente y un porcentaje de ácidos fúlvicos inferior al 1%. Se podría esperar un grado de humificación más elevado en estos suelos, por su localización a poca altitud y bajo vegetación mejorante de melojar. La buena humificación que tuvieron estos suelos, y que queda reflejada por los elevados porcentajes de fracciones húmicas estables a lo largo del perfil, se ha visto interrumpida por la influencia humana en forma de pastoreo o laboreo con el consiguiente empobrecimiento del suelo y la aparición de comunidades de linderos y otras especies herbáceas que dificultan los procesos de humificación.

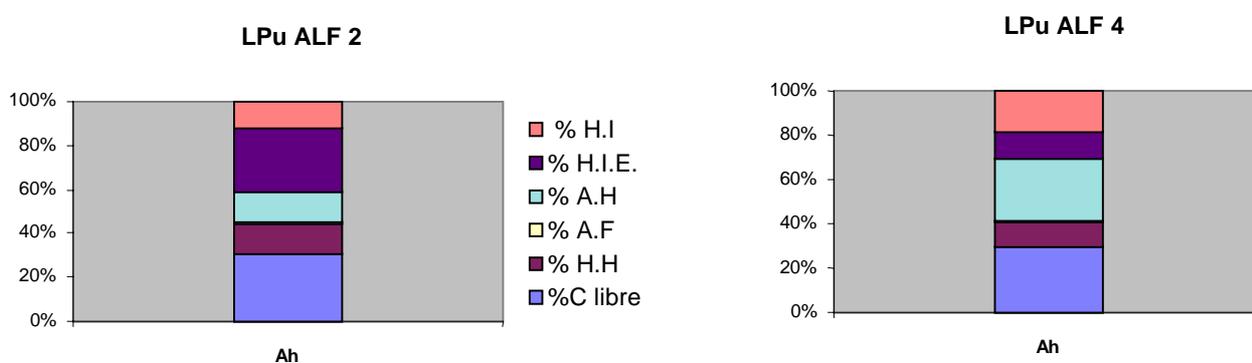
Las relaciones C/N dan valores próximos a 10 por los importantes aportes de nitrógeno que ha sufrido el suelo como consecuencia de su uso, y no sirven para definir el tipo de humus que en él se desarrolla. Tanto el suelo ALF 2 como el ALF 4 se localizan en las proximidades de la localidad de Riofrío de Rianza (Gráfico 6.1.3 y Tabla 6.1.9).

Tabla 6.1.9.-.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo melojar en las proximidades de Riofrío de Riaza.

		% C libre	% HH	% AF	% AH	% HIE	% HI
LPdy ALF 2	Ah	30.7	13.7	0.7	13.5	29.0	12.3
LPum ALF 4	Ah	29.4	11.8	0.2	28.0	12.0	18.6

HH.-Humina heredada; **AF.**-Ácidos fúlvicos; **AH.**-Ácidos húmicos; **HIE.**-Humina de insolubilización extraíble; **HI.**-Humina de insolubilización no extraíble.

Gráfico 6.1.3.-.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo melojar en las proximidades de Riofrío de Riaza.



En los Regosoles húmicos ALF 13 y ALF 16, en el Leptosol lítico ALF 15 y en el Podsol úmbrico ALF 14 desarrollados bajo influencia del hayedo el grado de humificación es medio, sin embargo el humus no presenta un importante grado de evolución obteniéndose valores bajos de humina de insolubilización no extraíble y un porcentaje elevado de ácidos fúlvicos sobre todo en los horizontes subyacentes. Esta acumulación de ácidos fúlvicos parece estar relacionada con el incipiente proceso de movilización y arrastre de sustancias que se da en estos suelos. El menor grado de humificación de los suelos desarrollados con influencia del hayedo es debido a que los restos vegetales del haya se humifican peor que los del melojo. Esto es especialmente significativo en el Podsol úmbrico ALF 14, en el que existe una mayor acumulación de restos orgánicos en superficie por su posición fisiográfica en rellano, y los microorganismos no descomponen con facilidad estos restos formándose un horizonte superficial O.

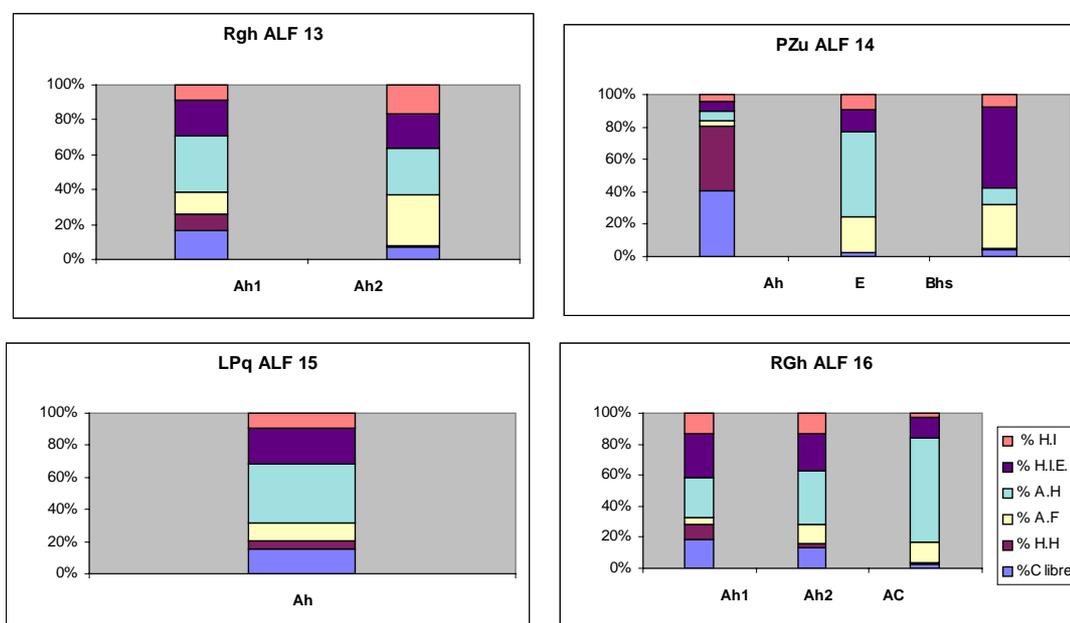
La relación C/N de los suelos de hayedo da valores próximos a 20, algo más bajos cuando hay influencia del melojar (Tabla 6.1.10 y Gráfico 6.1.4).

Tabla 6.1.10.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo hayedo.

		% C libre	% HH	% AF	% AH	% HIE	% HI
RGhu ALF 13	Ah1	16.8	9.4	12.3	32.2	20.5	8.9
	Ah2	6.9	1.2	28.8	27.2	18.9	16.9
PZum ALF 14	Ah	40.8	39.8	2.9	5.9	6.3	4.2
	E	2.3	0.1	22.5	52.4	13.7	9.0
	Bhs	4.6	0.3	27.5	10.1	50.0	7.4
LPli ALF 15	Ah	15.1	5.6	10.7	36.9	22.1	9.6
RGhu ALF 16	Ah1	19.0	9.5	4.7	25.1	28.2	13.5
	Ah2	13.6	2.5	12.6	34.1	24.4	12.9
	AC	3.1	0.8	12.6	67.8	13.0	2.6

HH.-Humina heredada; **AF.**-Ácidos fúlvicos; **AH.**-Ácidos húmicos;
HIE.-Humina de insolubilización extraíble; **HI.**-Humina de insolubilización no extraíble.

Gráfico 6.1.4.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo hayedo.

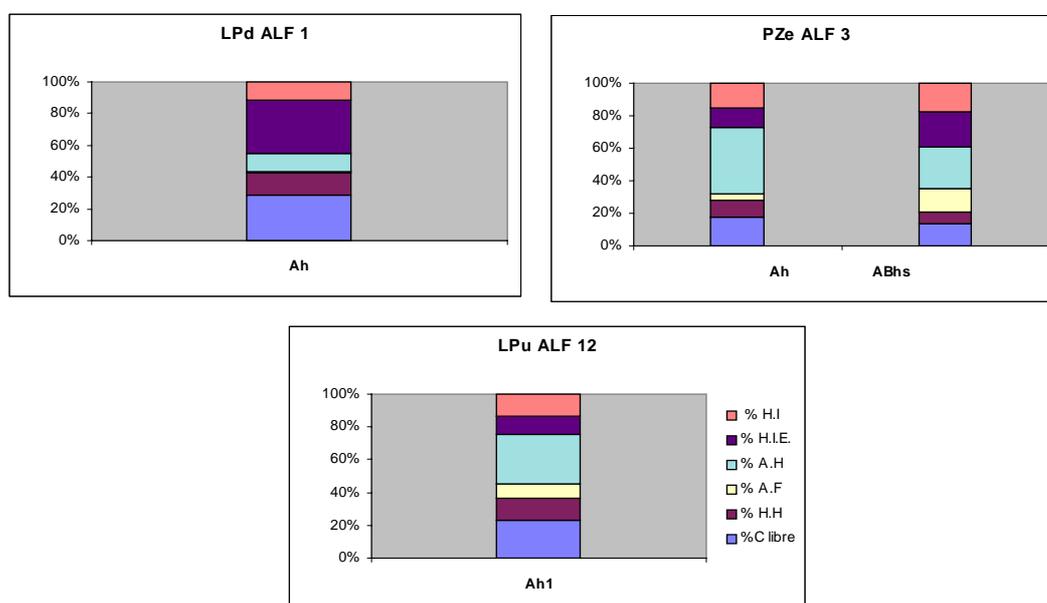


El Leptosol úmbrico ALF 12, el Podsol éntico ALF 3 y el Leptosol dístrico ALF 1 se forman por encima de los 1500 metros con influencia del brezal. Estos factores condicionan un bajo grado de humificación en el Leptosol úmbrico ALF 12 en el que tampoco hay altos porcentajes de fracciones estables de humina. Un comportamiento similar se observa en el Leptosol dístrico ALF 1, en el que la humificación se ve impedida por la altura y la vegetación acidificante del brezal. En el Podsol éntico ALF 3 se observa un grado de humificación medio con alto porcentaje de ácidos húmicos, Schinitzer y Kodama (1976), Tan (1980) y Kodama et al. (1983) admiten que no sólo los ácidos fúlvicos son capaces de disolver y complejar hierro y aluminio, sino que también los ácidos húmicos pueden hacerlo, por lo que la podsolización puede iniciarse en este suelo a pesar de presentar un grado de humificación medio (Gráfico 6.1.5 y Tabla 6.1.11).

Tabla 6.1.11.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo brezal.

		% C libre	% HH	% AF	% AH	% HIE	% HI
LPdy ALF 1	Ah	28.7	14.2	0.9	11.4	33.8	11.1
PZet ALF 3	Ah	17.6	10.5	3.5	41.2	12.0	15.2
	ABhs	13.8	7.0	14.3	26.1	21.1	17.8
LPum ALF 12	Ah	23.3	12.9	9.1	30.4	11.2	13.1

Gráfico 6.1.5.- Fraccionamiento de materia orgánica en suelos desarrollados bajo brezal.



Se realiza un análisis estadístico de correlaciones entre las distintas fracciones de materia orgánica de los horizontes superiores. Aparecen correlaciones significativas positivas (al nivel 0,01) entre el carbono libre y la humina heredada y negativas entre el carbono libre y la humina heredada con respecto a las fracciones más humificadas: ácidos húmicos y fúlvicos (Tabla 6.1.12). Según estos datos, los suelos con menor grado de humificación presentan porcentajes altos humina heredada, tratándose por tanto de materia orgánica con un grado de evolución relativamente bajo.

Tabla 6.1.12.-Correlaciones entre las distintas fracciones de materia orgánica.

		C libre	HH	AF	AH	HIE	HI
C libre	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N						
HH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.634** .008 16					
AF	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.686** .003 16	-.336** .203 16				
AH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.671** .004 16	-.684 .003 16	.568 .022 16			
HIE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.301 .257 16	-.473 .064 16	-.038 .890 16	-.186 .491 16		
HI	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.487 .056 16	-.398 .127 16	-.076 .780 16	.153 .572 16	.179 .508 16	

** La correlación es significativa al nivel 0.01.

HH.-Humina heredada; **AF.**-Ácidos fúlvicos; **AH.**-Ácidos húmicos;

HIE.-Humina de insolubilización extraíble; **HI.**-Humina de insolubilización no extraíble.

En resumen, se observa que los grados de humificación son más altos y el humus se encuentra más evolucionado en la cuenca del río Lillas que en la cuenca del río Riaza, como consecuencia principalmente del mayor contraste estacional que se da en la primera. También se considera que la vegetación de los suelos en la cuenca del río Lillas, formada por pastizales, melojares, o melojares de reciente degradación favorece los procesos de humificación.

En algunos casos el grado de humificación no se corresponde con el que indican las relaciones C/N. El aprovechamiento de toda la zona para uso ganadero puede producir incrementos en los porcentajes de nitrógeno que dan

valores de la relación C/N más bajos de los que deberían obtenerse en suelos con una humificación deficiente. Parece más correcto realizar el estudio del grado de humificación a partir del fraccionamiento de materia orgánica que de la relación C/N.

Como consecuencia de los procesos de alteración se liberan al medio una serie de cationes: K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Fe^{+3} y Al^{+3} . En medios ácidos y aireados, el hierro liberado es muy poco soluble y generalmente precipita como óxido o hidróxido, sólo una pequeña parte del hierro liberado se incorpora a los minerales secundarios de arcilla o se compleja con materia orgánica. En estos medios, el hierro evoluciona hacia formas hidratadas amorfas y no existe prácticamente en forma de cambio. Si en estas condiciones la materia orgánica es poco abundante, se produce la rápida cristalización de los óxidos de hierro amorfos.

En el humus de tipo mull, el hierro se liga a la materia orgánica y a las arcillas y se insolubiliza quedando formas amorfas o criptocristalinas de $Fe(OH)_3$, lo que da lugar al empardecimiento. Cuando el humus es de tipo moderado o mor, los compuestos orgánicos de muy bajo peso molecular se ligan a los iones de hierro y forman quelatos móviles. La biodegradación de estos compuestos orgánicos, produce la precipitación de los quelatos y la acumulación de $Fe(OH)_3$ amorfo en los horizontes inferiores.

La forma iónica, soluble y de cambio Al^{3+} , está mejor representada en los suelos que su equivalente de hierro, a condición de que sean ácidos. La disolución del aluminio desde la fase sólida del suelo se constituye como principal protón regulador del pH en medios ácidos (Matzner, 1989).

En el control de la solubilidad del aluminio hay que considerar el medio en el que se encuentra. Johnson et al. en 1981 y Dahlgren et al en 1989 vieron como en los horizontes minerales de suelos moderadamente ácidos ($pH > 4,5$) las formas de $Al(OH)_3$ regulaban la cantidad de Al^{3+} en la solución del suelo. En los horizontes orgánicos la complejación con sustancias húmicas es el principal factor que controla la solubilidad (Cronan et al., 1986), también en aquellos horizontes minerales que presentan un $pH < 4,2$ son esos complejos de aluminio los que regulan la formación de Al^{3+} soluble (Bloom et al., 1979; Berggren y Mulder, 1995).

