CAPÍTULO 5

Métodos de estudio

5.1 CARTOGRAFÍA GEOMORFOLOGICA

Se ha elaborado una cartografía detallada de la parte alta del Barranco de Tordó; ésta incluye el área fuente, la zona de transporte y parte activa de la zona de acumulación, siendo difícil diferenciar el límite de estas dos últimas zonas. La escala de trabajo de campo fue 1:500, aunque el documento final se presenta a escala 1:1000.

La cartografía geomorfológica tuvo como objetivo fundamental la delimitación de los depósitos correspondientes a cada una de las corrientes de derrubios ocurridas en la zona, y la eventual diferenciación respecto a depósitos presentes en la zona de estudio y originados por otros procesos. Es importante recordar que una misma corriente de derrubios da lugar a diferentes tipos de depósitos y que, por lo tanto, no es trivial el definir el conjunto de depósitos acumulados por una misma corriente (unidad deposicional). Así, se han cartografiado los diferentes tipos de depósitos y elementos morfológicos (depósitos de canal, diques laterales, lóbulos de desbordamiento, lóbulos frontales, escarpes erosionales en los márgenes de canal y cicatrices de coronación en el

área fuente) y después se han agrupado en unidades deposicionales. Evidentemente, la definición de unidades deposicionales es un requisito imprescindible para la estimación posterior del volumen de las corrientes de derrubios. Por otra parte, la cartografía se ha utilizado también como documento base para el establecimiento de la cronología relativa de las unidades.

Las unidades deposicionales tienen una extensión, individualmente, moderada y, además cada una de ellas abarca una anchura relativamente reducida. Lo anterior aconsejó la elección de una escala de trabajo mas detallada de lo usual para este tipo de estudios. También influyó el hecho que corrientes de derrubios más recientes circularan por los mismos canales y retrabajaran los depósitos de otras más antiguas.

El reconocimiento geomorfológico previo de la zona se realizó mediante la interpretación de fotografías aéreas. La fotointerpretación permitió la identificación del contexto geológico-geomorfológico y de los rasgos morfológicos principales del área fuente y de las zonas de transporte y acumulación, con anterioridad a su reconocimiento en campo.

La escala original de las fotografías aéreas no permitía un reconocimiento detallado, por lo que fue necesaria su ampliación hasta el máximo de resolución posible proporcionado por el Instituto Cartográfico de Cataluña. En la tabla 5.1 se muestra la escala de las fotografías aéreas ampliadas que se utilizaron para un primer reconocimiento de detalle del Barranco de Tordó.

- Mapas topográficos:

Toponimia	*Fecha*	*Bloque*	*Escala*
Prat de Sangonelles	Febrero 2002	254-1-7 (273-87)	1:5000
Padrinàs	Febrero 2002	254-1-6 (273-86)	1:5000

- Ortofotomapas:

Toponimia	*Fecha*	*Bloque*	*Escala*
Prat de Sangonelles	Febrero 2002	254-1-7 (273-87)	1:5000
Padrinàs	Febrero 2002	254-1-6 (273-86)	1:5000

- Fotografías aéreas:

Vuelo	*Fecha*	*Bloque*	*Pasada*	*Fotogramas*	*Escala aproximada*
93022	28/7/1993	254	7	4457/4456	1:3140
20030	Junio1982	-	7	1297/1298	1:2140
93022	28/7/1993	254	6	4640/4641	1:3142

Figura 5.1: Documentos cartográficos utilizados para la realización de la cartografía geomorfológica del Barranco de Tordó.

La fotointerpretación de las corrientes de derrubio se basa en la morfología del terreno y su aspecto cromático. Los tonos claros y luminosos se interpretan como áreas no vegetadas de reciente erosión o depósito. Las zonas más activas vienen marcadas también por la presencia de canales bien definidos. Dentro de ellas pudieron diferenciarse depósitos relativamente más antiguos por su mayor grado de

meteorización y de colonización vegetación arbustiva, que muestran tonos más oscuros en las fotografías. Finalmente, se distinguieron también zonas relictas, sin actividad reciente, por la presencia de un bosque más desarrollado.

Se utilizaron dos series de fotografías aéreas (de junio de 1982 y de julio de 1993) con el propósito evidente de buscar diferencias entre ambas y, en su caso, establecer un primer estudio comparativo de la evolución temporal y espacial de los depósitos, es decir, una datación relativa preliminar del conjunto.

