

**Datación y caracterización de avenidas  
torrenciales mediante metodologías  
dendrogeomorfológicas en los Barrancos de  
Portainé y de Ramiosa (Pallars Sobirà,  
Lérida, España)**

**Gerard-Ramon Fargas Gonzalez  
Glòria Furdada Bellavista, M. del Mar Genova Fuster**

Master de Recursos Minerales y Riesgos Geológicos  
Especialidad: Riesgos Geológicos

Julio 2015



<b>1.</b>	<b>Resumen</b>	pág.1
<b>2.</b>	<b>Introducción</b>	pág.2
<b>3.</b>	<b>Objetivos</b>	pág.2
<b>4.</b>	<b>Antecedentes</b>	pág.2
<b>5.</b>	<b>Metodología</b>	pág.3
	<b>5.1 Metodología específica de dendrocronología</b>	pág.3
	<b>5.2 Metodología específica de geomorfología</b>	pág.5
<b>6.</b>	<b>Características generales de los barrancos de Portainé y Ramiosa</b>	pág.5
	<b>6.1 Situación geográfica</b>	pág.5
	<b>6.2 Situación geológica</b>	pág.6
	<b>6.3 Características geomorfológicas generales</b>	pág.7
	<b>6.4 Descripción geomorfológica en detalle de las zonas de estudio</b>	pág.8
<b>7.</b>	<b>Resultados</b>	pág.10
	<b>7.1 Eventos históricos y acciones antrópicas, registro documental</b>	pág.10
	<b>7.2 Datación de indicadores y evidencias dendrogeomorfológicas</b>	pág.10
	<b>7.3 Mapas dendrogeomorfológicos de los eventos     torrenciales identificados</b>	pág.12
	<b>7.4 Secciones transversales</b>	pág.16
	<b>7.5 Caracterización y comparación de las cuencas     de los barrancos de Portainé y Ramiosa</b>	pág.17
	<b>7.5.1 Caracterización morfométrica (Método Wilford)</b>	pág.17
	<b>7.5.2 Caracterización hidrológica (Método Racional)</b>	pág.19
<b>8.</b>	<b>Discusión</b>	pág.20
<b>9.</b>	<b>Conclusiones</b>	pág.23
<b>10.</b>	<b>Referencias</b>	pág.24
	<b>10.1 Libros</b>	pág.24
	<b>10.2 Artículos e Informes</b>	pág.24
	<b>10.3 Páginas web</b>	pág.25
	<b>Anexo1: Introducción a la dendrocronología</b>	
	<b>Anexo2: Resultados de la dendrocronología</b>	
	<b>Anexo3: Cartografías dendrogeomorfológicas</b>	
	<b>Anexo4: Secciones transversales al canal de Portainé</b>	

## 1. Resumen

En la vertiente norte del Pico del Orri, se localizan los barrancos de Portainé y Ramiosa. Estos barrancos y sus respectivas cuencas se encuentran en la comarca del Pallars Sobirà (Lleida). Los dos barrancos nombrados presentan una topografía, una geología y una geomorfología parecida. En el barranco de Portainé, desde el 2008, precipitaciones no excepcionales han dado lugar a avenidas torrenciales prácticamente cada año, las cuales han producido daños en la carretera de acceso a la estación de esquí de Port Ainé y en la propia estación. En el barranco de la Ramiosa no se tiene constancia de que haya habido actividad de este tipo. Cabe decir que el registro de avenidas se inició en 2006, por lo que es un registro muy corto. Aplicando una metodología dendrogeomorfológica se pretende obtener información de eventos pasados, su frecuencia y magnitud, para integrarla en el análisis de los riesgos naturales. En el presente trabajo se pretende identificar, datar y caracterizar eventos torrenciales en los barrancos de Portainé y Ramiosa, comparar el comportamiento hidrológico de ambas cuencas y avanzar en el conocimiento del por qué del funcionamiento diferente.

Palabras clave: Barranco de Portainé, Barranco de la Ramiosa, Actividad torrencial, Dendrogeomorfología, Peligrosidad Natural

## 1. Abstract

*The streams of Portainé and Ramiosa are localized in the northern slope of Pico del Orri. These streams and their respective basins are in the region of Pallars Sobirà (Lleida). Both streams present a similar topography, geology and geomorphology. In Portainé stream, since 2008, unexceptional rainstorms resulted in torrential floods almost every year, which damaged the access road and the ski resort of Port Ainé itself. In the Ramiosa stream there's no record that there has been such activity. It's also important to note that the recorded avenues started in 2006, so there is a very short register. We intend to obtain information of past events, their frequency and magnitude, to integrate it into the analysis of natural hazards by applying a dendrogeomorphologic methodology. In this work it is pretended to identify, to date and characterize torrential events in the Portainé and Ramiosa streams, to compare the hydrologic behavior of both basins and obtain information and knowledge about why they behave differently.*

*Key words: Portainé stream, Ramiosa stream, Torrential activity, Dendrogeomorphology, Natural Hazards*

## 2. Introducción

El presente trabajo se encuentra enmarcado en el Proyecto CHARMA (ref: CGL2013-40828-R) Caracterización y control de movimientos de masa. Un reto para la mitigación del riesgo geológico. Proyecto Nacional del MINECO (Ministerio de Economía y Competitividad).

En la ladera Norte del Pico del Orri (Pallars Sobirà, Lleida) se localizan tres barrancos, el de Portainé, el de Reguerals (afluente del primero) y el de la Ramiosa. En los últimos años, los dos primeros han experimentado una fuerte actividad torrencial, debido a que las precipitaciones no necesariamente excepcionales han generado torrentadas. Ello ha originado daños en la carretera de acceso a la estación de esquí de Portainé y en la propia estación, la cual se sitúa en la parte superior de la cuenca hidrográfica del barranco de Portainé. Des del 2006 el barranco de Portainé ha experimentado 6 torrentadas documentadas; la del 2008 fue la más catastrófica. Existe poca información sobre torrentadas previas al 2006, con lo que aplicando una metodología dendrogeomorfológica se pretende aumentar el conocimiento sobre estos procesos geomorfológicos.