Encontramos las siguientes formas de aluminio en los suelos: el Al^{+3} de cambio a pH inferiores a 5, $Al(OH)^{+2}$ y $Al(OH)_2^+$, iones hidroxilados complejos, estos cationes son responsables de las cargas variables y actúan ligando arcillas y

compuestos húmicos. Son más importantes que las de hierro y pueden situarse entre los estratos de las arcillas para formar vermiculitas alumínicas e incluso cloritas secundarias a pH ácido; de esta forma tenemos que los óxidos insolubles de alúmina son, en general, poco abundantes. La Gibsita puede predominar en suelos ferralíticos y medios drenados que evacúan sílice y son pobres en materia orgánica, y el alofano como gel amorfo aluminio silícico en los horizontes B espódicos de Podsoles.

Siguiendo el criterio de Oades (1989) se agrupa el hierro y el aluminio liberado en las siguientes formas:

Hierro y aluminio libre: Todas las formas de hierro y aluminio que han salido de la estructura mineral, son extraídas con ditionito y citrato sódico, y engloban monómeros complejados, policationes y óxidos amorfos y cristalinos.

Hierro y aluminio activo: Es la fracción de hierro y aluminio libre extraída con oxalato ácido amónico, y que engloba todas las formas anteriores menos los óxidos cristalinos.

Hierro y aluminio ligado a materia orgánica: Es una parte del hierro y el aluminio activo que puede ser extraído con pirofosfato sódico, y engloba complejos organo minerales entre el hierro y el aluminio con la materia orgánica.

Todos los suelos del puerto de la Quesera y de la cuenca del río Lillas presentan importantes cantidades de aluminio debido fundamentalmente al material esquistoso del que proceden, rico en minerales aluminosos. En todos existe más aluminio que hierro total, especialmente en aquellos horizontes que se encuentran directamente en contacto con materiales originales de tipo esquistoso: Leptosol dístrico ALF 2, Leptosol móllico ALF 9 y Regosol húmico ALF 16.

El hierro y el aluminio se van liberando de los minerales durante los procesos de alteración: principalmente hidrólisis ácida y en ocasiones complexolisis. La intensidad de estos procesos se puede conocer estableciendo una relación entre hierro y aluminio libre frente a hierro y aluminio total.

En general los procesos de alteración marcados por esta relación son medios en la mayoría de los suelos, con una liberación mayor de hierro que de aluminio. Siguiendo este criterio los suelos que han sufrido procesos de alteración más importantes son los Leptosoles úmbricos ALF 4, ALF 7, ALF 12, el Leptosol móllico ALF 9, y el Podsol éntico ALF 3. La alteración es mayor en suelos con valores próximos a uno (Tabla 6.1.13).

Tabla 6.1.13.- Relación entre hierro libre y total.

LPum ALF 4	LPum ALF 7	LPum ALF 12	LPmo ALF 9	PZet ALF 3	
Fe_d/Fe_T	0.75	0.67	0.66	0.69	0.80

Fe_d.- Hierro extraído con ditionito.
Fe_T.- Hierro total.

El Fluvisol gleico ALF 6 es el suelo que presenta una alteración más moderada en función de los valores de hierro y aluminio total frente al hierro y aluminio liberados durante la alteración ($Fe_d/Fe_T=0,42$). En el Podsol éntico ALF 3 y en el Podsol úmbrico ALF 14 se observa un significativo arrastre de hierro y aluminio que se acumula en los horizontes inferiores, también se encuentran cantidades elevadas de aluminio ligado a materia orgánica a lo largo del Leptosol úmbrico ALF 10.

Lazerte y Findeis (1995) sugieren que la relación entre el Al_p (aluminio extraído con pirofosfato) y el Al_o (aluminio extraído con oxalato) determina qué formas son las que controlan la liberación de aluminio a la solución del suelo en condiciones de acidificación: la fase orgánica constituida por los complejos entre el aluminio y la materia orgánica, o la fase inorgánica (Tablas 6.14 y 6.15). Establecen la relación molar entre $(Al_o-Al_p)/Al_p$ y señalan que con valores superiores a 0,7 el aluminio soluble podría tener su origen fundamentalmente a partir de formas inorgánicas (estimadas como Al_o-Al_p), mientras que con valores

bajos serían los complejos orgánicos en los que interviene el aluminio quienes dominarían su solubilidad. Sin embargo, el estudio de la solubilidad del aluminio es más complejo al haberse comprobado que el tratamiento con pirofosfato también puede extraer formas amorfas de $\text{Al}(\text{OH})_3$ e incluso gibsita (Kaiser y Zech, 1996). Los trabajos de Mulder y Stein (1994) y de Simonsson y Berggren (1998) tratan de determinar qué mecanismos son los que controlan la liberación de aluminio teniendo presente la relación molar entre el Al_p y el C_p que establecería el nivel de saturación con aluminio que existe en los complejos orgánicos. Estos autores señalan que los valores altos de la relación se producen con valores altos de $\text{Al}_o\text{-Al}_p$ lo que indicaría abundante presencia de formas secundarias inorgánicas de aluminio. En la mayoría de los suelos estudiados la liberación de aluminio no es regulada por las formas secundarias inorgánicas de aluminio ($\text{Al}_o\text{-Al}_p$) como se puede observar en la gráfica 6.1.6.

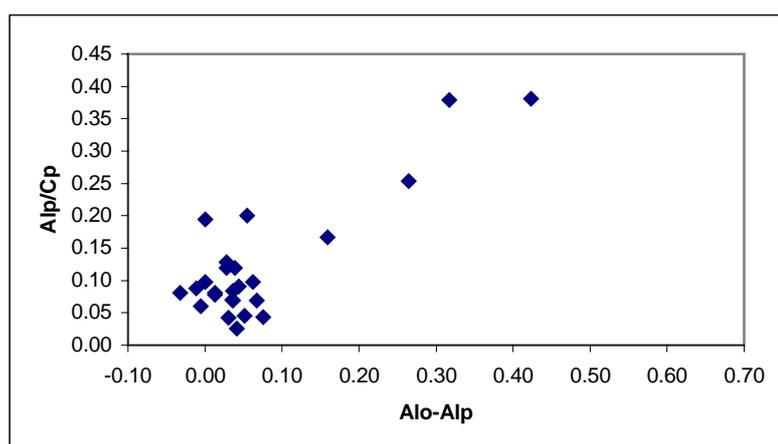


Gráfico 6.1.6.- Relación de Al y C extraídos por pirofosfato (Al_p/C_p) frente a $\text{Al}_o\text{-Al}_p$

La relación $(\text{Al}_o\text{-Al}_p)/\text{Al}_p$ (Lazerte y Findeis, 1995) indicaría liberación de aluminio a partir de formas inorgánicas en los horizontes superficiales de los Leptosoles dísticos ALF 1 y ALF 2, del Fluvisol gleico ALF 6 y, en menor medida, del Podsol úmbrico ALF 14. Este hecho se puede asociar al menor grado de humificación que presentan estos horizontes lo que dificultaría la formación de complejos orgánicos en los que interviene el aluminio. También se observa liberación de aluminio a partir de formas inorgánicas en los horizontes inferiores

del Leptosol dístico ALF 2, el Podsol éntico ALF 3 y los Leptosoles úmbricos ALF 10 y ALF 4.

Este estudio puede ser completado al considerar la solubilidad del aluminio según la relación propuesta por Simonsson y Berggren (1998) que señalan valores inferiores a 0,1 en la relación Al_p/C_p cuando la liberación es controlada por la complejación con materia orgánica. Así tenemos que en el horizonte Bhs del Podsol úmbrico ALF 14, en el que la liberación de aluminio parecía tener su origen en la forma orgánica, da un valor de $Al_p/C_p=0.201$. De esta forma se corrige la posible confusión que origina la extracción de formas inorgánicas en el tratamiento con pirofosfato que se produce en algunas muestras.

Tabla 6.1.14.- Formas de hierro y aluminio determinadas en los Leptosoles del área de estudio.

		Al_p	Fe_p	C_p	Al_o	Fe_o	Al_o-Al_p	Al_p/C_p	$(Al_o-Al_p)/Al_p$
		mol kg ⁻¹					mol mol ⁻¹		
LPdy ALF 1	Ah	0.059	0.013	0.52	0.157	0.063	0.098	0.113	1.67
LPdy ALF 2	Ah	0.098	0.021	0.58	0.216	0.063	0.118	0.169	1.20
	AB	0.078	0.024		0.294	0.050	0.216		2.75
	CB	0.078	0.025		0.157	0.025	0.078		1.00
	C	0.039	0.013		0.137	0.025	0.098		2.50
LPum ALF 4	Ah	0.098	0.025	1.32	0.157	0.088	0.059	0.074	0.60
	AC	0.059	0.023		0.255	0.063	0.196		3.33
LPum ALF 7	Ah	0.059	0.014	1.45	0.075	0.060	0.016	0.041	0.28
LPmo ALF 9	Ah	0.113	0.018	3.14	0.118	0.056	0.005	0.036	0.04
LPum ALF 10	Ah1	0.130	0.022	3.64	0.119	0.068	-0.012	0.036	-0.09
	Ah2	0.142	0.022	2.49	0.152	0.067	0.010	0.057	0.07
	C	0.051	0.009		0.100	0.031	0.049		0.97
LPum ALF 12	Ah	0.086	0.024	2.19	0.082	0.065	-0.004	0.039	-0.05
LPli ALF 15	Ah	0.103	0.027	3.83	0.101	0.078	-0.002	0.027	-0.02

Cantidades expresadas en %.

o.-Extraído con oxalato ácido amónico.

p.-Extraído con pirofosfato sódico.

Tabla 6.1.15.- Formas de hierro y aluminio determinadas en otras unidades de suelo.

		Al _p	Fe _p	C _p	Al _o	Fe _o	Al _o -Al _p	Al _p /C _p	(Al _o -Al _p)/Al _p
		mol kg ⁻¹					mol mol ⁻¹		
RGhu ALF 8	Ah	0.088	0.017	1.66	0.098	0.058	0.010	0.053	0.12
RGhu ALF 13	Ah1	0.031	0.017	2.73	0.047	0.068	0.015	0.012	0.49
	Ah2	0.076	0.040	1.43	0.090	0.110	0.014	0.053	0.19
	AC	0.064	0.019		0.079	0.051	0.014		0.22
RGhu ALF 16	Ah1	0.037	0.010	1.85	0.056	0.064	0.019	0.020	0.51
	Ah2	0.064	0.019	2.09	0.089	0.079	0.025	0.031	0.39
	AC	0.063	0.014	2.04	0.076	0.050	0.013	0.031	0.21
PZet ALF 3	Ah	0.118	0.050	2.72	0.118	0.130	0	0.043	0.00
	ABhs	0.176	0.113	1.04	0.333	0.150	0.157	0.169	0.89
	BC	0.098	0.063		0.235	0.088	0.137		1.40
PZum ALF 14	O	0.047	0.010		0.077	0.027	0.030		0.63
	Ah	0.031	0.009	0.72	0.055	0.020	0.023	0.044	0.73
	E	0.039	0.009	2.08	0.051	0.018	0.011	0.019	0.29
	Bhs	0.237	0.068	1.18	0.237	0.16	0	0.201	0.00
FLum ALF 5	Ah1	0.080	0.018	2.56	0.093	0.050	0.013	0.031	0.17
	Ah2	0.107	0.021	1.20	0.127	0.056	0.020	0.089	0.19
FLgl ALF 6	Ah	0.018	0.017	0.94	0.046	0.048	0.028	0.019	1.56
	Bg	0.030	0.014		0.043	0.054	0.013		0.45
	Cg	0.016	0.007		0.029	0.024	0.013		0.84
CMmo ALF11	Ah1	0.047	0.021	1.36	0.052	0.064	0.005	0.035	0.10
	Ah2	0.066	0.030	1.77	0.080	0.088	0.013	0.037	0.20
	AC	0.078	0.031		0.082	0.083	0.004		0.05

Cantidades expresadas en %.

o.-Extraído con oxalato ácido amónico.

p.-Extraído con pirofosfato sódico.

La relación entre las distintas formas de hierro y aluminio y las diferentes fracciones de materia orgánica contribuye a la interpretación de los procesos edafogénicos que participan en la evolución del suelo. Se efectuó un análisis estadístico en los horizontes superficiales de las correlaciones entre las distintas formas de hierro y aluminio y las fracciones de materia orgánica obteniéndose las siguientes correlaciones positivas significativas: entre el hierro y el aluminio activo con el hierro y aluminio ligado a materia orgánica, indicando que la mayor parte del hierro y al aluminio activo se encuentra formando complejos con la materia orgánica y una menor proporción como óxidos amorfos o policaciones; entre el hierro activo y los ácidos húmicos, señalando la unión entre policaciones de hierro y ácidos húmicos durante la formación de complejos; entre el hierro libre y el hierro total que indica una liberación importante de hierro durante los procesos de alteración y una menor liberación de aluminio (Tabla 6.1.16).

Tabla 6.1.16.- Correlaciones entre formas de hierro y aluminio y fraccionamiento de materia orgánica en el horizonte superior.

		CLIBRE	HH	AF	AHI	AHII	HI	FEL	FEA	FEMO	FET	ALLIB	ALA	ALMO	ALT
CLIBRE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N														
HH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.634 **													
AF	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.686 **	-.336												
AHI	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.671 **	-.684 **	.568 *											
AHII	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.301	-.473	-.038	-.186										
HI	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.487	-.398	-.076	.153	.179									
FEL	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.430	-.535 *	.126	.508 *	-.019	.552 *								
FEA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.178	-.585 *	-.158	.631 **	-.103	.280	.524 *							
FEMO	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.087	-.191	-.247	.425	-.408	.112	.348	.828 **						
FET	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.583 *	-.716 **	.144	.367	.542 *	.531 *	.708 **	.290	.020					
ALLIB	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.502 *	-.028	.318	-.020	.218	.412	.224	-.370	-.390	.201				
ALA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.427	-.024	-.688 **	-.280	.240	-.004	.247	.263	.304	.214	-.051			
ALMO	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.015	-.142	-.159	.256	-.132	.068	.570 *	.463	.544 *	.203	.104	.624 **		
ALT	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.165	.086	-.213	-.055	.000	-.161	.188	-.080	-.098	.191	-.142	.235	.136	

** La correlación es significativa al nivel 0,01

* La correlación es significante al nivel 0,05

6.2 Discusión: Edafogénesis.

La zona de estudio reúne condiciones de podsolización, como ya señalaron Riedel (1973), Espejo (1988), Ibáñez (1988) y Lagos y Velasco (1992). De los suelos estudiados, el Podsol úmbrico ALF 14 presenta aspecto morfológico de Podsol, y el Podsol éntico ALF 3 se clasifica como Podsol considerando sus datos analíticos.

El Podsol úmbrico ALF 14 se localiza en un rellano de una ladera de un



Foto 6.2.1.-Aspecto morfológico del PZum ALF14

cinco por ciento de pendiente. Presenta un horizonte O con humus tipo mor, una relación C/N próxima a treinta y un alto grado de saturación por acumulación de las bases arrastradas; a continuación un horizonte Ah con humus tipo mull-moder, un horizonte E, que no aparece completamente decolorado por la importante cantidad de materia orgánica que todavía contiene, y el

horizonte espódico (Bhs) de acumulación de materia orgánica y sesquióxidos de hierro y aluminio (Foto 6.2.1). En este horizonte se observan concreciones rojizas que trituradas y analizadas por difracción de rayos X, permiten identificar la presencia de hematites. Este mineral se forma a partir del hierro liberado de los complejos, a través de ferrihidrita. El aluminio se pierde por drenaje o evoluciona hacia la formación de metahaloisita. En el estudio al microscopio de la fracción arena de este horizonte se observan recubrimientos de los granos por hierro y materia orgánica a pesar de los tratamientos seguidos para eliminar estos compuestos.