La escala de los mapas topográficos más detallados disponibles de la zona de estudio (a escala 1:5000) no reflejan con la precisión requerida la morfología del terreno. Por esta razón se intentó la utilización de ortofotomapas como base para la realización de la cartografía de campo. Estos mapas tienen la ventaja de contener muchos más elementos de referencia para la localización en campo. Sin embargo, la necesaria ampliación de los mapas originales hasta la escala de los trabajos de campo, también a escala 1:5000, produjo un resultado de baja calidad. Así, finalmente se optó por utilizar las fotografías aéreas ampliadas para la cartografía de campo; de hecho éstas se ampliaron de nuevo mediante fotocopia en color hasta una escala 1:500.

La utilización de fotografías aéreas como base cartográfica, con su consiguiente distorsión, supuso la posterior corrección de la cartografía geomorfológica para adaptarla a los ortofotomapas. Esta adaptación implicó también una serie de medidas sistemáticas de distancias relativas en el campo con una cinta métrica. La cartografía se presenta finalmente sobre una base topográfica a una escala 1:1000 y con equidistancia de las curvas de nivel de 5 m, que, por lo tanto, no da una información precisa de las pendientes del terreno.

5.2 DATACION RELATIVA DE LOS DEPOSITOS

5.2.1 Importancia de la datación relativa

Una cartografía geomorfológica convencional incorpora elementos o relaciones geométricas que proporcionan información sobre la edad relativa de las unidades cartografiadas, tales como un escarpe erosivo entre dos depósitos o la superposición de materiales. Los criterios geométricos que permiten la datación relativa y los elementos geométricos asociados se indican en la siguiente sección. Sin embargo, dichos criterios pueden no ser suficientes para establecer una cronología relativa *completa*, en las que no existan dudas, o por lo menos sean pocas, sobre la edad relativa de las unidades deposicionales. Por ejemplo, no es posible establecer la edad relativa entre depósitos que están alejados entre sí mediante criterios geométricos. Por ello hubo que recurrir también al uso de otros criterios complementarios de datación relativa.

Por otra parte, *la misma definición de unidades deposicionales* requiere, en muchas ocasiones, la datación relativa de los depósitos.

5.2.2 Criterios de datación relativa

Como se acaba de comentar, la elaboración de la propia cartografía, ya implica intrínsecamente el uso de otros criterios de datación relativa que complementan a los

criterios morfológico-estratigráficos (geométricos) y que se han aplicado conjuntamente. Estos últimos se basan en principios geológicos clásicos aunque con ciertas salvedades y que se exponen a continuación:

- *Principio de intersección*. Un proceso erosivo siempre es posterior a los materiales que son erosionados. Este criterio es ampliamente utilizado con las corrientes de derrubios dado que son procesos con un gran potencial erosivo y que los eventos se suceden unos sobre los otros en un valle más o menos encajado. Es frecuente encontrar que depósitos de corrientes de derrubios más jóvenes cortan o erosionan a depósitos más antiguos.

- *Principio de superposición*. Depósitos de una unidad que se superponen sobre los de otra son más recientes que ésta. Para distinguir ambos es necesario que están separados por una superficie neta (sea erosional, o deposicional – y marcada por un suelo vegetal).

- *Principio de escalonamiento geomorfológico*. Supone que, en un perfil transversal, la superficie de los depósitos más altos se corresponde con una mayor edad siempre que los depósitos más bajos estén encajados sobre los más altos. En el caso de las corrientes derrubios, y a diferencia de las terrazas fluviales, el techo de los depósitos suele ser curvo y, además tener una pendiente apreciable. Este criterio se puede utilizarse a escala muy local, y para correlacionar depósitos separados como máximo por unas pocas decenas de metros.

Los criterios de datación anteriores, morfológico-estratigráficos, se han complementado con otros que incluyen aspectos geomorfológicos, botánicos y texturales:

- Textura de los depósitos; en el sentido de que en diques laterales más antiguos la matriz ha sido lavada o que depósitos procedentes de áreas fuentes diferentes pueden presentar diferencias en la litología de los clastos (en el Barranc de Tordó existen dos zonas principales de alimentación claramente diferenciadas).
- Grado de meteorización de los clastos.
- Porcentaje de recubrimiento de líquenes en los clastos de mayor tamaño.
- Diámetro del tronco de los árboles que colonizan los depósitos (como indicador cualitativo de su edad).
- Grado de desarrollo de la suelo vegetal (directamente relacionado con el grado de desarrollo edáfico).