Como su propio nombre indica, la dendrogeomorfología es una rama científica que estudia las relaciones entre la dendrología (conocimiento de los árboles) y la geomorfología (génesis y distribución espacial de las formas del relieve terrestre), considerándose una disciplina derivada de la dendrocronología (Ballesteros, *et al.* 2010). Muchos de los procesos geomorfológicos presentan eventos de variable intensidad y frecuencia, que tienen asociada una cierta peligrosidad natural, como las torrentadas aquí tratadas. Así, las técnicas dendrogeomorfológicas son susceptibles de ser utilizadas para obtener información de eventos pasados, su frecuencia y magnitud (intensidad y extensión), para integrarla en los análisis de riesgos naturales. Cabe decir que el estudio de procesos geomorfológicos por medio de árboles está basado en el análisis de las perturbaciones que causan dichos procesos

en el crecimiento y en la forma de los árboles, en especial de aquellas modificaciones que quedan registradas en los anillos de crecimiento y que permiten la datación de los ritmos de los procesos con precisión anual o incluso estacional.

Además, permite conocer la respuesta de los procesos y eventos a lo largo de periodos temporales, en ocasiones de varios siglos y por consiguiente extraer conclusiones sobre la incidencia de los cambios climáticos en la frecuencia de fenómenos peligrosos y sobre el carácter estacionario o no de las series temporales de datos obtenidos con mediciones instrumentales. (Ballesteros, *et al.* 2010). De tal manera que con todo lo explicado aquí, se concluye que una metodología dendrogeomorfológica es una adecuada candidata para realizar este estudio.

## 3. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es llevar a cabo la datación y caracterización de avenidas torrenciales, mediante metodologías dendrogeomorfológicas en los Barrancos de Portainé y de Ramiosa.

Como objetivos específicos, se pretende completar la obtención de muestras y análisis del Barranco de Portainé (previamente estudiado por García-Oteyza, 2014), obtener, analizar y comparar datos con el Barranco de la Ramiosa e integrar los datos dendrocronológicos con datos geomorfológicos e históricos (cuando estos últimos existan).

Un objetivo que se contempla en caso de que el tiempo de realización del trabajo lo permita, consistiría en contrastar datos climáticos y eventos meteorológicos con eventos detectados mediante la dendrocronología.

## 4. Antecedentes

Como antecedentes temáticos de las técnicas dendrogeomorfológicas se ha consultado el artículo Díez- Herrero *et al.*, 2007 y el libro de Ballesteros, *et al.*, 2010. En estos trabajos se considera la utilidad de la dendrogeomorfología para el estudio de avenidas.

En cuanto a antecedentes sobre la zona de trabajo se ha consultado el Trabajo Final de

Master de García Oteyza, (2014) y el artículo de García Oteyza *et al.*, 2015 (en prensa). También se han consultado informes como el del IGC (Institut Geològic de Catalunya, 2013), junto con los resúmenes de los 7 informes y 10 artículos adjuntados. Dicho informe (IGC, 2013) es un trabajo que el Instituto Geológico de Catalunya hizo elaborar para evaluar la dinámica torrencial del barranco de Portainé y en el que se realiza una recopilación de la información existente y trabajos realizados hasta el momento. En él se analizan los flujos que se producen en estos barrancos. Cabe destacar que en dicho informe se presenta una muy buena recuperación de datos históricos de los eventos que se producen en los barrancos de Portainé y Reguerals (afluente del anterior).

## 5. Metodología

La metodología que se ha desarrollado en este trabajo combina diferentes técnicas y métodos que se han empleado de manera sucesiva.

En primer lugar, se ha realizado una búsqueda de información en la que se han consultado diversos informes y publicaciones sobre la zona de estudio y también se han recopilado referencias sobre Dendrogeomorfología (ver apartado anterior, Antecedentes).

En segundo lugar, se ha realizado un intensivo trabajo de campo en los Barrancos de Portainé y Ramiosa (Pallars Sobirà, Lérida) del 2-6 de Marzo del 2015 por parte del equipo del Proyecto CHARMA, al que me he integrado. En esta campaña de campo se ha procedido, por un lado, a la obtención de muestras dendrocronológicas de árboles de diferentes especies situados en los barrancos de Portainé y Ramiosa. Por otro lado, se ha procedido a la generación de un mapa geomorfológico y a la elaboración de secciones transversales al canal de Portainé, mediante el uso de una estación total taquimétrica, con la que también se han tomado las posiciones de los árboles. También se han realizado fotografías y esquemas de campo y se han recogido numerosos datos dendrométricos y ecológicos de interés para este trabajo. A continuación, se ha realizado un trabajo en

laboratorio y gabinete para analizar los datos obtenidos efectuando, en primer lugar, un análisis dendrocronológico de las muestras obtenidas en el campo, seguido de un análisis de datos geomorfológicos y un análisis de datos históricos consultados en el informe IGC (2013), además de los datos históricos obtenidos por el equipo. Como último paso se ha procedido a la integración de todos los datos recopilados e interpretación de los resultados.

### 5.1 Metodología específica de dendrocronología

La selección de ejemplares para el muestreo dendrocronológico se ha basado en la observación de parámetros externos que pueden evidenciar la interferencia entre el ejemplar y la dinámica torrencial. Dichas evidencias externas se denominan indicios dendrogeomorfológicos, algunos de ellos son: las decapitaciones, las inclinaciones y las heridas o descortezados con callos (Díez- Herrero *et al.*, 2007). También es necesario muestrear ejemplares que no se encuentren afectados por la dinámica torrencial, ya que éstos servirán de patrón de comparación (series de referencia) de los ritmos de crecimiento, para así poder diferenciar anomalías que no se corresponden con avenidas, sino que puedan ser debidas a la variabilidad climática, plagas, etc.