Este Podsol se encuentra localizado en una zona de hayas (Foto 6.2.2), lo que indica que los procesos de podsolización no están estrictamente ligados a una vegetación acidificante. Suelos podsolizados en zonas de hayas ya fueron descritos por Dimbleby (1962), Munat (1967), Hoyos et al. (1981) y Hoyos et al. (1983). El clima, el material de partida, un coluvio cuarcítico muy poroso, y la posición fisiográfica en rellano, hacen posible su podsolización.



Foto 6.2.2.- Posición fisiográfica del PZum ALF 14

El estudio de los datos analíticos permite su clasificación como Podsol al cumplirse la relación que propone FAO (1998) entre las formas de hierro y aluminio activo en los horizontes subyacentes y suprayacentes, y por la formación de un horizonte espódico en el que se observa una importante acumulación de las distintas formas de hierro y aluminio (tabla 6.2.1 y Gráfico 6.2.2).

Gráfico 6.2.1.- Formas de hierro y aluminio en el Podsol úmbrico.

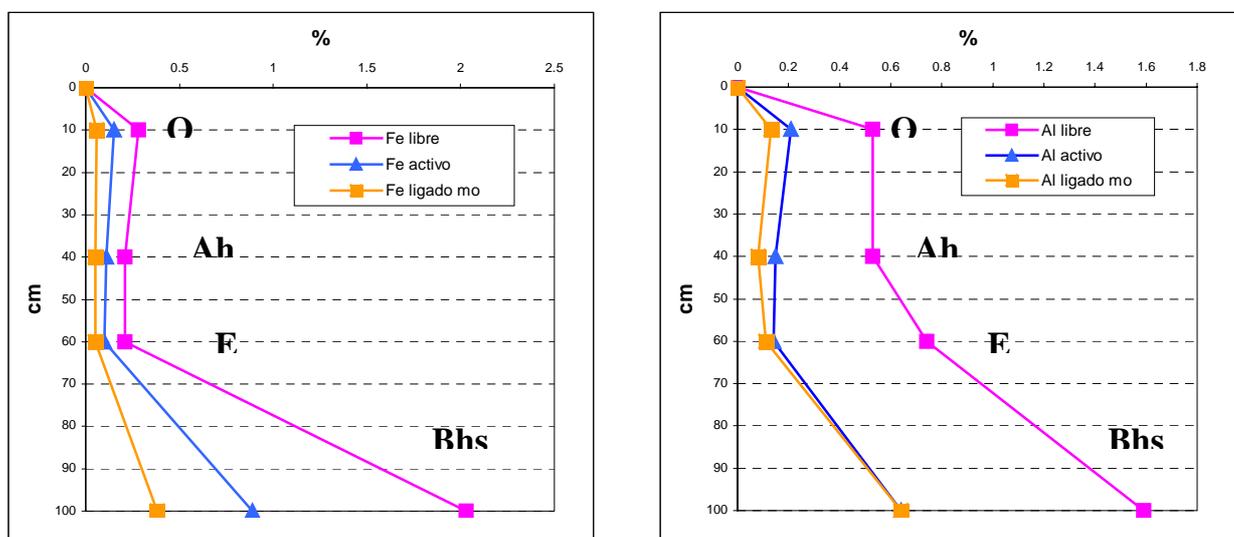


Tabla 6.2.1.- Formas de hierro y aluminio en el Podsol úmbrico ALF 14.

	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _d	Al _o	Al _p
O	0.28	0.15	0.06	0.53	0.21	0.13
Ah	0.21	0.11	0.05	0.53	0.15	0.08
E	0.21	0.1	0.05	0.74	0.14	0.11
Bhs	2.03	0.89	0.38	1.59	0.64	0.64

Cantidades expresadas en %.

d.-Extraído con ditionito/citrato; **o.**-Extraído con oxalato ácido amónico;

p.-Extraído con pirofosfato sódico;**T.**-Total.

El proceso de alteración por complexolisis descrito por Bruckert (1970) en el que se demuestra la enorme importancia que tiene la formación de complejos órgano-metálicos móviles en Podsoles sentó las bases que condujeron a las teorías de Russell (1973), McKeague et al. (1978) y Petersen (1976) en las que se propone que la formación de Podsoles implica el transporte de hierro y aluminio en forma de complejos orgánicos.

Sin embargo Farmer et al. (1980) y Anderson et al. (1982) cuestionan la teoría anterior y afirman que el aluminio es transportado a Bs y a horizontes inferiores en forma de complejo soluble de silicato de aluminio, siendo ésta la forma predominantemente móvil del aluminio y precipita en este horizonte en forma de imogolita y/o alofano. Para que esto se produzca es necesario que

ácidos orgánicos de muy bajo peso molecular (cítrico, carbónico, oxálico) liberen sexquióxidos y sílice del material original; así se va formando el horizonte E, al perder los coloides electropositivos (sexquióxidos) y al quedar los coloides orgánicos electronegativos libres para migrar a zonas profundas precipitando encima de Bs. Este proceso conlleva un descenso mayor de pH que conduce a la solubilización y arrastre del aluminio a zonas más profundas. En la parte superior del horizonte Bhs quedan los complejos orgánicos con el hierro inmovilizados, al tratarse de sustancias menos susceptibles al ataque ácido.

McKeague y Kodama (1981) y Child et al. (1983) señalan que el movimiento del aluminio podría producirse tanto como complejo inorgánico en forma de aluminio silicatos solubles, como en forma de complejo orgánico.

La formación de imogolita y alofano en los suelos podsólicos es explicada por Ugolini y Dahlgren (1987) que recogen las diversas teorías que se han ido proponiendo para explicar estos procesos: la teoría de los fulvatos en la que se expone que la síntesis de imogolita en los horizontes Bs es debida a la reacción del sílice y el aluminio liberados por los ácidos orgánicos en los horizontes Bhs y la teoría de la proto-imogolita que propone la formación de imogolita en los horizontes superficiales y su emigración al horizonte Bs en el que el suelo está positivamente cargado.

Estos mismos autores al estudiar el comportamiento de la solución del suelo, señalan la presencia de ácidos fúlvicos en los horizontes E y Bhs que bajan el pH de la solución, en estas condiciones el H_2CO_3 no está dissociado y los ácidos fúlvicos entran en competencia con la sílice para tomar el aluminio, el resultado es la formación de complejos órgano aluminicos estables que inhiben la formación de imogolita-alofano; estos complejos se rompen en profundidad al aumentar el pH y el aluminio liberado puede reaccionar con la sílice produciendo la formación de imogolita-alofano “in situ” en los horizontes Bs, Bc y C.

En el Podsol úmbrico estudiado, la cantidad de aluminio total es mayor que la de hierro total, como ocurre en todos los suelos de la zona. El pico de hierro total se encuentra en el horizonte Bhs, mientras que los valores más bajos se dan en el horizonte E. De todos los suelos estudiados es el que tiene una

cantidad de hierro total más baja en los horizontes E y Ah, como consecuencia de la movilización de las formas de hierro hacia horizontes inferiores (Tabla 6.2.2).

Tabla 6.2.2.- Contenido en hierro total del Podsol úmbrico ALF 14.

<u>Horizontes</u>	<u>O</u>	<u>Ah</u>	<u>E</u>	<u>Bhs</u>
% Fe ₂ O _{3T}	0.7	1.6	0.8	5.3

Al comparar la cantidad de hierro y aluminio total con el hierro y aluminio libre que procede de la alteración de los minerales, se observa que la alteración conduce a una mayor liberación de hierro que de aluminio. (tabla 6.2.3 y gráfico 6.2.2), fundamentalmente en el horizonte superficial. El valor de la relación en el horizonte Bhs corresponde a procesos de acumulación y arrastre, aunque no descarta una débil alteración como indican Ugolini y Dahlgren (1987).

Tabla 6.2.3.- Relaciones entre hierro y aluminio libre frente al total en el PZum ALF 14.

<u>Horizontes</u>	<u>O</u>	<u>Ah</u>	<u>E</u>	<u>Bhs</u>
Fe _d /Fe _T	0.54	0.19	0.39	0.55
Al _d /al _T	0.11	0.09	0.18	0.37

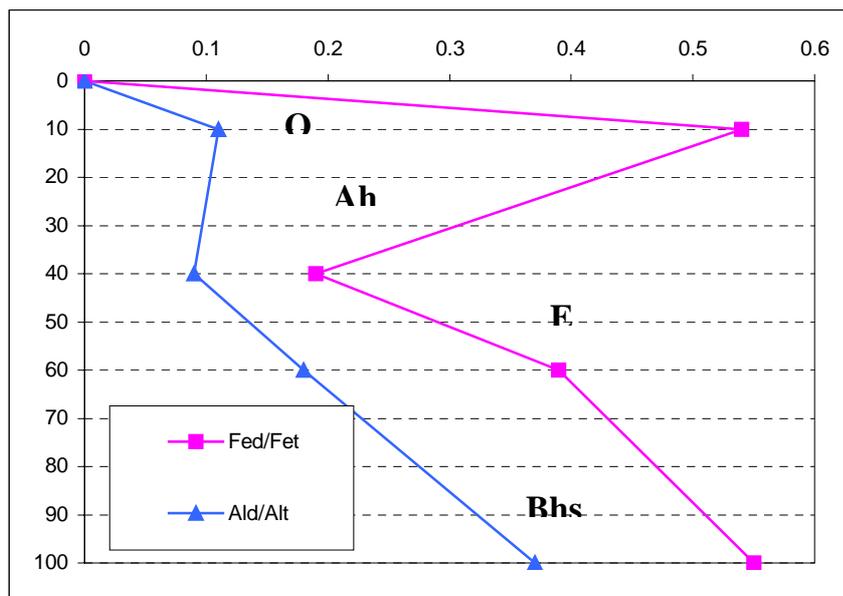


Gráfico 6.2.2.- Relaciones entre hierro y aluminio libre frente al total en el PZum ALF 14.

La alteración del material original en superficie es inducida por los ácidos orgánicos (Jardine et al., 1989, Jones et al., 1998, Lundström et al., 2000) de esta forma se genera hierro y aluminio, los fulvatos móviles presentes en el suelo producen la quelación orgánica del hierro y aluminio y provocan su emigración hacia zonas profundas. El movimiento del aluminio en este suelo, a la vista de la relación Al_p/Al_o y del estudio de la evolución del aluminio activo y el ligado a materia orgánica en profundidad, se realiza principalmente en forma de complejos orgánicos en los que intervienen fundamentalmente ácidos fúlvicos. La movilidad de estos fulvatos se pierde cuando la concentración de hierro y aluminio alcanza valores altos en profundidad y el pH aumenta (Tabla 6.2.4 y Gráfico 6.2.3). En estas circunstancias se pueden producir fenómenos de biodegradación por microorganismos (Lundström et al., 1995) con desprendimiento de CO_2 y formación de H_2CO_3 , que con estos valores de pH puede producir una débil alteración (Ugolini y Dahlgren, 1987). La alúmina se puede combinar con bajas concentraciones de sílice disueltas y formar alofano mientras que el hierro forma oxihidróxidos (Buurman y Van Reewijk, 1984).

Tabla 6.2.4.- Relación entre aluminio libre y aluminio ligado a materia orgánica en el PZum ALF 14.

<u>Horizontes</u>	<u>O</u>	<u>Ah</u>	<u>E</u>	<u>Bhs</u>
Al_p/Al_o	0.61	0.58	0.77	1
pH	5.1	5.0	5.1	5.5

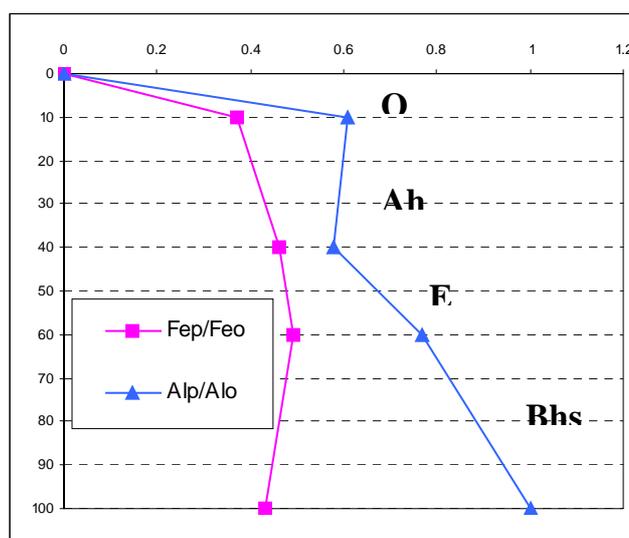
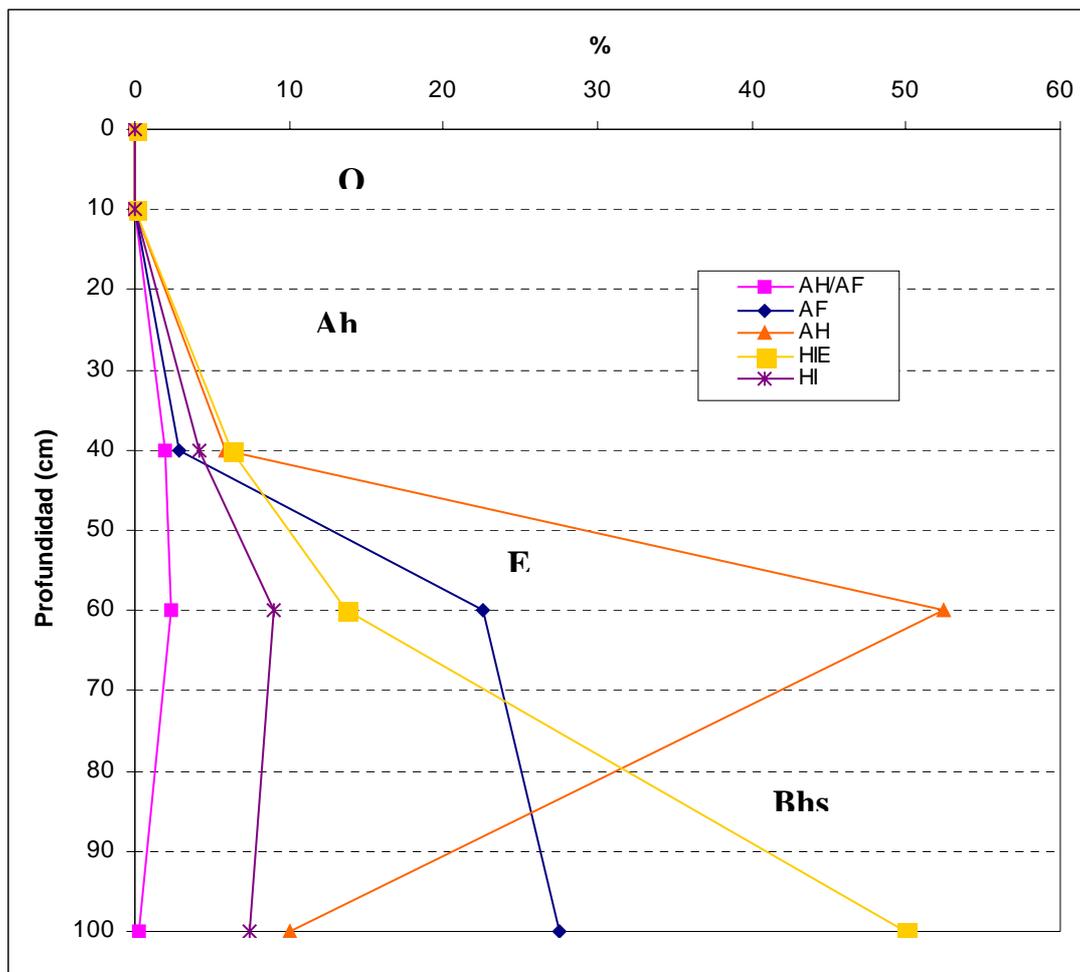


Gráfico 6.2.3.- Relación entre aluminio libre y aluminio ligado a materia orgánica en el PZum ALF 14.