Estos últimos criterios indican una mayor antigüedad a los depósitos que muestran un mayor grado de meteorización, recubrimiento de líquenes y/o un mayor desarrollo de la cobertera vegetal y mayor diámetro de los troncos de los árboles que colonizan el depósito.

La distinta procedencia y composición litológica de los clastos que componen los depósitos, dificultó la determinación del grado de meteorización de los depósitos. Para obviar este problema hay que comparar únicamente clastos de igual litología; en nuestro caso, se ha observado la meteorización de los clastos calcáreos, los más abundantes. Por otra parte, no es infrecuente encontrar, en un mismo depósito, algunos clastos con un

grado de meteorización muy superior respecto al dominante; tales clastos se interpretan como retrabajados, es decir, removilizados de depósitos más antiguos.

Figura 5.2: Fotografía de dos depósitos de corrientes de derrubio de distinta de edad. Los clastos del depósito D_5 muestran un grado de meteorización mayor que los del depósito D_0. La matriz del depósito D_5 ha sido lavada en la parte superficial del mismo.

Por otra parte el grado de colonización vegetal depende, además de la edad, de las características del depósito sobre el que se desarrolla. El porcentaje de matriz en los depósitos cartografiados es muy variable, siendo los depósitos con mayor porcentaje los que poseen un mayor desarrollo de cobertera vegetal comparativamente con depósitos de similar edad. El ejemplo anterior muestra claramente la importancia de trabajar simultáneamente con varios criterios, y así descubrir posibles resultados anómalos del uso de algunos de ellos.

5.3 DATACION DENDROGEOMORFOLOGICA

La datación absoluta de las corrientes de derrubios se ha abordado mediante la dendrocronología. La abundancia de árboles afectados por las corrientes sugirió desde el principio la aplicación de este método. La posibilidad de obtener la frecuencia de las corrientes de derrubios mediante el análisis dendrogeomorfológico fue, precisamente, lo que dio pie al presente trabajo.

No se planteó la aplicación de otros métodos de datación absoluta mencionados en el capítulo 3, como el registro histórico o la liquenometría. A pesar de ello, puede preverse que difícilmente aportarían información adicional. Por un lado, no se conocen referencias históricas sobre la ocurrencia de corrientes de derrubios en este lugar, tampoco las preguntas planteadas a los lugareños sobre la ocurrencia de movimientos de ladera han dado frutos. Respecto a la liquenometría, aunque el método es en teoría aplicable a depósitos con bloques calcáreos, en la práctica la reconstrucción de la curva de datación plantea serios problemas en esta litología (Moya 2002). Sin embargo, y

como se ha mencionado anteriormente, los líquenes, o más concretamente, el grado de recubrimiento liquénico de clastos sí que ha podido utilizarse como criterio de datación relativa.

5.3.1 Criterios de datación

Los criterios utilizados para la datación dendrogeomorfológica de las corrientes de derrubios han sido:

- El crecimiento con leño de compresión en árboles inclinados; proporciona la edad de inclinación del árbol.

- Heridas visibles el tronco; indican la edad de la erosión de la superficie del tronco causada por la corriente.

- Reducción brusca del crecimiento en árboles parcialmente enterrados; también en árboles inclinados si la inclinación es severa. Proporciona la edad de enterramiento o la edad de inclinación respectivamente.

- Edad de árboles que colonizan los depósitos; proporciona la edad de colonización del mismo y, por lo tanto, su edad mínima.

5.3.2 Reconocimiento y muestreo dendrogeomorfológico

El trabajo dendrogeomorfológico requiere la realización de un reconocimiento previo al muestreo tanto de los árboles como de su relación con el fenómeno a datar. La morfología del tronco y la localización del árbol proporcionan información útil que permite tener garantías sobre el origen de la respuesta del árbol. Por ejemplo, en el caso de heridas únicamente se muestrearon las correspondientes a árboles situados en los márgenes de canales. En los extremos laterales del fondo del barranco se observaron también árboles con heridas, posiblemente causadas por caídas de bloques de los lados del barranco; éstas no fueron incluidas en el muestreo. La inclinación de un árbol puede tener múltiples causas, sólo es conveniente muestrear aquellos árboles en los que la causa de la inclinación pueda atribuirse a una corriente de derrubios, como los situados en los márgenes de un lóbulo o de un dique lateral. Lo anterior indica también la importancia de disponer de una cartografía geomorfológica detallada.