El muestreo se ha realizado de una manera ordenada y científica para que el posterior análisis y tratamiento estadístico de los datos sea representativo. Cada ejemplar muestreado se ha localizado mediante un receptor GPS y se ha siglado mediante un etiquetado unívoco.

Posteriormente, se ha realizado la extracción de testigos cilíndricos y en algunos casos de cuñas (mediante el uso de una sierra manual). En el caso de testigos cilíndricos, la extracción de las muestras se realiza en dirección aproximada a la del radio del fuste, mediante la barrena de Pressler estándar de 400 mm de longitud y 5 mm de diámetro interior. Ello permite obtener una representación de todos los anillos de crecimiento formados desde la corteza hasta el interior del tronco.

Normalmente se han extraído las muestras a una altura que ha oscilado entre 0,50 y 1,30

m del suelo, con la intención de obtener la serie de anillos más completa, excepto en aquellos casos en que no ha sido posible por deformaciones y defectos del tronco o por la aparición de ramas bajas. En cada ejemplar se han extraído, al menos, dos testigos con orientaciones opuestas y lo más largos posible, ya que la elaboración de dos secuencias dendrocronológicas por ejemplar facilita los procesos de sincronización y su media es una mejor aproximación al crecimiento real en grosor. Una vez extraídas las muestras, se han insertado en un soporte de madera con una ranura de un diámetro parecido al de la muestra, lo que facilita un secado paulatino y se impide la deformación o rotura de la muestra. Antes de tomar cada una de las muestras de los ejemplares de interés, se rellena una ficha para cada uno, en la que se describen numerosos aspectos de dichos ejemplares como especie, altura, perímetro, altura y dirección de los barrenados, evidencias, observaciones, fotografías, esquemas de campo, etc.

Una vez en el laboratorio, se ha procedido a la preparación de las muestras recogidas en el campo (testigos y cuñas). Para ello se ha procedido al cortado de las mismas, tras extraerlas del soporte de madera, mediante cortes longitudinales y perpendiculares a la dirección de los elementos conductores. Para ello se han colocado las muestras o testigos en un tornillo de carpintero y se han cortado, lo más cuidadosamente posible, con una cuchilla enmangada bien afilada para evitar la rotura, de manera que se puedan visualizar de forma correcta los anillos de crecimiento una vez la muestra esté preparada. Si las muestras extraídas estaban muy deterioradas o no se podían delimitar con claridad las diferentes etapas de crecimiento en grosor, fueron descartadas.

Seguidamente, se ha procedido al conteo y medición de los anillos de crecimiento. Para ello se ha empleado un equipo semi-automático: mesa de medición LINTAB (comercializada por la empresa Rinntech) asociada al programa TSAP-Win (Time Series Analysis and Presentation, Rinntech) acoplado a PC, lo que permite una precisión en la medida de hasta 0,01 mm. Otros

equipos necesarios son la lupa binocular, la fuente de luz fría y papel de lija de diferente tamaño de grano para poder pulir las cuñas y así visualizar los anillos de crecimiento de estas.

Toda esta infraestructura se encuentra en el laboratorio de Dendrocronología de la Universidad Politécnica de Madrid, donde se ha realizado el trabajo de análisis de las muestras.

La datación consiste en la transformación de las series de incrementos de crecimiento en secuencias dendrocronológicas, mediante la asignación precisa de fechas, de tal forma que cada valor se corresponda con el año en que fue formado el anillo de crecimiento (Díez- Herrero *et al.*, 2007).

Los análisis dendrocronológicos previos a la datación requieren la existencia de ciertas pautas comunes de variación en las series de crecimiento de los árboles. El grosor de los anillos formados simultáneamente en diferentes individuos no suele presentar coincidencias en sus valores, a causa de diferencias en cuanto a la edad o en relación con muchos otros factores intrínsecos o extrínsecos, pero tampoco cuando proceden de un mismo individuo en diferentes orientaciones y por ello es necesario utilizar diversas técnicas que permitan comparar las series entre sí y localizar patrones sincrónicos de crecimiento. Asimismo es preciso detectar posibles errores de conteo y medida y sobre todo, localizar determinadas anomalías en las series de crecimiento (Díez- Herrero *et al.*, 2007).

Las diferentes técnicas de sincronización consisten en el contraste de las series de crecimiento mediante análisis cualitativos y cuantitativos. Ello sin descartar el uso de otras herramientas estadísticas y de observaciones comparativas en criterio de experto.

Los resultados de la aplicación de las diferentes técnicas de sincronización, como técnicas gráficas de comparación y solapamiento y técnicas estadísticas, permiten la correlación de anomalías o errores detectados en las series y la aceptación o el rechazo de éstas como

representativas o coincidentes con los patrones locales de crecimiento.

En cuanto a la detección y datación de eventos a partir de las series de anillos sincronizados, se puede realizar la datación de los elementos morfológicos asociados a fenómenos torrenciales, como heridas, tejidos de callos o cicatriciales, reducción o aumento del crecimiento; y la realización de una base de datos de eventos de avenida con fechas asignadas, indicando si se trata de fechas fijas o aproximadas.

## **5.2 Metodología específica de geomorfología**

En cuanto a esta metodología, cabe señalar que se ha trabajado A) a nivel de detalle, en el barranco de Portainé, en la zona donde se han realizado gran parte de los muestreos dendrocronológicos y B) a nivel de cuenca.