La aparición de gran cantidad de hierro y aluminio libre en el horizonte Bhs refleja la neoformación de compuestos de naturaleza criptocristalina: Estos compuestos pueden formarse a partir del hierro y el aluminio que una vez transportados se insolubilizan en profundidad o en los procesos de alteración de los minerales. Aunque la diferencia entre Al_o y Al_p lleva a pensar que todo el aluminio en este horizonte se encuentra en forma de complejos orgánicos, diferentes trabajos han demostrado la posibilidad de que el pirofosfato extraiga parte del aluminio activo (Kaiser y Zech, 1996; Simonsson y Berggren, 1998) y proponen el estudio de la relación Al_p/C_p para determinar la proporción de aluminio que se encuentra en forma de complejos orgánicos. Este valor es alto (0.45) en el horizonte Bhs del Podsol úmbrico ALF 14, lo que refleja la existencia de importantes cantidades de formas inorgánicas de aluminio en ese horizonte. Diferentes trabajos han demostrado que las altas cantidades de materia orgánica dificultan la cristalización (Schwertmann, 1966; Blume y Schwertmann, 1969), y se favorece la formación de geles amorfos.

En todos los horizontes del Podsol úmbrico ALF 14 se ha identificado meta-haloisita, probablemente formada a partir de la absorción de sílice por los geles de aluminio (Guillet y Souchier, 1987).

El hierro y el aluminio también se incorporan como cationes de enlace entre las arcillas y las sustancias húmicas de neoformación, que fueron definidas como humina de insolubilización extraíble (Almendros, 1979). Gráfico 6.2.4.



AF.-Ácidos fúlvicos; AH.-Ácidos húmicos; HIE.-Humina de insolubilización extraíble;
 HI.- Humina de insolubilización no extraíble.

Gráfico 6.2.4.- Distribución del carbono ligado en el Podsol úmbrico ALF 14.

En los suelos con tendencia a la podsolización se observan valores más bajos en la relación AH/AF en el horizonte subyacente, lo que explicaría la formación de complejos móviles principalmente con los ácidos fúlvicos.

	<u>PZum ALF 14</u>	<u>PZet ALF 3</u>	<u>RGhu ALF 13</u>	<u>RGhu ALF 16</u>	<u>LPum ALF 10</u>
AH/AF (1)	2.3	11.7	2.6	5.3	3.6
AH/AF (2)	0.4	1.8	0.9	5.4	3.1

(1) Relación ácidos húmicos y ácidos fúlvicos en el horizonte suprayacente.

(2) Relación ácidos húmicos y ácidos fúlvicos en el horizonte subyacente.

La formación de humina de insolubilización extraíble en los horizontes espódicos de los Podsoles también se observa si se lleva a cabo un estudio más amplio entre los horizontes superiores e inferiores de suelos con tendencia a la podsolización. Se realiza la correlación entre la humina de insolubilización extraíble y el aluminio extraído con pirofosfato (ligado a materia orgánica) en los horizontes superiores y en los que presentan características espódicas de los siguientes suelos Podsol éntico ALF 3, Leptosol úmbrico ALF 10, Regosol húmico ALF 13, Podsol úmbrico ALF 14 y Regosol húmico ALF 16. Se observa que en los horizontes superficiales la correlación es negativa (-0.529), mientras que en los horizontes inferiores la correlación es positiva y elevada (0.850). También se ve que el aluminio activo en los horizontes superiores se encuentra fundamentalmente ligado a la materia orgánica (0.976), mientras que en los horizontes inferiores esta unión es menos marcada (0.609). Tablas 6.21 y 6.22.

Tabla 6.2.5.- Correlaciones en el horizonte Ah de suelos podsolizados o con tendencia a la podsolización.

		Correlaciones													
		CLIBRE	HH	AF	AH	HIE	HI	FEL	FEA	FEMO	FET	ALLIBRE	ALA	ALMO	ALT
CLIBRE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N														
HH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.841 .074 5													
AF	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.927* .023 5	-.752 .142 5												
AH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.864 .059 5	-.812 .095 5	.699 .189 5											
HIE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.448 .449 5	.161 .795 5	-.303 .620 5	-.705 .183 5										
HI	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.647 .238 5	.644 .241 5	-.865 .058 5	-.424 .477 5	-.007 .991 5									
FEL	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.784 .116 5	.812 .095 5	-.739 .154 5	-.481 .413 5	-.179 .773 5	.582 .303 5								
FEA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.706 .183 5	.513 .377 5	-.831 .081 5	-.259 .674 5	-.160 .797 5	.737 .155 5	.830 .082 5							
FEMO	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.324 .595 5	.342 .573 5	-.556 .331 5	.129 .837 5	-.600 .285 5	.721 .170 5	.679 .208 5	.853 .066 5						
FET	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.985** .002 5	.890* .043 5	-.884* .047 5	-.839 .076 5	.338 .578 5	.605 .279 5	.861 .061 5	.708 .181 5	.358 .554 5					
ALLIBRE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.382 .526 5	.018 .977 5	.638 .247 5	.058 .926 5	-.178 .775 5	-.633 .251 5	-.171 .783 5	-.673 .213 5	-.523 .366 5	-.261 .671 5				
ALA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.334 .583 5	.605 .279 5	-.533 .355 5	-.111 .859 5	-.510 .380 5	.817 .091 5	.614 .270 5	.586 .299 5	.820 .089 5	.381 .527 5	-.216 .727 5			
ALMO	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.421 .480 5	.685 .202 5	-.562 .325 5	-.164 .792 5	-.529 .359 5	.765 .132 5	.755 .140 5	.657 .228 5	.840 .075 5	.494 .398 5	-.148 .813 5	.976** .004 5		
ALT	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.303 .620 5	-.230 .709 5	-.330 .587 5	-.248 .688 5	.720 .170 5	.057 .928 5	-.191 .759 5	.185 .765 5	-.208 .737 5	.160 .797 5	-.684 .202 5	-.509 .381 5	-.541 .347 5	

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Tabla 6.2.6.- Correlaciones en los horizontes subyacentes de suelos podsolizados o con tendencia a la podsolización.

		Correlaciones													
		CLIBRE	HH	AF	AH	HIE	HI	FEL	FEA	FEMO	FET	ALLIBRE	ALA	ALMO	ALT
CLIBRE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N														
HH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.935* .020 5													
AF	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.440 .459 5	-.679 .207 5												
AH	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.318 .602 5	-.100 .872 5	-.589 .296 5											
HIE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.253 .681 5	-.351 .562 5	.592 .293 5	-.740 .163 5										
HI	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.860 .061 5	.711 .178 5	-.030 .962 5	-.485 .408 5	-.220 .722 5									
FEL	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.291 .634 5	.197 .751 5	.419 .483 5	-.928* .023 5	.761 .135 5	.400 .504 5								
FEA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.020 .975 5	-.264 .667 5	.595 .290 5	-.714 .176 5	.726 .165 5	.040 .949 5	.483 .409 5							
FEMO	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.499 .392 5	.254 .680 5	.053 .932 5	-.478 .416 5	.286 .641 5	.314 .606 5	.239 .699 5	.791 .111 5						
FET	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.023 .970 5	.192 .757 5	.036 .954 5	-.394 .512 5	.459 .436 5	.069 .913 5	.701 .187 5	-.201 .746 5	-.433 .467 5					
ALLIBRE	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.064 .919 5	-.015 .982 5	.311 .610 5	-.761 .135 5	.929* .023 5	-.053 .933 5	.804 .101 5	.718 .172 5	.482 .410 5	.465 .430 5				
ALA	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.714 .175 5	.559 .327 5	-.250 .686 5	-.408 .495 5	.163 .793 5	.425 .475 5	.267 .664 5	.575 .311 5	.934* .020 5	-.263 .669 5	.461 .435 5			
ALMO	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	.253 .682 5	.152 .808 5	.228 .712 5	-.799 .105 5	.850 .068 5	.111 .859 5	.818 .091 5	.731 .160 5	.600 .285 5	.410 .493 5	.980** .003 5	.609 .276 5		
ALT	Correlación de Pearson Sig. (bilateral) N	-.714 .176 5	-.562 .324 5	-.211 .733 5	.847 .070 5	-.325 .594 5	-.840 .075 5	-.830 .082 5	-.341 .575 5	-.380 .528 5	-.430 .469 5	-.465 .430 5	-.465 .430 5	-.577 .308 5	

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

Otro suelo localizado en la zona, a unos quinientos metros del collado de la Quesera, clasificado como Podsol, es el Podsol éntico ALF 3. Se desarrolla bajo vegetación acidificante de brezal, a una altitud superior a los 1500 metros, sobre una pizarra cuarcífera (Foto 6.2.3).

La podsolización de este suelo se encuentra favorecida por su textura arenosa, la vegetación acidificante, que provoca la formación de humus tipo moder, y el pH ácido, sin embargo no se desarrolla un Podsol mejor diferenciado por la elevada pendiente que tiene



la zona, y por la presencia de una pizarra

Foto 6.2.3.- Posición fisiográfica del PZet ALF 3

arenosa en profundidad que dificulta los procesos de drenaje a través del perfil.

La movilización de hierro y aluminio, principalmente en forma de complejos orgánicos, conduce a la formación del horizonte espódico AB_{hs} en el que se observa una importante acumulación de hierro y aluminio activo (Gráfico 6.2.5 y Tabla 6.2.7).

El estudio mineralógico de la fracción arcilla permite observar la presencia de interestratificados mica-vermiculita, illita y caolinita a lo largo de todo el perfil, indicando una alteración importante. Al igual que ocurre en el Podsol úmbrico ALF 14, en el análisis al microscopio de la fracción arena se observaron recubrimientos de hierro y materia orgánica en los granos, a pesar de los tratamientos previos de deferración y eliminación de la materia orgánica.

Tabla 6.2.7.- Formas de hierro y aluminio en el Podsol éntico ALF 3

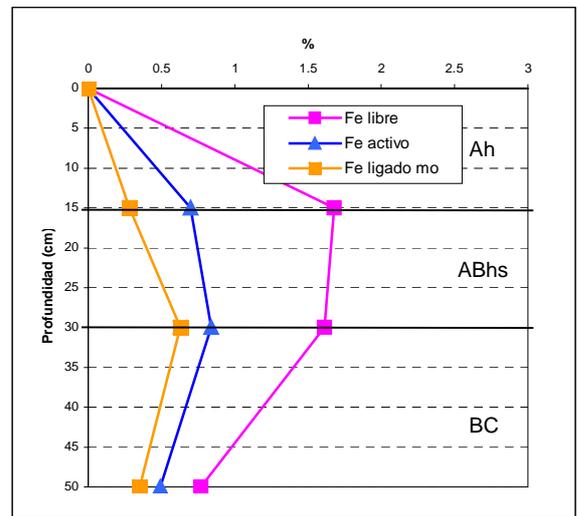
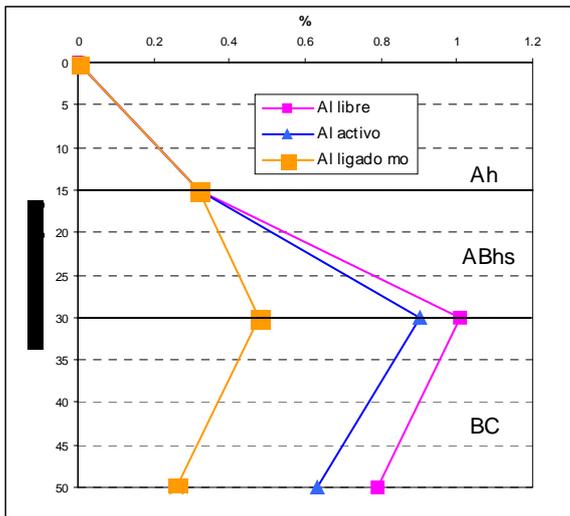
	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _d	Al _o	Al _p
Ah	1.68	0.70	0.28	0.32	0.32	0.32
ABhs	1.61	0.84	0.63	1.01	0.90	0.48
BC	0.77	0.49	0.35	0.79	0.63	0.26

Cantidades expresadas en %.

d.-Extraído con ditionito/citrato; **o.**-Extraído con oxalato ácido amónico;

p.-Extraído con pirofosfato sódico.

Gráfico 6.2.5.- Formas de hierro y aluminio en el Podsol éntico.



A medida que disminuye la altitud, la vegetación de brezal va siendo sustituida paulatinamente por la vegetación original, y sobre los materiales coluviales se desarrolla un bosque de hayas en el que se localiza el Regosol húmico ALF 13, muy próximo al Podsol úmbrico ALF 14 anteriormente descrito (Foto 6.2.4). Este suelo se desarrolla sobre un material similar y bajo la misma vegetación que el Podsol y se observa un ligero arrastre de hierro y aluminio hacia el horizonte subyacente (Gráfico 6.2.6 y Tabla 6.2.8). Como



Foto 6.2.4.- Posición fisiográfica del RGhu ALF 13

más adelante se indica, el horizonte subyacente de este perfil quedó agrupado en un Análisis Factorial de Correspondencias junto a los horizontes espódicos del Podsol úmbrico ALF 14 y del Podsol éntico ALF 3, sin embargo, no cumple la relación recogida en FAO para estos horizontes. La podsolización es incompleta principalmente por la elevada pendiente que presenta esta ladera, próxima al 40%, que favorece los procesos de escorrentía y dificulta los de infiltración.