Durante el reconocimiento se han de seleccionar también los árboles que previsiblemente proporcionarán respuestas más claras, aquellos que tengan una mayor inclinación o un mayor enterramiento frente a los que están sólo lo estén ligeramente. En el caso de árboles parcialmente enterrados puede anticiparse si su crecimiento es manifiestamente reducido simplemente observando la copa (con pocas hojas). En definitiva, el reconocimiento dendrogeomorfológico tiene como objetivo la selección de los árboles a muestrear.

Figura 5.3: Toma una muestra con barrena de Pressler en un árbol inclinado.

Las muestras (testigos del tronco) se han extraído con una barrena de Pressler de 40 cm de longitud y perpendicularmente al tronco (figura 5.2). Según sea el tipo de afección de los árboles el procedimiento de muestreo puede mostrar variaciones. En el caso de árboles inclinados, los testigos se han tomado según la dirección de inclinación y desde en lado inferior del tronco. En los árboles enterrados, la reducción del crecimiento afecta, en principio, a todo el árbol, por lo que es independiente la posición de muestreo. Para el muestreo de heridas es recomendable la extracción de, al menos, dos testigos; uno sobre la misma herida, y otro próxima a la parte ya cicatricada de la misma para correlacionar los anillos con el testigo anterior. Finalmente, para determinar la edad de los árboles que colonizan un depósito ha sido suficiente, en general, contar el número de verticilos (grupos de ramas que que parten de la misma altura en el tronco) puesto que la mayoría de los árboles eran relativamente jóvenes.

Cada árbol muestreado se ha numerado y situado en la cartografía, y cada muestra ha sido convenientemente referenciada, indicando el número y especie del árbol, el tipo de afectación (inclinado, enterrado, ...), su orientación respecto al tronco (en árboles inclinados) y la fecha de muestreo (figura 5.4).

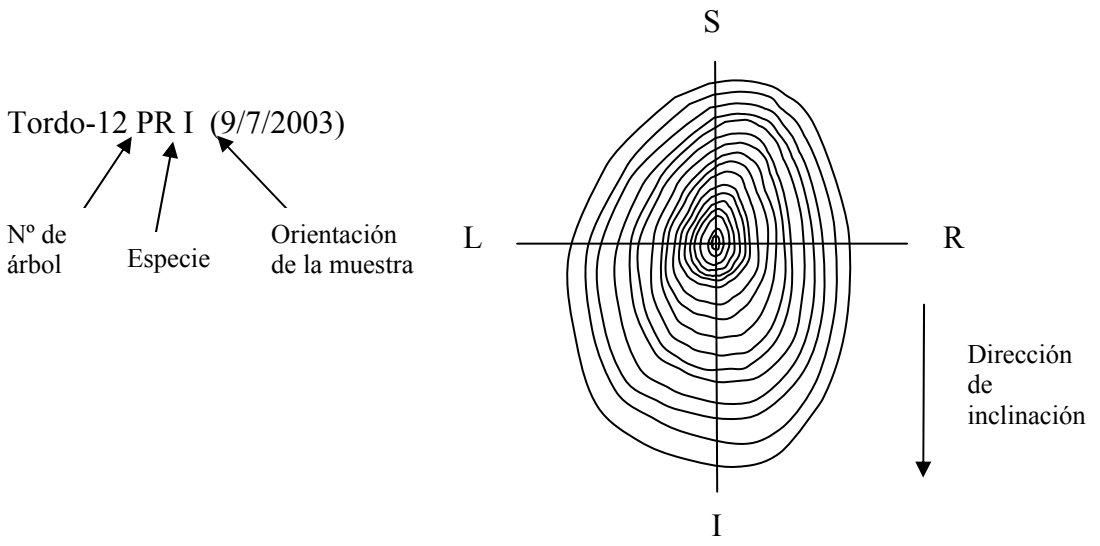

Figura 5.4: Ejemplo de referenciación de una muestra de un árbol inclinado.

La campaña de muestreo se llevó a cabo durante los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2003. Las especies muestreadas fueron el pino bermejo (*Pinus sylvestris*) y el pino negral (*Pinus nigra*). El número total de árboles muestreados con barrena ha sido de 97 y aproximadamente 100 los árboles en los que se ha estimado la edad mínima a partir de el recuento de sus verticilos. El número de árboles muestreados en cada unidad deposicional es muy variable, dependiendo tanto de su extensión como de la abundancia de árboles situados en cada una de ellas.