A) Se ha procedido al levantamiento topográfico detallado mediante el uso de una estación total taquimétrica, con el fin de localizar y delimitar los diferentes elementos geomorfológicos (lóbulos, escarpes naturales y antrópicos, acumulaciones de gravas, bloques, etc.) del tramo más bajo del barranco de Portainé, donde se localizan y muestrean los ejemplares con evidencias de interferencia con avenidas. Además, en estas topografías se ubican los ejemplares muestreados, las secciones transversales al canal y un registro de puntos de interés. A partir de los datos de la estación total se ha obtenido una cartografía geomorfológica mediante el uso de ArcGIS. En la base de datos geomorfológicos se ha incluido una capa de árboles. En esta capa de árboles, se han introducido todos los datos recopilados de los ejemplares arbóreos localizados y muestreados en la campaña de campo. Se han realizado diversas secciones transversales al canal de Portainé, en las que se presentan algunos de los ejemplares arbóreos con heridas datadas que permiten obtener las alturas de los flujos que causaron dichas heridas.

B) Se han aplicado los métodos de Wilford (Wilford *et al.*, 2004) y Racional para caracterizar morfométricamente e hidrológicamente las dos cuencas y poderlas comparar entre ellas. El método Wilford *et*

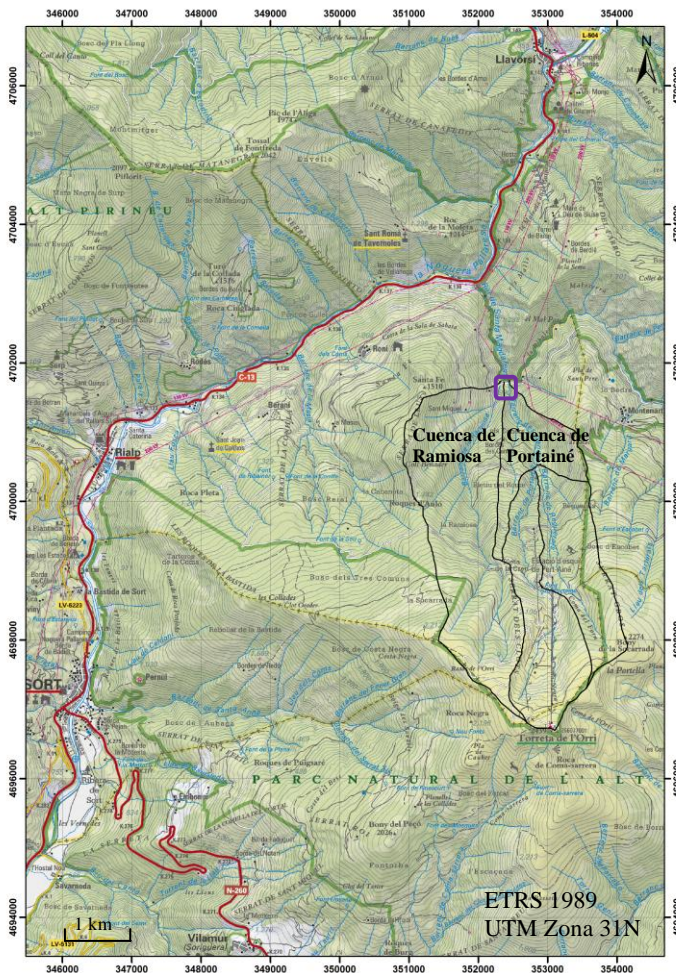
*al* (2004) permite predecir, a partir del análisis de diferentes parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas y de relaciones entre dichos parámetros, la susceptibilidad de inundaciones, flujos hiperconcentrados o corrientes de derrubios. El método Racional permite calcular caudales a partir de los datos pluviométricos y de extensión y uso del suelo de las cuencas.

Finalmente cabe señalar que toda esta labor se ha realizado en equipo; en cuanto a las funciones llevadas a cabo por el autor de este trabajo final de máster, han sido la obtención de las muestras de ejemplares arbóreos, la obtención de fotografías, la elaboración de esquemas, la colaboración en la realización del mapa geomorfológico (tanto en la obtención de datos como en la codificación sobre SIG y generación de los mapas incluidos en el presente trabajo), el análisis dendrocronológico de las muestras en el laboratorio, la realización de los cálculos mediante el método Racional y el método de Wilford, el análisis e integración del conjunto de los datos y la elaboración de conclusiones.

## **6. Características generales de los barrancos de Portainé y Ramiosa.**

### **6.1 Situación geográfica**

Las zonas de estudio en términos generales se sitúan en la zona axial de los Pirineos, más concretamente, en los Barrancos de Portainé y Ramiosa, (Pallars Sobirà, Lérida) (Fig. 1). Estos barrancos son tributarios del río Romadriu, que a su vez desemboca en la Noguera Pallaresa, por lo que las cuencas de dichos barrancos drenan de sur a norte. En la cabecera de la cuenca del barranco de Portainé se localiza la estación de esquí de Port Ainé; la carretera de acceso a esta intersecta en varias ocasiones los barrancos nombrados. Muy cercana a la zona de estudio, aguas arriba de la desembocadura de los dos barrancos al río Romadriu, se localiza la presa de Vallespir.