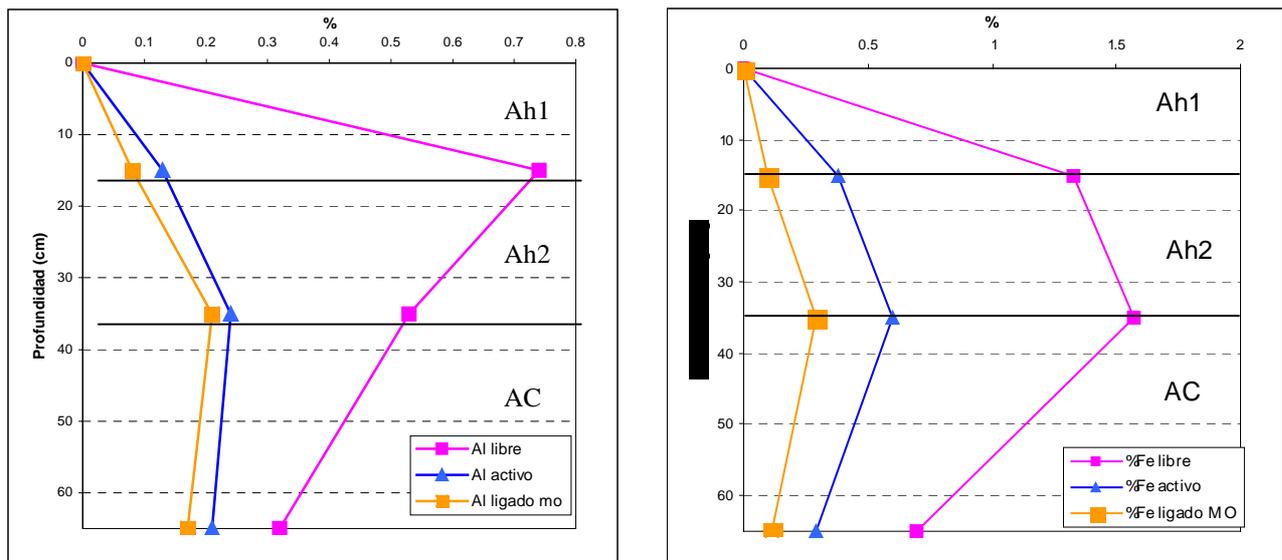


Gráfico 6.2.6.- Formas de hierro y aluminio en el RGhu ALF 13.

Tabla 6.2.8.- Formas de hierro y aluminio en el Regosol húmico ALF 13

	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _d	Al _o	Al _p
Ah1	1.33	0.38	0.10	0.74	0.13	0.08
Ah2	1.57	0.60	0.23	0.53	0.24	0.21
AC	0.70	0.29	0.11	0.32	0.21	0.17

Cantidades expresadas en %.

d.-Extraído con ditionito/citrato; o.-Extraído con oxalato ácido amónico;

p.-Extraído con pirofosfato sódico.

El Regosol húmico ALF 16 se desarrolla sobre un coluvio, a unos 1.400 metros de altitud, y bajo vegetación de haya, melojo y brezo. En el estudio de las diferentes formas de hierro y aluminio también se advierte una ligera movilización hacia el horizonte subyacente (Gráfico 6.2.7 y Tabla 6.2.9). La translocación del hierro, el aluminio y la materia orgánica no está favorecida por la elevada pendiente que dificulta los procesos de drenaje y detiene el posible desarrollo de un suelo podsólico.

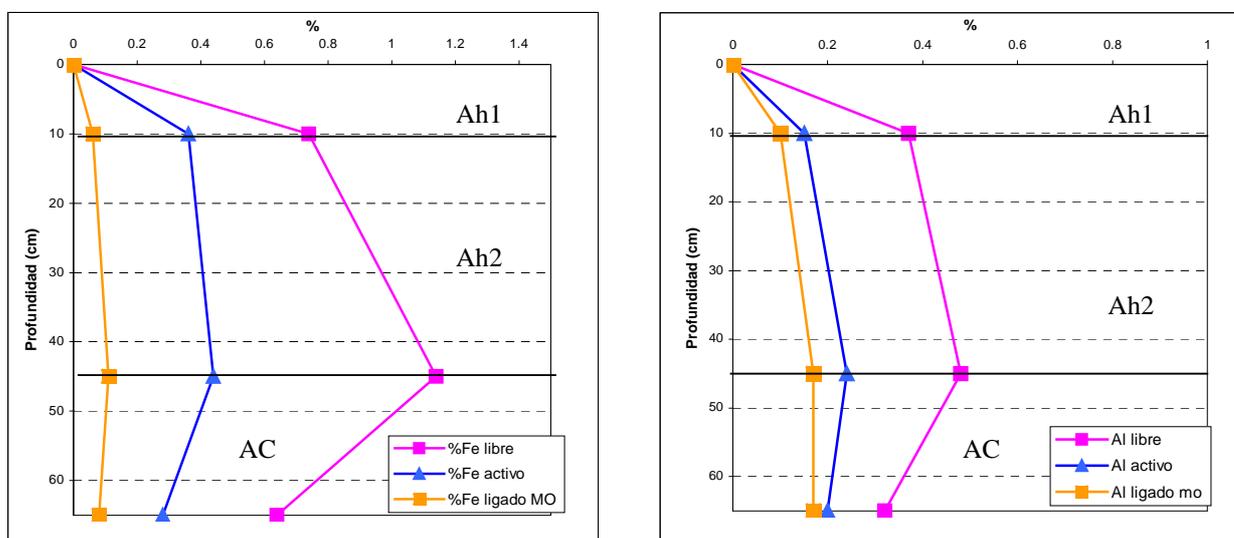


Gráfico 6.2.7.- Formas de hierro y aluminio en el RGhu ALF 16.

Tabla 6.2.9.- Formas de hierro y aluminio en el Regosol húmico ALF 16

	Fe _d	Fe _o	Fe _p	Al _d	Al _o	Al _p
Ah1	0.74	0.36	0.06	0.37	0.15	0.10
Ah2	1.14	0.44	0.11	0.48	0.24	0.17
AC	0.64	0.28	0.08	0.32	0.20	0.17

Cantidades expresadas en %.

d.-Extraído con ditionito/citrato; **o.**-Extraído con oxalato ácido amónico;

p.-Extraído con pirofosfato sódico.

Aunque la zona no reúne las condiciones ideales para que se completen los procesos de podsolización, se observa una importante tendencia hacia la formación de horizontes espódicos, impedida por las altas pendientes que presentan las laderas del Puerto de la Quesera.

Se ha propuesto un índice que, en función de las formas activas de hierro y aluminio en los horizontes subyacentes y suprayacentes, y de la relación entre los ácidos húmicos y los ácidos fúlvicos en el horizonte subyacente, exprese qué suelos tienen mayor tendencia a sufrir estos procesos.

Los valores bajos de la relación AH/AF en el horizonte subyacente indican que existe movilización de fulvatos; los valores altos de la diferencia $(Al_{osuby}-Al_{osupr})-1/2(Fe_{osuby}-Fe_{osupr})$ señalan una movilización de hierro y aluminio activo hacia el horizonte subyacente, estos dos términos se pueden asociar si se calcula el inverso de esta diferencia. Así tenemos que los valores bajos de I_p señalan una mayor tendencia del suelo hacia la podsolización.

$$I_p = AH/AF^* \frac{1}{(Al_{osuby}-Al_{osupr})-1/2(Fe_{osuby}-Fe_{osupr})}$$

Índice de podsolización propuesto para la zona de estudio.

AH.-Ácidos húmicos.

AF.-Ácidos fúlvicos.

Al_{osuby} y Al_{osupr}.-Aluminio activo en los horizontes subyacente y suprayacente.

Fe_{osuby} y Fe_{osupr}.-Hierro activo en los horizontes subyacente y suprayacente.

Para los suelos estudiados en la zona se obtienen los siguientes valores:

	<u>PZum ALF 14</u>	<u>PZet ALF 3</u>	<u>RGhu ALF 13</u>	<u>RGhu ALF 16</u>	<u>LPum ALF 10</u>
I_p	0.037	0.195	0.235	0.297	0.401

Mayor podsolización \longrightarrow Menor podsolización

Aunque se han encontrado en la zona de estudio, suelos podsolizados y con tendencia a la podsolización, los Leptosoles son las unidades de suelo más representativas del puerto de la Quesera, como ocurre en general en áreas de montaña. Se encuentran poco evolucionados y sujetos a continuos procesos de rejuvenecimiento por la influencia de fenómenos de pendiente, que producen pérdida y aporte de nuevos materiales, e impiden la formación de horizontes B cámbicos bien desarrollados. En la cuenca del río Riaza, se describen los siguientes Leptosoles: Leptosoles dístrico ALF 1 y ALF 2; Leptosoles úmbricos ALF 4 y ALF 12 y Leptosol lítico ALF 15.

En los Leptosoles desarrollados a mayor altitud (ALF 1, 12 y 15) aparece un único horizonte Ah de poco espesor, mientras que en los desarrollados a menor altitud (ALF 2 y 4) se encuentran diferenciados varios horizontes, tratándose de suelos algo más evolucionados (Foto 6.2.5 y Foto 6.2.6).



Foto 6.2.5.-Aspecto morfológico del LPum ALF 4 desarrollado a 1.300 metros de altitud.



Foto 6.2.6.-Aspecto morfológico del LPum ALF 12 desarrollado a 1.600 metros de altitud.

En general presentan un grado de humificación medio y predomina el carbono libre y la humina poco transformada (humina heredada) sobre el resto de fracciones. La materia orgánica en el Leptosol lítico ALF 15, desarrollado en el hayedo, se encuentra ligeramente mejor humificada que en los Leptosoles ALF 1 y 12 desarrollados bajo vegetación acidificante de brezal, lo que se manifiesta en una mejor estructuración del horizonte superficial.

Se podría esperar una mayor evolución en el Leptosol dístico ALF 2 y en el Leptosol úmbrico ALF 4 al desarrollarse a menor altitud y bajo vegetación de melojar, sin embargo la pendiente favorece los procesos de arrastre, y la influencia de la actividad humana dificulta la evolución de la materia orgánica y la formación de horizontes bien humificados.

En el collado de la Quesera, por encima de los 1700 metros se localiza el Cambisol mólico ALF 11, desarrollado bajo la pradera de nardetas como único tipo de vegetación que soporta las duras condiciones meteorológicas del collado. La descomposición de los restos vegetales de la pradera conlleva un aporte de cationes, principalmente calcio y magnesio, que amortiguan la acidez y participan como cationes de enlace favoreciendo los procesos de humificación, y la aparición de moléculas húmicas muy estables ligadas a la fracción arcilla (humina de insolubilización). Este aporte de cationes también se asocia a la posición fisiográfica del suelo en un pequeño rellano que le permite recoger los materiales transportados desde las zonas superiores por fenómenos de pendiente.

En resumen, los procesos edafogénicos en la cuenca del río Riaza no conducen principalmente a la formación de tierras pardas como podría concluirse de una observación general de la zona. Se encuentran Leptosoles y Regosoles y localmente cuando se reúnen condiciones de pendiente, vegetación y textura se observa la aparición de Podsoles.

Los factores formadores en las cuencas del río Riaza y el río Lillas son muy semejantes atendiendo al clima, vegetación y material de partida. El principal factor diferenciador en la formación del suelo entre ambas zonas es el relieve. Esto se pone de manifiesto al estudiar la geomorfología de las dos cuencas, en la cuenca del río Lillas el modelado de las vertientes y procesos de coluvionamiento están ligados a la escorrentía sobre todo fluvial y periglacial, así encontramos taludes muy activos asociados a vaguadas de escorrentía difusa, cuencas de recepción torrencial, etc. Las vertientes de esta cuenca carecen de perfiles suaves y de recubrimientos importantes. La acción fluvial, que es sin duda la más activa, no ha podido anular la morfología anterior, y la acción glacial y periglacial sólo ha hundido las cumbres o generado modificaciones locales, la acción gravitacional tampoco ha sido capaz de generar un modelado especialmente intenso. Todos estos factores producen menor coluvionamiento en las laderas de la cuenca del río Lillas, a diferencia de lo que ocurre en la cuenca del río Riaza en la que se observa una reciente serie de coluvionamiento perteneciente al cuaternario, y un modelado más intenso como consecuencia de la acción fluvial que da lugar a la formación de una ladera más suave que articula el piedemonte y la superficie de cumbres (Gutiérrez Elorza, 1994).

Las unidades de suelo más representativas en la cuenca del río Lillas son Leptosoles, Regosoles y Fluvisoles. A lo largo de la cuenca se estudiaron: los Fluvisoles úmbrico ALF 5 y gleico ALF 6 representativos del valle, los Leptosoles úmbricos ALF 7 y ALF 10, el Leptosol móllico ALF 9 y el Regosol húmico ALF 8. Estos suelos, al igual que sucede en la cuenca del río Riaza, presentan poca evolución, lo que es debido fundamentalmente a la gran influencia de la pendiente que dificulta los procesos edafogénicos y conduce a la formación de Leptosoles como suelos más representativos del área de montaña.

El Leptosol úmbrico ALF 10 se desarrolló sobre pizarras, bajo influencia de la vegetación acidificante de brezal (Foto 6.2.7). Su alto grado de saturación, a pesar de la existencia del brezal, se explica por la existencia en toda la zona de un melojar de degradación que produjo un importante aporte de cationes. Se observa un importante contenido en arcilla en el horizonte C como consecuencia de la alteración de



Foto 6.2.7.-Posición fisiográfica del LPu ALF 10.

la pizarra arcillosa sobre la que se forma. También se aprecia una ligera movilización de aluminio activo y aluminio ligado a materia orgánica, que se ve frenada por la importante cantidad de arcilla que se da en el horizonte inferior y que dificulta la infiltración y el arrastre de sustancias; un comportamiento similar se da en los ácidos fúlvicos y en la humina insoluble extraíble. Este arrastre podría identificarse con un incipiente proceso de podsolización con las mismas características que los identificados en el área de Riaza, que se encuentra impedido por los elevados contenidos de arcilla del horizonte inferior y por la presencia del melojar hasta hace relativamente poco tiempo.

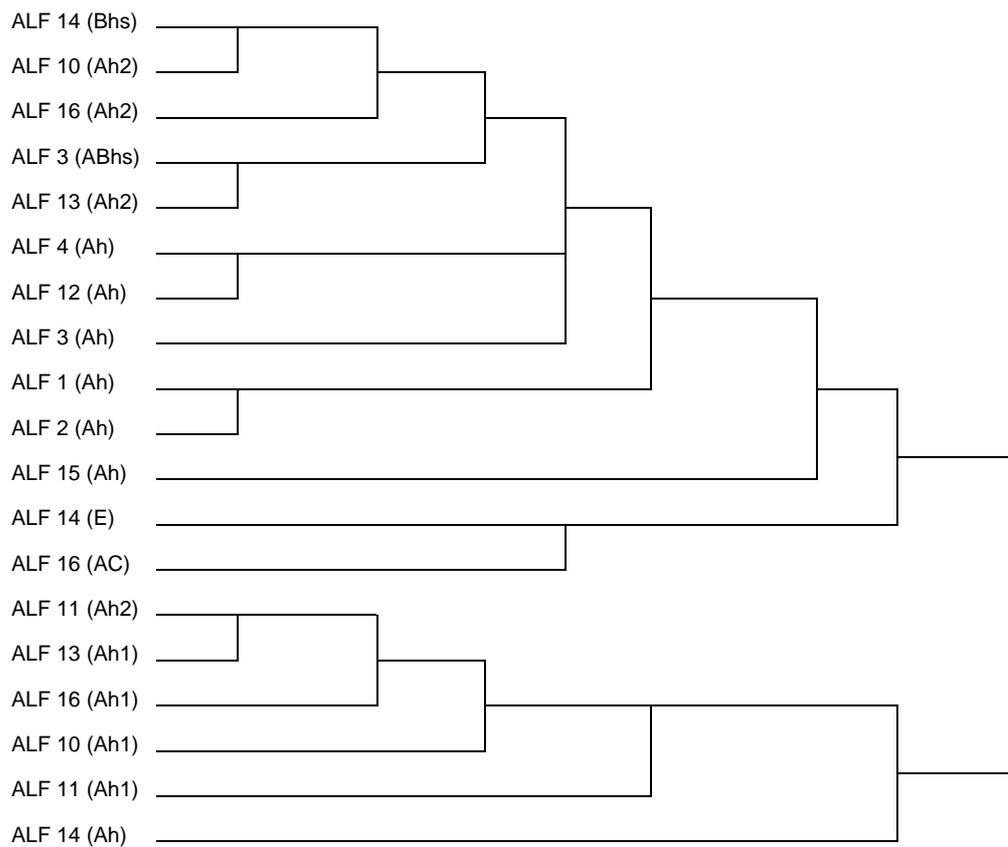
El Leptosol úmbrico ALF 7, se desarrolla en un enclave de jaras que ha sustituido al melojar original degradado. El alto grado de saturación y el elevado contenido en cationes, facilitan la formación de un horizonte superficial bien estructurado. Algo semejante sucede en el Leptosol móllico ALF 9, en el que la elevada pendiente y el esquisto consolidado sobre el que se desarrolla, no han impedido la formación de un horizonte bien estructurado, favorecido por la influencia del melojar bajo el que se encuentra el suelo. El esquisto ha originado una importante cantidad de aluminio total en el horizonte Ah.