5.3.3 Descripción de las respuestas

Antes de su observación, los testigos fueron convenientemente fijados sobre un soporte rígido y pulidos, con lijas progresivamente más finas, hasta conseguir una superficie plana y libre de estrías. Sólo así los anillos se observan con la nitidez necesaria (figura 5.5).

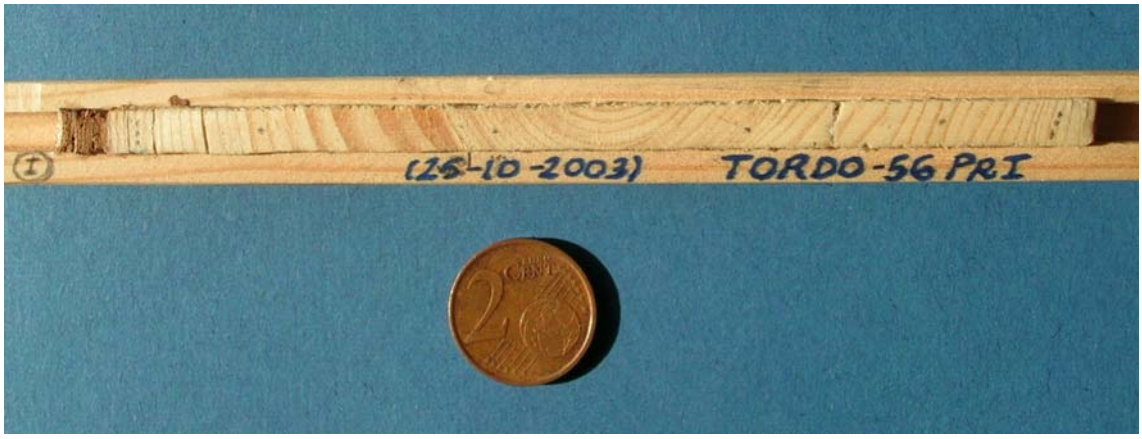

Figura 5.5: Testigo de árbol inclinado montado y pulido para su análisis. Puede observarse la presencia de leño de reacción en 7 de los anillos situados en el lado izquierdo del testigo (correspondiente al lado inferior del tronco).

La observación de las muestras se realizó visualmente, con la ayuda de un microscopio binocular cuando los anillos no eran claramente identificables a simple vista.

El análisis consiste, en primer lugar, en la datación de los anillos mediante contaje simple desde el anillo más externo (de edad conocida). Posteriormente, toda la información relevante de una muestra (esencialmente anillos con leño de reacción, series de reducción brusca, heridas y anillos especialmente estrechos), se esquematiza en un diagrama cronológico de respuestas o "skeleton plot". Finalmente las respuestas correspondientes a una misma unidad deposicional, es decir, a una misma corriente de derrubios, se reúnen en un mismo diagrama sintético. La escala temporal de este último diagrama es conveniente expresarla en años dendrológicos, para evitar el retardo aparente de las respuestas ocurridas fuera de la estación de crecimiento de los árboles.

Es importante destacar que las reducciones bruscas del crecimiento hay que interpretarlas con especial cautela. Dichas reducciones pueden tener una causa climática. Un árbol parcialmente enterrado puede mostrar más de una reducción del crecimiento, y alguna de ellas ser climática. Para la correcta interpretación de este tipo de respuestas ha sido necesario muestrear árboles no afectados por corrientes de derrubios y reconstruir la serie dendrocronológica maestra, en la que quedan reflejadas las respuestas de origen climático.

5.4 CALCULO DE LA MAGNITUD DE LAS CORRIENTES DE DERRUBIOS

La magnitud de las corrientes de derrubios se ha estimado mediante el volumen de los depósitos correspondientes. Este volumen es probablemente diferente al volumen original de la rotura debido tanto a la dilatación del material durante el transporte como a la incorporación de material erosionado por la corriente. Sin embargo, la estimación del volumen de rotura es raramente factible, a menos que la actividad en el área fuente sea pequeña (y se conserve así la cicatriz original de cada movimiento).