### Leyenda

- Cuenca hidrográficas
- Zona de estudio

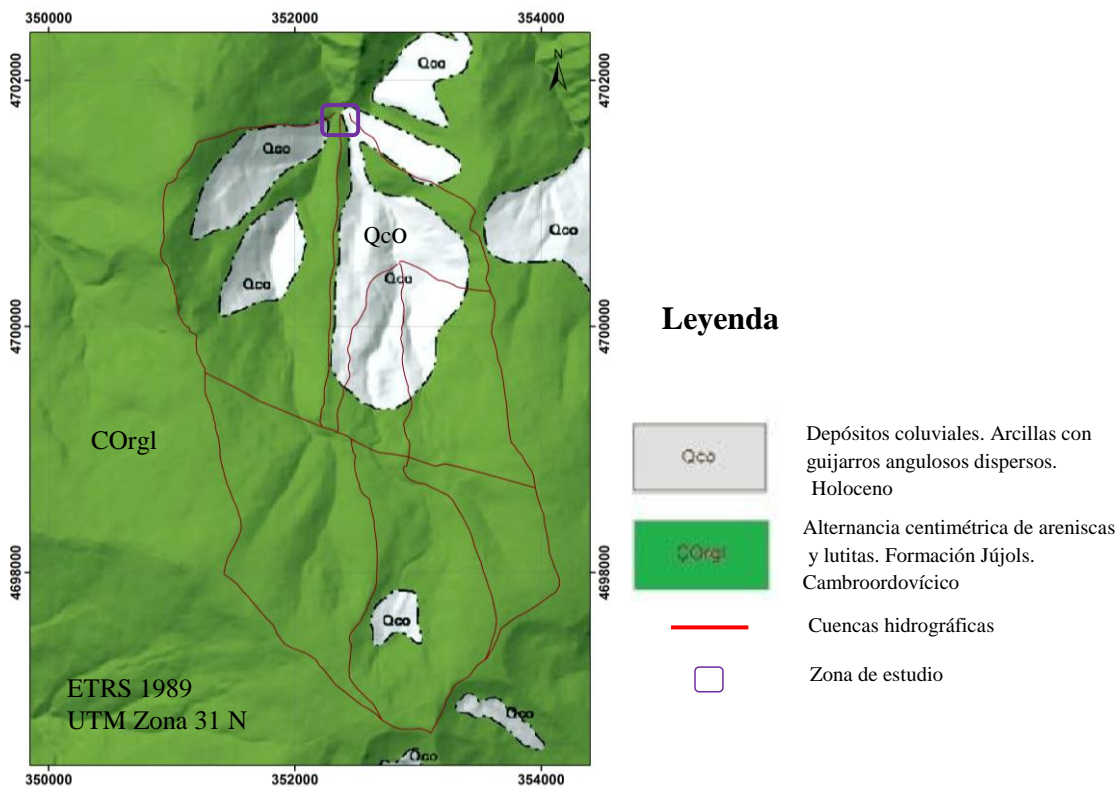
**Fig. 1** Mapa geográfico de la zona de estudio. En esta figura se pueden observar las cuencas hidrográficas de los torrentes de la zona. (© Base cartográfica (base topográfica) propiedad del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, disponible a [www.icgc.cat](http://www.icgc.cat).)

### 6.2 Situación geológica

Las zonas de estudio se localizan en la zona axial de los Pirineos, en el manto del Orri, una estructura plegada cabalgante antiforme de edad alpina con una orientación WNW-ESE. El manto del Orri está constituido por materiales metasedimentarios paleozoicos, con edades comprendidas entre el cambroordovícico y el carbonífero, afectados por la orogenia hercínica, así como algunos batolitos tardihercínicos. Según IGC (2013), los materiales del sustrato en gran parte de su extensión se hallan cubiertos por depósitos cuaternarios

de espesor variable (Fig. 2). Los materiales cambroordovícicos están formados por una alternancia de niveles pelíticos y areniscas en proporciones y espesores variables. Estos materiales presentan una estructura plegada y acostumbran a estar fracturados, alterados en superficie y pueden dar espesores de alteración considerables. Por debajo de la estación de esquí y coincidiendo con el cambio de pendiente de las vertientes (ver apartado siguiente y Fig.4), la formación cuaternaria presenta una distribución más irregular. Se distinguen dos tipos de depósitos, los coluviales y los torrenciales. Por un lado los primeros se localizan distribuidos por las vertientes de manera irregular, en general se trata de depósitos esencialmente lutíticos y arenosos con clastos angulosos de pelitas y areniscas procedentes del sustrato cambroordovícico, aunque también pueden ser clásticos. Por otro lado, los segundos se localizan en los márgenes y en las partes profundas de los barrancos y son depósitos donde predomina la fracción gruesa frente a la lutítica con clastos subangulosos procedentes del sustrato y de los depósitos coluviales. Todos estos materiales de la formación cuaternaria presentan cohesiones y ángulos de fricción bajos, por lo que son fácilmente erosionables





**Fig. 2** Mapa geológico de la zona de estudio (© Base cartográfica (base geológica) propiedad del Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, disponible a [www.icgc.cat](http://www.icgc.cat).)

### 6.3 Características geomorfológicas generales

En la tabla siguiente (Tabla 1) se presentan algunas de las características generales de las cuencas, como por ejemplo el área y las cotas máximas y mínimas, el desnivel, el perímetro de la cuenca, etc.

El área del estudio se puede dividir en dos sectores en función de la topografía (Fig. 4). El límite que diferencia estos dos sectores se encuentra en el cambio brusco de pendiente existente en la zona del hotel de la estación de esquí. De manera que se puede identificar por un lado el sector sur, con pendientes más suaves, que comprende desde las partes más altas de la cabecera de los barrancos hasta la zona del hotel de la estación de esquí.

Mientras que por otro lado, se diferencia el sector norte, con pendientes más elevadas, que comprende unos dos tercios de las cuencas desde la altura del hotel hasta la desembocadura de los torrentes al río Romadriu. El estudio de detalle llevado a cabo en este trabajo se ha concentrado en el extremo más septentrional del sector norte, donde los barrancos se encuentran fuertemente encajados.

En el fondo del barranco de Portainé son abundantes los depósitos cuaternarios torrenciales constituidos por clastos subangulosos y grandes bloques. De manera que en los márgenes y en el fondo de los barrancos son abundantes los materiales erosionables. (ICGC, 2012).