El Regosol húmico ALF 8, presenta una menor evolución que los Regosoles estudiados en la cuenca del río Riaza, lo que se atribuye a la vegetación, que condiciona la aparición de un grado de saturación más bajo, con un menor contenido en cationes y al aporte de materiales de tipo coluvial y

aluvial que refleja el elevado porcentaje de la fracción arena gruesa en el horizonte superior.

Se realizó un análisis factorial de correspondencia en los horizontes órgano minerales de los suelos de la cuenca del río Lillas y del río Rianza, buscando la existencia de horizontes espódicos en el área de estudio. Los horizontes se agruparon en función de las siguientes variables: pH, contenido de carbono, relación C/N, carbono libre, ácidos fúlvicos y húmicos, humina heredada, humina de insolubilización extraíble y humina de insolubilización no extraíble, así como las distintas formas extraíbles de hierro y aluminio. De esta forma se observa como las distintas formas de hierro y aluminio quedan asociadas con el eje 2, lo que permite agrupar los horizontes de los suelos en los que existe una notable acumulación de hierro y aluminio activo y ligado a materia orgánica: horizonte AB_{hs} del Podsol éntico (ALF 3) y horizonte B_{hs} del Podsol úmbrico (ALF 14), junto a estos aparece el Ah₂ del Regosol húmico (ALF 13) que aunque presenta gran similitud con los anteriores, no es espódico como ya se indicó, y el horizonte Ah₂ del Leptosol úmbrico ALF 10. Los horizontes superficiales presentan características similares y se agrupan en función de los contenidos de materia orgánica y el grado de saturación. Como resultado del análisis de tipologías o análisis *cluster* se configura el dendrograma que aparece a continuación (Figura 6.2.1). Como solución final se establecen las clases o agrupaciones de suelos que se distribuyen en el primer plano factorial como muestra el Gráfico 6.2.8.

Figura 6.2.1.- Dendrograma de clasificación.



Los Fluvisoles son suelos típicos de valle fluvial, desarrollados a partir de los materiales aluviales. Las condiciones geomorfológicas ya apuntadas, facilitan el desarrollo de estos suelos en la cuenca del río Lillas sobre aluviones del material ácido original, a diferencia de lo que sucede en la cuenca del río Riaza, donde su formación no es posible hasta el piedemonte, cuando se observa un descenso en la pendiente, desarrollándose el suelo sobre materiales de tipo raña.

El Fluvisol úmbrico ALF 5 y el Fluvisol gleico ALF 6 son suelos representativos de la zona de valle fluvial (Foto 6.2.8). El Fluvisol úmbrico ALF 5 se desarrolla sobre un sedimento aluvial más estabilizado bajo la influencia de una pradera que favorece su elevado grado de humificación y la existencia de una importante cantidad de materia orgánica a lo largo de todo el perfil. Aunque se desarrolla sobre pizarra, presenta un alto contenido en

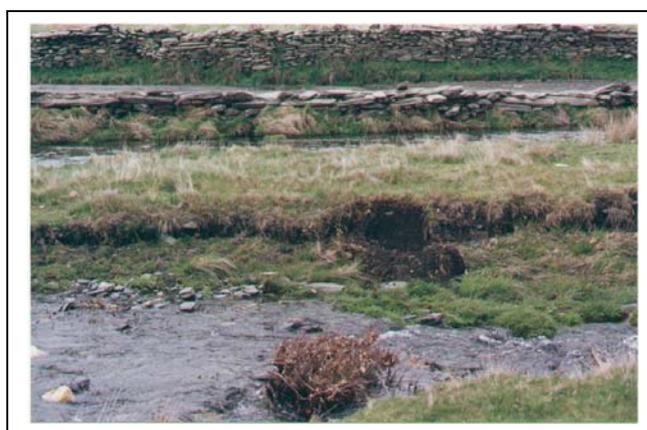


Foto 6.2.8.-Posición fisiográfica del FLgl ALF 6

arena muy gruesa como consecuencia principalmente de los distintos aportes fluviales. El Fluvisol gleico ALF 6 por su situación está más expuesto a las crecidas y a la influencia de la capa freática, esto permite que se den en sus horizontes inferiores propiedades gleicas que permiten su clasificación (FAO, 1998) como Fluvisol gleico. En estos horizontes alternan las condiciones de oxidación y reducción producidas por la oscilación del nivel de la capa freática y que se ponen de manifiesto por la aparición de manchas anaranjadas, ocre y rojizas, que son consecuencia de los procesos de oxidación del hierro en estos horizontes. Los procesos de reducción se encuentran favorecidos por la elevación del nivel de la capa freática, que conduce a la saturación de los poros del suelo, y afectan principalmente al horizonte Cg. Esta saturación no es continua y permite la formación en este horizonte grisáceo de algunas manchas de color anaranjado visibles a la lupa y que reflejan la alternancia entre los procesos de reducción y

oxidación y la oscilación anual del nivel de la capa freática. Todo esto dificulta el desarrollo de la vegetación sobre el perfil, obteniéndose contenidos en materia orgánica relativamente bajos, tanto en el horizonte superficial como en profundidad. También se puede observar un elevado porcentaje de arena muy gruesa en el horizonte superior, como consecuencia del material aluvial aportado por recientes crecidas, y en profundidad por los materiales aluviales sobre los que se desarrolla.

6.3 Discusión: Estudio mineralógico

6.3.1 Mineralogía de las rocas

Toda la zona se ha formado por procesos de metamorfismo regional débil. Como consecuencia de los cuales, encontramos esquistos, pizarras y cuarcitas como rocas más representativas en todo el área de estudio. Los fenómenos de coluvionamiento y plegamiento descritos en Riaza y la presencia de aluviones en la Cuenca del río Lillas hacen que estas rocas aparezcan generalmente mezcladas conformando materiales de partida muy heterogéneos en un gran número de suelos.

En el análisis mineralógico de las rocas se observa que los esquistos cuando son micáceos están constituidos fundamentalmente por micas, cuarzo y algo de feldespatos, junto a caolinita y micas ilitas, mientras que en los esquistos micáceo feldespáticos los minerales más abundantes son cuarzo, feldespato y moscovita, también acompañados por mica ilita y caolinita.

Las pizarras del puerto de la Quesera mineralógicamente están caracterizadas por cuarzo y micas y en menor proporción feldespatos y micas ilitas. En la Cuenca del río Lillas las pizarras tienen una composición mineralógica similar pero presentan un grano más fino y mayor proporción de cloritas y otros filosolicatos ferríferos.

En las cuarcitas el mineral más abundante es el cuarzo.

6.3.2 Mineralogía de la arena

Se realizó el análisis mineralógico de la fracción ligera de la arena ($d < 2.9$) en aquellos suelos desarrollados sobre materiales representativos del área de estudio. Esta fracción es la mayoritaria en todos los suelos, representa más del 98% de la arena, y refleja la composición de la roca de la que procede. En los suelos desarrollados sobre esquistos se observa una importante cantidad de moscovita y cuarzo, acompañados de biotita y feldespatos. Cuando los suelos se desarrollan a partir de pizarras, el mineral más abundante en esta fracción es el cuarzo, acompañado de moscovita y feldespatos potásicos. Se observa una

composición similar cuando en el material de partida existe influencia de cuarcitas.

En el análisis mineralógico de la fracción pesada de la arena ($d > 2.9$) minoritaria en todos los suelos, se encuentran minerales propios del metamorfismo como estaurolitas, andalucitas, silimanitas, granates, etc. Junto a estos aparecen diferentes micas.

6.3.3 Mineralogía de la arcilla

Para interpretar correctamente los procesos de alteración que afectan a los suelos y que contribuyen a su formación y evolución se realiza la identificación de los minerales que componen la fracción arcilla.

La moscovita y, con más facilidad, la biotita se pueden alterar como consecuencia de los procesos de hidrólisis y microdivisión, produciéndose una ligera pérdida de potasio interlamina y la formación de micas ilitas. Estos procesos han sido descritos por Fanning et al. (1989) y Brady y Weil (1996), entre otros autores. En el área de estudio, la aparición de estos minerales es relativamente frecuente en aquellos suelos desarrollados sobre esquistos, sobre pizarras, o sobre mezcla de los dos materiales.

La apertura de los estratos de la ilita, acompañada de una pérdida parcial o total de los iones K^+ interfoliares, permite la incorporación de cationes hidratados a la estructura del mineral, y la formación de vermiculita a través de interstratificados mica-vermiculita (Razzaghe, 1974). La formación de vermiculita también puede tener su origen en la alteración de biotita a micas ilitas trioctaédricas, fase muy fugaz que se altera rápidamente dando lugar a vermiculitas (Duchaufour, 1984), o a través de la formación de interstratificados biotita-vermiculita como demostraron en condiciones de laboratorio, Farmer y Wilson (1970), Gilkes (1973), Reichenbach y Rich (1975), y, en trabajos posteriores, Ghabru et al. (1987) y Feldman et al. (1991) citados por Kretzsehmar et al. (1997). Cuando los suelos son muy ácidos los cationes que se incorporan a la estructura de la vermiculita pueden ser polímeros hidratados de $Al(OH)^{2+}$ y $Al(OH)_2^+$ que forman islotes interlaminares (Douglas, 1989) y conducen a la

formación de vermiculitas aluminicas como ya demostraron De Villiers y Jackson (1967). Recientes trabajos muestran que la presencia de mica alterada y vermiculita en suelos ácidos, ejerce un efecto profundo en la química y dinámica del aluminio (Kretzsehmar et al., 1997).

La formación de interestratificados ilita-vermiculita y vermiculita, se aprecia en la mayoría de los suelos localizados en el puerto de la Quesera (Leptosol dístico ALF 1, Leptosol dístico ALF 2, Podsol éntico ALF 3, Podsol úmbrico ALF 14, Regosol húmico ALF 16 y Cambisol móllico ALF 11), de éstos, los que presentan mayor proporción relativa de estos minerales son el horizonte E del Podsol úmbrico ALF 14 y los horizontes Ah₁ y Ah₂ del Regosol húmico ALF 16. Los bajos valores de pH de estos horizontes favorecen los procesos de alteración y la aparición de los polímeros hidratados de aluminio. Estos minerales no se encuentran en el Regosol húmico ALF 13 ni en el Leptosol lítico ALF 15, en los que la cantidad relativa de ilita es muy baja.

La aparición de vermiculita en suelos podsólicos (Podsol úmbrico ALF 14 y Podsol éntico ALF 3), ha sido referida por numerosos autores, y recientemente en la recopilación realizada por Lundström, van Breemen y Bain (2000) sobre procesos de podsolización.

No se aprecia la formación de vermiculitas ni de interestratificados mica-vermiculita en los suelos recogidos en la cuenca del río Lillas.

Los minerales del grupo de la caolinita se forman principalmente por alteración ácida de los feldespatos, feldespatoides u otros silicatos; Brady (1996) considera que la caolinita representa el estado de alteración más avanzado en los minerales de arcilla, siendo un constituyente minoritario de suelos formados a partir de materiales originales jóvenes en zonas de climas templados.

Su formación en el área de estudio, está ligada a la alteración de los feldespatos. La caolinización de los feldespatos puede ocurrir directamente en la roca, pasando los minerales transformados al suelo como ya afirmó Rossel (1982), y como se deduce de la composición mineralógica de las rocas analizadas; otro posible origen de la caolinita es la alteración de los feldespatos en el suelo, ya que para su formación a partir de micas, sería necesaria una

alteración más intensa, fenómenos de este tipo han sido descritos en feldespatos de suelos ácidos por Barba et al. (1995); algunos autores han señalado la posibilidad de que la caolinita se neoforme en el suelo a partir de geles de sílice y alúmina, Kimpe et al. (1961) observaron que a medida que disminuye el pH el estado de coordinación del aluminio pasa de cuatro a seis, de modo que a valores de pH bajos (4,5-5) pudieron sintetizar pequeñas cantidades de caolinita. Otro factor que puede ser importante en la formación de caolinita edafogénica es la presencia de moléculas orgánicas como agentes de hexacoordinación del aluminio (Wey y Siffert, 1962).

La caolinita se encuentra presente en la mayoría de los suelos de la cuenca del río Riaza; en estos suelos, la caolinización de los feldespatos debió tener lugar en la roca, pasando la caolinita directamente al suelo. El Regosol húmico ALF 16 presenta importantes cantidades de caolinita a lo largo de todo el perfil, en el Cambisol mólico ALF 11, se determinan valores relativamente altos de caolinita en el horizonte AC, sin que se detecten feldespatos en ninguno de sus horizontes. No hay caolinita en el horizonte E del Podsol úmbrico ALF 14, probablemente como consecuencia de la alteración, ya que este mineral aparece en el horizonte Ah y Bhs. En la cuenca del río Lillas no se observa la formación de caolinita en ninguno de los perfiles estudiados.

La metahaloisita puede aparecer por alteración de minerales primarios, principalmente plagioclasas. Sieffermann (1973) señala que la metahaloisita se forma por deshidratación de la haloisita en ambientes que incluyan periodos de desecación y humedecimientos periódicos o estacionales. Tal condición no sería absoluta en medios desaturados. Puede establecerse que la transición cristaloquímica del alofán hacia metahaloisita, es un proceso continuo de deshidroxilación, a través del reemplazo y condensación de grupos SiO_4 , lo cual conduce hacia una cristalinidad más alta de los minerales. La metahaloisita $(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}$ se originaría por deshidratación de la haloisita $(\text{OH})_8\text{Si}_4\text{Al}_4\text{O}_{10}$ con cuatro moléculas de H_2O , en este proceso juega un papel fundamental la alternabilidad de estaciones secas y húmedas.

Aparece metahalosita en el horizonte Bg del Fluvisol gleico ALF 6 y en el horizonte Ah₂ del Leptosol úmbrico ALF 10, ambos desarrollados sobre pizarras del silúrico, y a lo largo de todo el Posol úmbrico ALF 14. Su formación puede ser debida a la alteración de los feldespatos; y en estos suelos, no se descarta su neoformación en el suelo a partir de geles de sílice y aluminio, principalmente en el Pozsol úmbrico ALF 14 y en el Leptosol úmbrico ALF 10 en el que su horizonte subsuperficial presenta características espódicas.