El primer paso ha sido obtener la extensión de cada unidad deposicional. Esta última no puede obtenerse directamente de la cartografía geomorfológica, puesto que los depósitos de las corrientes de derrubios más antiguas han sido parcialmente erosionados por otras más recientes. El contorno original de cada unidad deposicional se ha interpretado enlazando sus márgenes más externos observables en la cartografía. Esta reconstrucción es menos fiable en la parte más alta (más próxima al área fuente) de cada unidad; es esta parte es más probable que la "cola" del depósito haya sido completamente erosionada por corrientes de derrubios posteriores.

Por lo tanto, la extensión que puede obtenerse con el procedimiento anterior corresponde a una extensión mínima. En algún caso, la reconstrucción ha podido mejorarse a partir de las fotografías aéreas, en especial las tomadas en 1982; como se verá más adelante, éstas fotografías son anteriores a varias de las corrientes de derrubios, y, por lo tanto, son útiles para delimitar los depósitos de corrientes más antiguas.

El siguiente paso fue la estimación del grosor medio de cada unidad deposicional. Para ello se midió, con una vara graduada, el grosor de las unidades observable en superficie en varios perfiles transversales. También se realizaron varios cortes geomorfológicos transversales para obtener una aproximación del grosor de los lóbulos (figura 5.6). Estos métodos proporcionan sólo un grosor mínimo de las unidades deposicionales.

El volumen de cada unidad se ha calculado, por lo tanto, a partir de un grosor como de una extensión mínima, y, obviamente, se trata de un valor mínimo del volumen de cada corriente de derrubios.

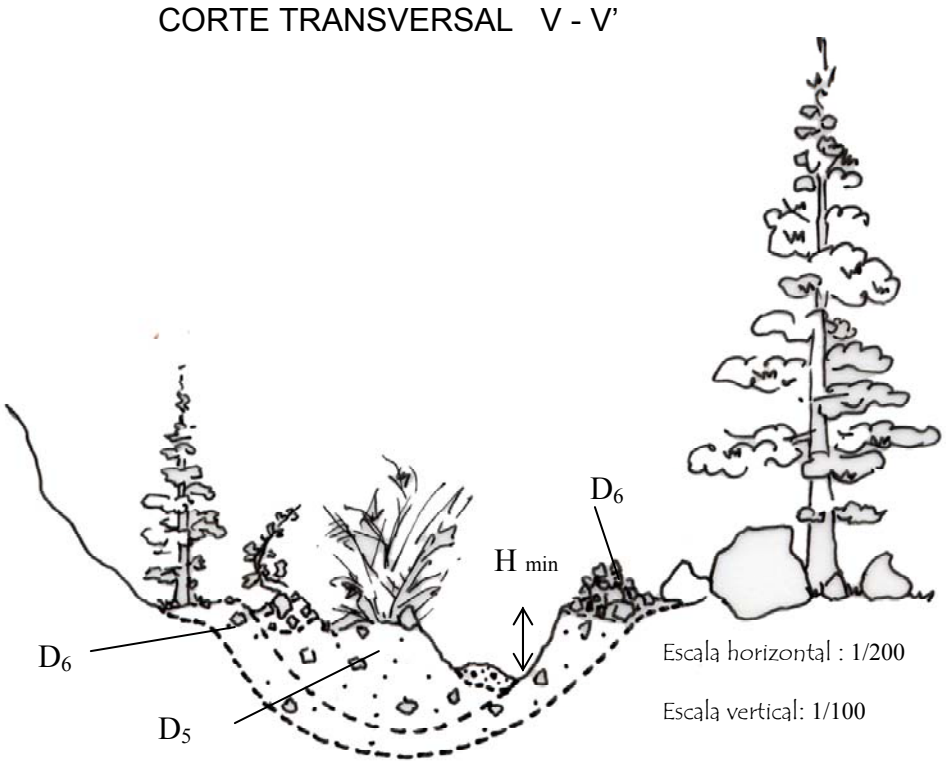

Figura 5.6 Perfil geomorfológico transversal en el que se ilustra el procedimiento de estimación del grosor de las unidades deposicionales.

El método anterior no ha podido ser aplicado en algunos casos, al menos con una mínima garantía de la validez de los resultados. Los depósitos más antiguos se encuentran casi completamente enterrados por otros más recientes; en los pocos cortes en los que afloran el grosor observado es de tan sólo unos pocos decímetros. Se ha considerado no que el grosor observable es muy inferior al real, la estimación de su grosor se ha realizado a partir de la relación observada entre el volumen y el área del resto de las unidades deposicionales, de las que se asume una aproximación más fiable a su grosor (Innes 1983).