	Cota máxima (m)	Cota mínima (m)	Desnivel o Relieve (m)	Área de la cuenca (m <sup>2</sup> )	Área forestada (m <sup>2</sup> )	Área con prado alpino y arbustos (m <sup>2</sup> )	Perímetro (Km)	Longitud de la cuenca (Km)
<b>BR</b>	2355	945	1410	5067640	4695321	372319	11.21	4,56
<b>BP</b>	2437	950	1487	5204292	3916109	1288183	11.66	5,06

**Tabla 1.** En esta tabla se presentan distintos parámetros de las cuencas de los dos barrancos estudiados. El Desnivel o Relieve, definido como la diferencia entre el punto más alto de la cuenca y el ápice del cono. La longitud de la cuenca se define como la longitud en línea recta desde el ápice del cono hasta el punto más distal de la cuenca. BR) Barranco de la Ramiosa, BP) Barranco de Portainé. En el apartado 7.5.1 Método de Wilford, se utilizarán los siguientes datos: desnivel o relieve, área de la cuenca y la longitud de la cuenca.

Los dos barrancos estudiados en este trabajo, Portainé y Ramiosa presentan una topografía, una geología y una geomorfología parecida, pero así como en el barranco de Portainé han tenido lugar avenidas torrenciales de distintas magnitudes que han producido daños y han sido documentadas, en el barranco de la Ramiosa no se tiene constancia de que hayan tenido lugar torrentadas.

#### 6.4 Descripción geomorfológica en detalle de las zonas de estudio

La zona de estudio que corresponde al barranco de Portainé, consiste en su totalidad en el cono de deyección desde el ápice hasta las partes más distales. Se trata de un depósito heterométrico de bloques y gravas con una matriz arenosa, limitado por una vertiente rocosa abrupta cubierta por bosque a su derecha y un límite lobulado por la izquierda, con surcos de evacuación de las aguas y pequeñas acumulaciones de gravas de menor tamaño en las partes más distales. A derecha e izquierda, aguas arriba del ápice del cono se localizan muros antrópicos antiguos detrás de los cuales se localizan pequeñas praderas; en el caso del lado izquierdo la pradera se extiende hasta llegar a la parte distal del cono. El canal principal del torrente de Portainé se sitúa en el lado derecho del cono. Los árboles que se localizan en el cono se sitúan fuera del canal principal.

En la parte distal, el cono y el canal quedan colgados sobre el río Romadriu, con un talud de 15m de desnivel por encima del cual hay una pista que remonta por el valle de este río (Fig. 3).

La construcción de la presa de Vallespir en 1996, en el río Romadriu (Fig. 3), modificó notablemente la morfología y dinámica de la confluencia del barranco de Portainé y el río Romadriu. Después de cada avenida o flujo, se reparan los desperfectos producidos en el camino y se evacúan los materiales acumulados en el río Romadriu y en el tramo final del barranco de Portainé, para evitar el desbordamiento del torrente y retirar los depósitos de materiales fácilmente erosionables.

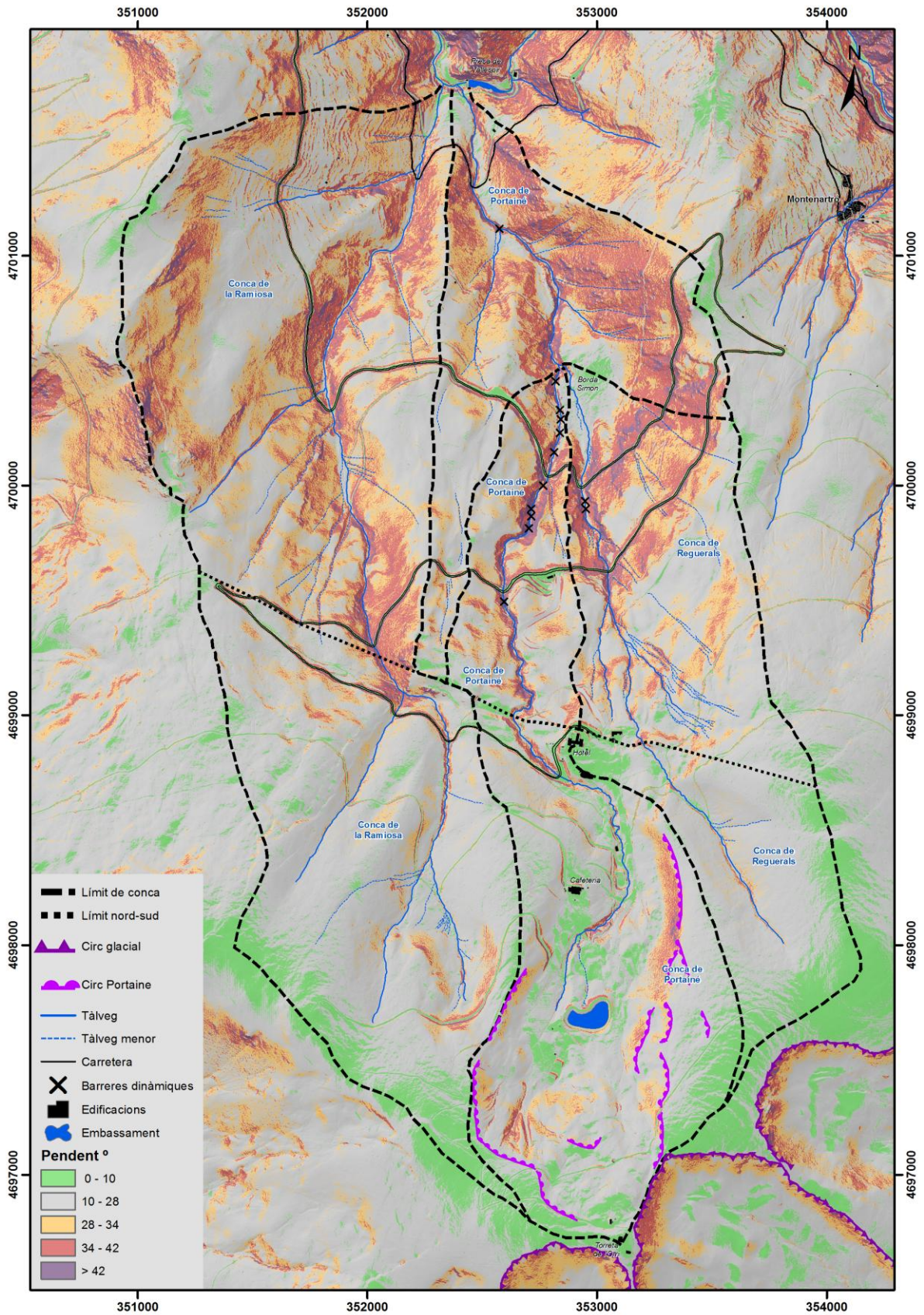
La zona de estudio que corresponde al barranco de la Ramiosa se localiza a unos 200 m al oeste del barranco de Portainé. En dicha zona no se observa un cono de deyección ni una gran presencia de depósitos torrenciales, al contrario que en el barranco de Portainé. De lo que se deduce que ambos torrentes muy probablemente tienen un funcionamiento torrencial diferente. El barranco de la Ramiosa se encuentra limitado por la pradera de pendiente suave a su derecha nombrada anteriormente y por la izquierda de este barranco se identifica una pradera con una pendiente que aumenta gradualmente a medida que se aleja del torrente. Según trabajadores de la presa, ellos no realizan ni han realizado ningún tipo de actuación como reparar desperfectos producidos en el camino o evacuar materiales acumulados por este torrente. Los árboles en este caso, al contrario que en el torrente de Portainé, se localizan a una distancia mucho más cercana del canal principal.