Las cloritas se asocian con rocas que presentan un grado de metamorfismo bajo o medio, siendo heredados como minerales primarios por el suelo (Barnhisel y Bertsch, 1989). En todos los suelos de la Cuenca del río Lillas desarrollados sobre pizarras silúricas, se identifican cloritas. La composición química de este tipo de pizarras ha sido objeto de algunos estudios (Alcover, 1994 y Hernando et al., 1999), que muestran el alto porcentaje de hierro que poseen, tratándose por tanto de cloritas ferríferas, ricas en hierro y magnesio, que son heredadas por el suelo desde el material original. En el análisis mineralógico de estas pizarras, trituradas a tamaño inferior a dos micras, se identifican como clinocloro. No aparecen estos minerales en el análisis de la arcilla del Puerto de la Quesera, al tratarse de suelos desarrollados sobre esquistos o sobre pizarras ordovícicas.

Según Bailey (1975), los minerales del grupo de las cloritas pueden presentar una variada composición química, y algunas cloritas pueden confundirse en los diagramas de rayos X por otros minerales con reflexión a 0,7 nm. Los minerales trioctaédricos con espaciados de 0,7 nm han sido comunmente denominados como cloritas o serpentinas de "7-A". Estos minerales incluyen antigorita, constredtita, bertierina y amesita (Dixon, 1989). Por este motivo, no se descarta la presencia de bertierina en aquellos suelos de la cuenca del río Lillas, en los que el espaciado de 0.7 nm desaparece al calcinar durante dos horas a 550°C. La bertierina es un filosilicato 1:1, rico en hierro que presenta la siguiente fórmula: $(\text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3}, \text{Mg})_{2-3} (\text{Si}, \text{Al})_2 \text{O}_5(\text{OH})_4$ y que aparecería en el suelo heredada del material original.

El mineral más abundante en todos los horizontes es el cuarzo, que se libera de la roca y es heredado directamente por el suelo.

Los feldespatos se encuentran en el suelo heredados directamente del material original por microdivisión; su transformación da lugar a la formación de caolinita. Aparecen en la mayoría de las muestras analizadas con cantidades relativamente mayores en los suelos desarrollados con influencia coluvial en el collado de la Quesera y sobre pizarras en la cuenca del río Lillas.

En las siguientes tablas (Tabla 6.3.1 y 6.3.2) se muestra la abundancia relativa de los diferentes minerales de arcilla.

Tabla 6.3.1.- Mineralogía de la fracción arcilla de los suelos de la Cuenca del río Riaza

		Ilita	Ver.	IE MV	Clorita	Caol.	Met.	Cuarzo	Feld.
LPd ALF 1	Ah	+++	+	-	-	+	-	+++	+
LPd ALF 2	Ah	++	+	-	-	+	-	++	-
	AB	++	+	-	-	+	-	++	-
	CB	++	+	-	-	++	-	++	-
	C	++	+	-	-	+++	-	++	-
LPu ALF 4	Ah	++	-	+	-	+	-	+++	+
	AC	++	+	-	-	++	-	+++	+
LPq ALF 15	Ah	+	-	-	-	-	-	++++	-
RGh ALF13	Ah1	+	-	-	-	++	-	++++	+++
	Ah2	+	-	-	-	+	-	++++	+
	AC	+	-	-	-	+	-	++++	++
RGh ALF16	Ah1	++	+	++	-	+++	-	++++	+
	Ah2	++	++	++	-	+++	-	++++	+
	AC	+	+	-	-	++	-	++++	+
PZe ALF 3	Ah	++	-	+	-	+	-	+++	-
	ABhs	+++	-	-	-	+	-	+++	-
	BC	+	-	+	-	+	-	+++	-
PZu ALF 14	O								
	Ah	+	-	-	-	+++	+++	++++	+++
	E	+++	+	++	-	-	+++	++++	+
	Bhs	+	-	-	-	++	++++	++++	++
CMm ALF11	Ah1	+	-	-	-	+	-	++++	-
	Ah2	+	-	-	-	+	-	++++	-
	AC	+++	+	+	-	++++	-	++++	-

Tabla 6.3.2.- Mineralogía de la fracción arcilla de los suelos de la Cuenca del río Lillas.

		Ilita	Ver.	IE MV	Clorita	Caol.	Met.	Cuarzo	Feld.
FLg ALF 6	Ah	++	-	-	++	-	-	++++	++
	Bg	++	-	-	++	-	++	++++	++
	Cg	+++	-	-	++	-	-	++++	++
LPu ALF 7	Ah	++	-	-	++	-	-	++++	++
RGh ALF 8	Ah	++	-	-	++	-	-	++++	++
LPm ALF 9	Ah	t	-	-	+	-	-	++++	-
LPu ALF 10	Ah1	+	-	-	++	-	-	++++	+++
	Ah2	+	-	-	++	-	+++	++++	++
	C	+	-	-	++	-	-	++++	++

++++ Muy abundante +++ Abundante ++Frecuente + Presente t Trazas -Ausente.

Ver.-Vermiculita; IE MV.-Interstratificados mica vermiculita; Caol.-Caolinita;

Met.-Metahaloisita; Feld.-Feldespatos.

7. CONCLUSIONES

- En todo el área de estudio se identifican: Leptosoles, Regosoles, Fluvisoles, Cambisoles y Podsoles, siendo los más comunes los dos primeros grupos. En la cuenca del río Riaza se caracterizan las siguientes unidades de suelo: Leptosoles dístricos bajo brezal y melojar, desarrollados sobre pizarra cuarcífera y esquistos, Leptosoles úmbricos bajo brezal y melojar, desarrollados sobre esquistos con influencia de cuarcita, Leptosol lítico sobre cuarcita, en zona de hayedo, Regosoles húmicos bajo melojar y hayedo, desarrollados sobre material coluvial, Cambisol móllico en zonas de pradera sobre pizarra y Podsoles énticos y úmbricos sobre pizarras y coluvios respectivamente, con influencia de brezal y hayedo. En la cuenca del río Lillas, se caracterizan Fluvisoles úmbrico y gleico, en los márgenes del río, desarrollados sobre aluviones pizarrosos, bajo pradera de inundación, Leptosoles úmbricos sobre pizarras, bajo brezal y jaral, ambos como etapa de sustitución del melojar, Leptosol móllico sobre esquisto, en zona de melojar y Regosol húmico sobre pizarras con influencia de pradera.
- Las diferencias geomorfológicas entre las dos cuencas condicionan la formación de diferentes unidades de suelo. No se identifican fluvisoles en la cuenca del río Riaza, donde las abruptas pendientes dificultan el depósito de los materiales aluviales. La cuenca del río Lillas, con una pendiente más suave, sí favorece la formación de estos suelos. Los procesos de empardecimiento se encuentran limitados en todo el área de estudio.

Las etapas de sustitución en la vegetación de las dos cuencas, melojar por brezo en la cuenca del río Riaza, y por brezos y jaras en la cuenca del río Lillas, todavía no han generado un cambio profundo en las características del suelo, permaneciendo las correspondientes a la vegetación anterior. Estas etapas parecen más recientes en la cuenca del río Lillas que en la cuenca del río Riaza donde la implantación del brezal ha favorecido la aparición de

procesos de podsolización y el suelo conserva menos propiedades heredadas de la vegetación anterior.

- El pH es ácido en función del material de partida, clima y vegetación. El grado de saturación es más elevado en los suelos desarrollados con influencia de melojar que en aquellos desarrollados bajo brezal.
- El contenido en materia orgánica es alto, incluso en los horizontes subsuperficiales en un gran número de perfiles.

El fraccionamiento de la materia orgánica refleja un importante grado de humificación (proporciones bajas de carbono libre) en la mayoría de los suelos. En los desarrollados bajo pradera se generan moléculas húmicas más estables (ácidos húmicos y humina de insolubilización). Asimismo, este fraccionamiento, caracteriza mejor el tipo de humus que las relaciones C/N.

En el horizonte Bhs del podsol úmbrico existen importantes cantidades de humina de insolubilización neoformada a partir de la unión entre materia mineral, hierro, aluminio y materia orgánica. El transporte de hierro y aluminio se realiza principalmente en forma de fulvatos solubles, destruyéndose estos complejos en profundidad.

- Del estudio de la dinámica del hierro y el aluminio se deduce que el hierro se libera con mayor facilidad que el aluminio. Existen importantes cantidades de aluminio, principalmente en los desarrollados sobre esquistos. La relación hierro libre/hierro total indica procesos de alteración moderados en las dos cuencas, algo más intensos en la cuenca del río Rianza. Tanto el hierro como el aluminio activos, se encuentran generalmente ligados, en ambas cuencas, a

ácidos fúlvicos y húmicos, y, en algunos casos, cuando existe una mayor evolución de las fracciones humificadas, a huminas de insolubilización.

- Textural y mineralógicamente reflejan el material del que proceden: esquistos, pizarras y cuarcitas. Es común la presencia de cuarzo, feldespato y micas en la fracción arcilla de ambas zonas. En la cuenca del río Riaza, donde se describen procesos de alteración más importantes, se observa la caolinización de los feldespatos y la transformación de micas en ilitas y en algunos casos en interestratificados mica-vermiculita y vermiculita. Estos minerales pueden aparecer durante la génesis y evolución del suelo, o pasar a él por herencia si su formación ha tenido lugar en la roca. En la cuenca del río Lillas las cloritas aparecen como minerales primarios, heredadas de las pizarras silúricas.

En el Podsol úmbrico aparece metahaloisita, probablemente formada por la absorción de sílice en los geles de alúmina, aunque no se descarta su origen en parte por alteración de las plagioclasas. En el horizonte Bhs de este suelo existen concreciones ricas en hematites.

- Se observa una tendencia a la podsolización en toda la zona, muy acusada en la cuenca del río Riaza, donde las condiciones climáticas, la presencia de coluviones, la vegetación acidificante, junto a determinadas posiciones fisiográficas favorecen la formación de horizontes espódicos. Se describe un Podsol úmbrico con una secuencia de horizontes: O-Ah-E-Bhs, y un Podsol éntico, que sin presentar los caracteres morfológicos de un podsol evolucionado, desarrolla un horizonte espódico de características claramente definidas. Esto nos ha llevado a establecer un índice de podsolización para los suelos del área de estudio, en función de la acumulación de hierro y aluminio

en los horizontes inferiores, y las características de las distintas fracciones de materia orgánica.

8. BIBLIOGRAFÍA

Albareda, J.M. y Asensio Amor, J., 1945. Anales de Edafología y Fisiología vegetal. Madrid IV, 66-132.

Alcover Casanovas, M.F., 1994. Estudio de materiales terciarios en el piedemonte de la Sierra de Ayllón (Madriguera). Memoria de licenciatura. Facultad de Farmacia. UCM.

Almendros, G., Polo, A. y Ibáñez, J.J., 1979. Evolución de la materia orgánica en diversos hayedos y robledales del macizo de Ayllón. Boletín de la Estación Central de Ecología. Instituto Nacional para la Conservación de la Naturaleza. Vol 8, N° 15.

Almendros, G., Ibáñez, J.J., Polo, A., 1982. Contribución al estudio del subsistema edáfico en los ecosistemas climáticos del Sistema Central (España). Rev. Écol. Biol. Sol, 19(2), 150-162.

Almendros, G., Guadalix, M.E., González-Vila, F.J., Martín, F., 1996. Preservation of aliphatic macromolecules in soil humins. Org. Geochem. 24, No 6/7, 651-659.

Anderson, H.A., Berrow, M.L., Farmer, V.C., Hepburn, A., Russell, J.D., y Walker, A.D., 1982. A re-assessment of podzol formation processes. Journal of Soil Science, 33, 125-136.

Bailey, S.W., 1975. Chlorites p.191-262. In J.E. Gieseking (ed.) Soil components Vol.2. Springer. Verlag. New York.

Barba Carretero, A.M., Hernando Massanet, M.I., Hernando Costa, J. y Barba Solana, C. 1995. Caolinita en suelos ácidos. Degradación y conservación de suelos. Ed. Dpto. Edafología UCM. p.81-89.

Barnhisel y Bertsch, 1989. Chlorites and Hidroxy-Interlayered Vermiculite and Smectite. p.729-779. Dixon & Weed (ed.) mineral in soil environments. 2nd ed. SSSA. Madison. Wisconsin.

Bartoli, F., Monrozier, L.J. y Repaire, J-L., 1980. Sur la stabilisation des matières organiques azotées par les minéraux silico-alumineux dans les podzols: phytolithes et argiles. C.R. Acad. Sci. Paris, 291, D183-186.

Bartoli, F., Philippy, R., Burtin, G., 1998. Agregation in soils with small amounts of swelling clays. Aggregate stability. J. soil sci., 39, 593-616.

Berggren, D. & Mulder, J. 1995. The role of organic matter in controlling aluminum solubility in acidic mineral soil horizons. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59, 4167-4180.

Bloom, P.R., McBride, M.B., Weaver, R.M., 1979. Aluminium organic matter in acid soils: Buffering and solution aluminum activity. *Soil Science Society of American Journal*, 43, 488-493.

Blume, H.P., Schwertmann, U., 1969. Genetic evaluation of profile distribution of aluminium, iron and manganese oxides. *Soil Science Society of American Proceedings*, 33, 438-444.

Brady Nyle C. y Weil R.R. 1996. The nature and properties of soils. 11th edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. USA.

Brindley, G.W. y Brown, G.; (Eds). 1980. Crystal structures of clay minerals and their X-Ray identification. Mineralogical Society. London. 495 pp.

Brown, G.; 1972. The X-Ray identification and crystal structures of clay minerals. Mineralogical Society. London.

Bruckert, S., 1970. Influence des composés organiques solubles sur la pédogénese en milieu acide. *Ann. Agron.* 21, 421-452.

Bruckert, S. y Souchier, B., 1975. Mise au point d'un test de différenciation chimique des horizons cambiques et spodiques. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris*, 280, 1361-1364.

Bruckert, S., Brethes, A. y Souchier, B. 1975. Humification et distribution des complexes organo-métalliques des sols brunifiés et podzolisés. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris* 280, 1237-1240.

Buurman, P., Van Reeuwijk, L.P., 1984. Proto-imogolite and the process of podzol formation: a critical note. *J. Soil Sci.* 35, 447-452.

Childs, C.W., Parfitt, R.L. y Lee, R., 1983. Movement of aluminium as an inorganic complexes in some podzolised soils, New Zeland. *Geoderma*, 29, 139-155.

Claver Aliod, M., 1947. *Anales de Edafología y Fisiología vegetal*. Madrid VI, 5.

Cronan, C.S., Walker, W.J., Bloom, P.R. 1986. Predicting aqueous aluminium concentrations in natural waters. *Nature*, London, 324, 140-143.

Dahlgren, R.A., Driscoll, C.T., McAvoy, D.C., 1989. Aluminium precipitation and dissolution rates in spodosols Bs horizons in the northeastern USA. *Soil Sci. Soc. Ame. J.*, 53, 1045-1052.

Dimbleby, G.W., 1962. *Oxford Forestry memories*, 23, 121 p.

Dixon, J.B, 1989. Kaolin and serpentine group minerals. p.467-526. Dixon & Weed (ed.) *mineral in soil environments*. 2nd ed. SSSA. Madison. Wisconsin.

Douglas, L.A., 1989. Vermiculite p. 635-674. In J.B. Dixon and S.B. Weed (ed) *MInerals in Soil environments*. 2nd ed. SSSA Book Ser.1. SSSA. Madison, WI.

Driessen, P.M., Dudal, R., 1991. *The major soils of the world*. Driessen & Dudal (editors). Wageningen.

Duchaufour, Ph., Souchier, B., 1966. *Science du Sol*, I, p.17-31. Paris. Masson.

Duchaufour, Ph., 1977. *Pédologie. Pédogénèse et classification*, 477 pp. Paris. Masson.

Duchaufour, Ph., 1984. *Edafología 1: Edafogénesis y Clasificación*, 493 pp. París. Masson.

Espejo Serrano, R.; Guerrero López, F.; Saa Requejo, A. 1988. Caracterización de un podsol ferro-húmico en el puerto de la Quesera. *Anales de Edafología y Agrobiología Tomo XLVII. Núm 3-4 Pág. 609-621.*

Fanning, D.S., Keramidas, V.Z. y El-Desoky, M.A., 1989. Micas. p.551-634. Dixon & Weed (ed.) *mineral in soil environments*. 2nd ed. SSSA. Madison. Wisconsin.

FAO. 1977. *Guía para la descripción de perfiles del suelo*. Roma.

FAO. 1998 *Mapa mundial de suelos FAO-UNESCO*.

Farmer, V.C., Wilson, M.J., 1970. Experimental conversion of biotite to hydrobiotite. *Nature*, 226, 841-842.

Farmer, V.C., Russell, J.D. y Berrow, M.L., 1980. Imogolite and proto-imogolite allophane in spodic horizons: Evidence for a mobile aluminium silicate complex in podzol formation. *Journal of Soil Science*, 31, 673-684.

Feldman, S.B., Zelazny, L.W. y Baker, J.C., 1991. High elevation forest soils of the southern Appalachians. Geomorphology, pedogenesis, and clay mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 1782-1791.

Gallardo Lancho, J.F. y García Rodríguez, A., 1973. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid. XXXII, 347, 365, 373, 535.

Ghabru, S.K., Mermut, A.R. y Arnaud, R.J.S.T., 1987. The nature of weathered biotite in sand-sized fractions of Gray Luvisols (Boralfs) in Saskatchewan, Canada. *Geoderma*, 40, 65-82.

Gilkes, R.J., 1973. The alteration products of potassium depleted oxybiotite. *Clays clay miner.* 21, 303-313.

Guerra et al., 1976. Mapa de suelos de España.

Guillet, B. y Souchier, B. 1987. Constituyentes y propiedades del suelo. *Edafología*. Pág. 17-38. Ed. Masson, S.A.

Gutián Ojea, F.; Caballas Fernández, T. 1976. *Técnicas de análisis de suelos*. Ed. Pico Sacro 288 pp.

Gustafsson, J.P., Battacharya, P., Bain, D.C., Fraser, A.R. y McHardy, W.J., 1995. Podzolisation mechanisms and the synthesis of imogolite in northern scandinavia. *Geoderma*, 66, 167-184.

Gutiérrez Elorza, M. Editor coordinador. 1994. *Geomorfología de España*. Editorial Rueda. 526 pp. Madrid.

Harris, W.G., Zelazny, L.W., Baker, J.C., y Martens, D.C., 1985. Biotite kaolinization in Virginia piedmont soils: Extent, profile trends, and grain morphological effects. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49, 1290-1302.

Herbauts, J., 1982. Chemical and mineralogical properties of sandy and loamy-sandy ochreous brown earths in relation to incipient podzolization in a brown earth-podzol evolutive sequence. *Journal of Soil Science* 33, 743-762.

Hernández, J.E. y Sainz, H., 1978. Ecología de los hayedos meridionales ibéricos. El macizo de Ayllón. Ministerio de Agricultura.

Hernando Massanet, I. y Hernando Costa, J. 1999. Mineralogía de suelos de la Comunidad de Madrid (España) Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sec. Geol.), 95 (1-4), 117-126.

Hoyos de Castro, A., 1947. Contribución al estudio de los suelos silíceos españoles. Anales de Edafología y Fisiología vegetal. Madrid VI, 309.

Hoyos de Castro, A., Fernández Bermejo, M.C. y González Parra, J., 1981. Alteración de minerales en suelos con diferente desarrollo. Anales de Edafología y Agrobiología, XLII, 7-8, 963-984.

Hoyos de Castro, A., Hernando Costa, J. y Cuchi Ruiz, M.J., 1977. Influencia de la vegetación en el desarrollo del suelo. Anuario I.O.A.T.O. Salamanca, 141.

Hoyos de Castro, A., Palomar García-Villalmlil, M.L., Hernando Massanet, I. y Guemes García, M., 1983. Estudio genético de suelos bajo hayas y sobre material original ácido. Anales de Edafología y Agrobiología, XLII, 7-8, 963-984.

Hoyos de Castro, A.; González Parra, J. 1969. Estudio genético de algunos suelos de la Sierra de Guadarrama. Anales de Edafología y Agrobiología XXVIII. p.631-641.

Hoyos de Castro, A.; Palomar G^a Villalmlil, M.L.; Hernando Costa, J. 1979. Estudio genético del suelo tipo del Alto de los Leones (Madrid). Anales de Edafología y Agrobiología XXXVIII p.751-761.

Ibañez, J.J., Almendros, G. Polo, A., 1982. Contribución al estudio del subsistema edáfico en los ecosistemas climáticos del Sistema Central (España). Rev. Ecol. Biol. Sol, 19(2), 135-149.

Ibañez, J.J., Jiménez Ballesta, R., Vigil, R. y Gallardo, J., 1988. Procesos paleoedáficos en suelos de altas superficies de la Sierra de Ayllón. II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Libro de comunicaciones, 260-265.

Ibañez, J.J., de Alba, S., López-Lafuente, A. y Saldaña A., 1992. La diversidad de los suelos en las áreas de montaña bajo clima mediterráneo. III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Libro de Comunicaciones, 508-513.

IGME, 1971. Mapa Geológico de España 1:200000. Segovia nº 38. Madrid.

ISRIC. 1987. Procedures for soil analysis. 2ª Ed. International Soil Reference and Information Center. Wageningen. The Netherlands.

ISRIC. 1993. Procedures for soil analysis. 4ª Ed. International Soil Reference and Information Center. Wageningen. The Netherlands.

Jardine, P.M., Weber, N.L., y McCarthy, J.F., 1989. Mechanisms of dissolved organic carbon adsorption on soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53, 1378-1385.

Johnson, N.M., Driscoll, C.T., Eaton, J.S., Likens, G.E., McDowell, W.H., 1981. 'Acid rain', dissolved aluminium and chemical weathering at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45, 1421-1437.

Jones, D.L., Bassington, D.S., 1998. Sorption of organic acids in acid soils and its implications in the rhizosphere. *Eur. J. Soil*, 49.

Kaiser, K., Zech, W. 1996. Defects in estimation of aluminum in humus complexes of podzolic soils by pyrophosphate extraction. *Soil Science*, 161, 452-458.

Kimpe, C.R., Gastuche, M.C., Brindley, G.W., 1961. Ionic coordination in aluminio-silic gels in relation to clay formation. *Am. mineralogist*, 46, 1370-1381.

Kodama, H., Schnitzer, M., Jaakkimainen, M., 1983. Chlorite and biotite weathering by fulvic acid solutions in closed and open systems. *Can. J. Soil Science*, 63, 619-629.

Kretschmar, R., Robarge, W.P., Amoozegar, A., Vepraskas, M.J. 1997. Biotite alteration to halloisite and kaolinite in soil-saprolite profiles developed from mica schist and granite gneiss. *Geoderma*, 75, 155-170.

Lagos, R. y Velasco, F., 1992. Consideraciones sobre la génesis de la podsolización en el Puerto de la Quesera (Sierra de Ayllón, Guadalajara). III Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Libro de comunicaciones, 329-333.

LaZerte, B.D., Findeis, J. 1995. The relative importance of oxalate and pyrophosphate extractable aluminum to the acidic leaching of aluminum in podzol B horizons from the Precambrian Shield, Ontario, Canada. *Canadian Journal of Soil Science*, 75, 43-54.

Loveland, P.J., Bullock, P. 1976. Chemical and mineralogical properties of brown podsollic soils in comparison with soils of other groups. *Journal of Soil Science* 27, 523-540.

Lundström, U.S., 1993. The role of organic acids in soil solution chemistry in a podzolized soil. *J. Soil Sci.* 44, 121-133.

Lundström, U.S., van Breemen, N. y Bain, D. (eds), 2000. Special Issue The Podsolization Process. *Geoderma*, 94, nº 2-4.

Lundström, U.S., Van Breemen, N., Jongmans, A.G., 1995. Evidence for microbial decomposition of organic acids during podzolization. *Eur. J. Soil Sci.* 46, 489-496.

Matzner, 1989. Acidic precipitation: Case study solling. In: *Acidic precipitation* (eds D.C. Adriano & M. Havas), pp39-83. Springer-Verlag. New York.

Mayor López, M. 1975. Los pastizales del Sistema Central. Nota I: Somosierra, Ayllón y Pela. *Rev. Fac. Ci. Oviedo*, 15(2)-16:283-322.

McDowell, W.H., Wood, T., 1984. Podzolization: soils processes control dissolved organic carbon concentrations in stream water. *Soil Sci.* 137, 23-32.

McKeague J.A., Brydon J.E. & Miles N.M., 1971. Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35 33-38.

McKeague J.A., Ross, G.J. y Gamble, D.S., 1978. Properties, criteria of classification and concepts of genesis of podzolic soils in Canada. In: W.C. Mahaney (Editor), *Quaternary Soils: 3rd Conference on Quaternary Research 1976*. Geo Abstracts Ltd., Norwich, England, pp. 27-60.

McKeague, J.A. y Kodama, H., 1981. Imogolite in cemented horizons of some British Columbia soils. *Geoderma*, 25, 189-197.

Mulder, J., Stein, A., 1994. The solubility of aluminium in acidic forest soils: Long-term changes due to acid deposition. *Geochimica et cosmochimica. Acta* 58, 85-94.

Munaut, A.V., 1967. These, *Acta geographica lovaniensia*, 6, 191 p.

Munsell. 1975. *Soil Color Charts*. Ed. Kollmorgen Corp. Maryland. USA.

Nemecz. 1981. *Clay minerals*. Ed. Akademiai, Kiadó. Budapest.

Oades, J.M. 1989. *Minerals in Soil Environments*. Second Edition. Pág. 89-152. Soil Science Society of America Madison, Wisconsin. USA.

Petersen, L., 1976. *Podzols and podzolisation*. DSR Forlag, Copenhagen, 293 pp.

Piccolo, A., Mbagwu, J.S., 1994. Humic substances and surfactants effects on the stability of two tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58, 950-955.

Piccolo, A., 1996. Humus and soil conservation. In: A.Piccolo (Editor) *Humic substances in terrestrial ecosystems*. Elsevier, Amsterdam, pp. 225-264.

Razzaghe-Karimi, M., 1974. *Evolution géochimique et minéralogique des micas et phyllosilicates en présence d'acides organiques*. Tesis Doc. Especialidad, Univ. Paris VI, 96 págs.

Rebertus, R.A., Weed, S.B., Buol, S.W., 1986. Transformations of biotite to kaolinite during saprolite-soil weathering. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 810-819.

Reichenbach, H. Graf von y Rich, C.I., 1975. Fine grained micas in soils. J.E. Gieseking (editor), *Soil Components*, 2. Inorganic Components. Springer, New York, pp.59-95.

Rice, MacCarthy, 1988. Comments on the literature of the humin fraction of humus. *Geoderma* 43, 65-73.

Riedel, W, 1973. *Bodengeographie des kastilischen und portugiesischen Hauptscheidegebirges*. Mitteilungen der geographischen Gesellschaft. Hamburg, 161 pp.

Rivas Goday 1955. Los grados de vegetación de la Península Ibérica. Anales Inst. Bot. Cavanilles, 13, 269-331.

Rivas Martínez, S., 1962. Contribución al estudio fitosociológico de los hayedos españoles. An. Inst. Bot. Agrobiol. Cavanilles, 20, 99-128.

Rivas Martínez, S., 1963. Estudio de la vegetación y flora de la Sierra de Guadarrama y Gredos. An. Ins. Bot. Agrobiol. Cavanilles, 21, 1-325.

Rivas Martínez, S., 1968. Los jarales de la cordillera central. Collectanea Botanica, 57, 1033-1082.

Rivas Martínez, S., 1979. Brezales y jarales de Europa Occidental (Revisión fitosociológica de las clases Calluno-Ulicetalia y Cisto-Lavanduletea), Lazaroa, 1, 5-152.

Rossel, N.C., 1982. Clay minerals diagenesis in Rotliegend aeolian sandstones of the southern north sea. Clay Miner. 17, 69-77.

Russell, E.W., 1973. Soil conditions and plant growth. Longmans, London, 850 pp.

Schinitzer, M., Kodama, H., 1976. The dissolution of micas by fulvic acid. Geoderma, 15, 381-391.

Schwertmann, H., 1966. Inhibitory effect of soil organic matter on the crystallization of amorphous ferric hidroxide. Nature, London, 212, 645-646.

Schwertmann, H.; Taylor, R.M. 1989. Minerals in Soil Environments. Second Edition. Pág. 379-438. Soil Science Society of America Madison, Wisconsin. USA.

Sieffermann, G., 1973. Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun. París, Mémoires ORSTOM, N°66, 183 p.

Simonsson, M. y Berggren, D., 1998. Aluminium solubility related to secondary solid phases in upper B horizons with spodic characteristics. European Journal of Soil Science, 49, 317-326.

Singer-Michael y Donal H. Munns, 1992. Soils an introduction 2th ed. Macmillan. New York, 473 pp.

Stoch, L. y Sykora, W., 1976. Transformations of micas in the process of kaolinitization of granites and gneisses. *Clays Clay Miner.*, 24, 156-162.

Tan, K.H., 1980. The release of silicon, aluminium and potassium during decomposition of soil minerals by humic acid. *Soil Sci*, 129, 5-11.

Toutain, F., 1981. Les humus forestiers, structures et modes du fractionnement. *Revue Forestière Française*. Nancy.

Ugolini, F.C., Dawson, H. y Zachara, J., 1977. Direct evidence of particle migration in the soil solution of a podzol. *Science*, 198, 603-605.

Ugolini, F.C., Dahlgren, R., 1987. The mechanism of podzolization as revealed by soil solution studies. In: Righi, D., Chauvel, A. (Eds), *Podzols and podzolisation*. INRA, Assoc. Franc. Etude Sol. Plaisir et Paris. París.

Velasco de Pedro, F. y Lozano Calle, J.M., 1972. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Madrid, XXXI, 347.

Velasco de Pedro, F. 1976. *Anales de Edafología y Agrobiología*. Madrid, XXXV, 377.

Velasco de Pedro, F. y del Río, J., 1977. *Anales de Edafología y Agrobiología*, Madrid. XXXVI, 9, 10, 976.

Villiers, U.M. de, Jackson, M.L., 1967. *Soil Science Soc. Amer. Proc.*, 32 (4), 473-479.

Walkley, A; Black, I.A. 1974. A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *Soil Science* 63 Pág. 251-254.

Wey, R. y Siffert, B., 1962. Reactions de la silice monomoléculaire en solution avec les ions Al^{3+} et Mg^{2+} . *Genèse et Synthèse des Argiles*. Colloques internationaux, C.N.R.S., París, 11-19.