Cabe añadir a estas descripciones que ambos torrentes en sus tramos finales se encuentran canalizados hacia aguas arriba de la presa, para de esta manera generar energía hidroeléctrica.



Parte distal del cono de deyección del barranco de Portainé

**Fig 3.** En esta fotografía se observa la presa de Vallespir con una importante acumulación de materiales en el pie de dicha presa correspondiente al evento de 2008, la presa quedó parcialmente dañada. IGC (Instituto Geológico de Cataluña) (2013)



**Fig. 4** Mapa de pendientes elaborado a partir del MDT de un metro de resolución (sin cobertura vegetal). Se indican las cuencas hidrográficas y el límite entre los sectores norte y sud. Modificado de IGC (Instituto Geológico de Cataluña) (2013)

## 7. Resultados

### 7.1 Eventos históricos y acciones antrópicas: registro documental

En este apartado se presenta una cronología (tabla 2) de los diferentes eventos históricos que han afectado a la cuenca del barranco de Portainé y las diferentes acciones antrópicas que se han realizado en este sector. Como se puede observar en la Tabla 2 el registro de tormentadas se inicia en 2006.

### 7.2 Datación de indicadores y evidencias dendrogeomorfológicas

En este apartado se presentan en primer lugar los resultados del estudio dendrocronológico de las muestras de los ejemplares arbóreos obtenidas en la campaña de campo 2015 en los barrancos de Portainé y Ramiosa. Posteriormente, se integran estos datos con los obtenidos de la campaña de campo 2014.

Antes de empezar con el desarrollo de este apartado, cabe decir que para una correcta interpretación de los datos, hay que tener en cuenta que las evidencias que nos indican la existencia de un evento torrencial inequívocamente son las heridas de los árboles y que hay series de evidencias que se prolongan en el tiempo (como sería el caso de las supresiones) que pueden indicar tanto una condición ecológica determinada (por ejemplo, escasez hídrica) como un daño producido por un evento torrencial.

Las evidencias analizadas y datadas se presentan en el Anexo 2. Como se puede ver en la Tabla 2 del Anexo 2 se han identificado y datado 7 heridas en 6 árboles de distintos taxones (*Prunus avium*, *Populus nigra bolleana*, *Populus nigra* y *Quercus* sp.), muestreados en la campaña de campo 2015. Todos ellos están localizados en el barranco de Portainé. En el barranco de la Ramiosa no se han identificado heridas en los árboles muestreados en dicha campaña. Este hecho nos aproxima a la idea de que ambos torrentes presentan una dinámica torrencial distinta.

Las fechas que se han asignado a las heridas analizadas son: 1997, 1999, 2008, 2011,

2012. De estas fechas cabe destacar que el año 2008 se ha identificado en dos ejemplares distintos al igual que el 2011.

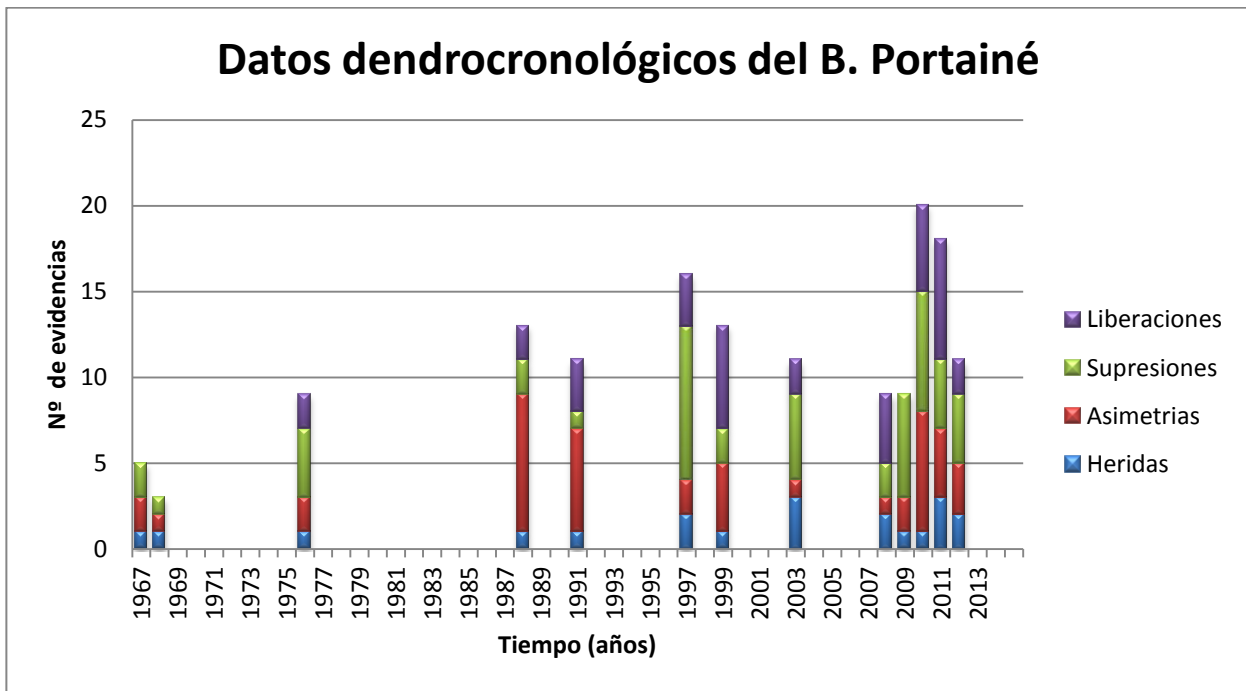
Indicadores como las asimetrías aportan información complementaria, ya que las asimetrías en las secuencias de crecimiento indican la formación de madera de reacción, a menudo después de que el ejemplar perdiera su posición vertical a causa del impacto de materiales arrastrados (árboles inclinados). Otra causa de las asimetrías puede ser la posición del árbol en un margen elevado sujeto a erosión o desmoronamiento que genera la inclinación de los árboles y, por tanto, asimetrías. En consecuencia las asimetrías tienen que ser consideradas en cada caso y no son una evidencia unívoca de flujo torrencial. Otros indicadores como las supresiones, anillos ausentes y liberaciones son muy frecuentes y aparecen en todos los ejemplares analizados (ver Anexo 2, Tabla 2, Tabla 3). Sin embargo, para un análisis conjunto de las evidencias las supresiones, asimetrías, liberaciones, etc, sólo se han considerado como refuerzo de otros indicadores del daño causado por corriente de derrubios (heridas), dado que también pueden estar relacionados con otros factores ecológicos.

A partir de los datos obtenidos en el barranco de la Ramiosa a lo largo de la campaña de campo 2015, se pueden destacar los siguientes años, que más anomalías dendrocronológicas (supresiones) presentan: 1998, 2004, 2007, 2010. (Ver Anexo 2, Tabla 3)

Integrando los datos dendrocronológicos obtenidos a lo largo de las campañas de campo de 2014 (García-Oteyza, 2014 y García-Oteyza *et al.*, 2015 en prensa) y 2015 se ha realizado el siguiente gráfico (Fig. 5), en el que se observan las fechas con evidencias más fiables (heridas) junto con otros indicadores (supresiones, liberaciones y asimetrías) coincidentes en las fechas en que fueron datadas las heridas. Se han identificado 13 eventos torrenciales a partir de la presencia de heridas y reforzados por el número de datos dendrocronológicos. Dichos eventos son: 1967, 1968, 1976, 1988, 1991, 1997, 1999, 2003, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012.

Tiempo (años)	Eventos históricos (nº)	Acciones antrópicas (nº)	Descripción
1970	-	1	A) Construcción de la carretera de Roní hasta la cota de 1.650 m, por la apertura de la estación de Portainé
1982	1	-	H) Noviembre: Lluvias importantes en los Pirineos con riadas y deslizamientos. No hay información de si afectaron Portainé negativamente
1986	-	1	A) Inauguración de la estación de esquí de Portainé
1995	-	1	A) Construcción de la carretera desde la cota 1.650 m hasta la cota 2.000 m (hotel).
1996	-	1	A) En el río de Santa Magdalena, en la confluencia con el torrente des Caners (Portainé), se construye la presa de Vallespir. Esta presa forma parte de un conjunto de tres minicentrales hidráulicas construidas en el río Santa Magdalena. El año 2004 HIDROWATT, S.A., vende las minicentrales a INGELECTRIC TEAM, S.A.
1997	1	-	H) 19 de Diciembre: En Cataluña, el temporal dejó en sólo 24 horas más de 150 l/m <sup>2</sup> en el Pirineo y Prepirineo y provocó cortes de luz y carreteras y obligó a activar la alerta hidrológica por la crecida de los caudales de varios ríos
2006	2	1	H) Mayo: Tormentada que produce daños en la carretera de acceso a Portainé. A) Se construyen cajones de desagüe en los pasos de la carretera por los barrancos de Portainé y Reguerals. H) 29 de noviembre: Deslizamiento en la carretera de Portainé (no sabemos si fue en el torrente de Portainé o de Reguerals).
2008	2	1	H) Noche de 11 al 12 de Septiembre. Tormentada. Daños importantes en la carretera principalmente en los cruces con los barrancos de Portainé y Reguerals. El agua afecta la barandilla del puente de la carretera a Montanartró. Daños importantes en la presa de Vallespir (Fig. 3). A) Se habían realizado movimientos de tierras, para las balsas de innivación artificial, en las pistas de esquí. H) 2 de Noviembre: Precipitaciones que removilizan el material de la tormentada anterior; la tormentada corta la carretera.
2009	-	1	A) La Dirección General de Carreteras realiza nuevos desagües y escolleras en la intersección de la carretera con los barrancos. El Proyecto Boscos de Muntanya (voluntaris) realiza obras de corrección hidrológica de un tramo del barranco de Portainé (cota 1.895 m). Durante el 2010 se realizan correcciones aguas arriba (cota 1925m).
2010	2	3	A) Movimientos de tierras, en la zona de las pistas de esquí, para construir un reservorio de agua de 118.000 m <sup>3</sup> . A) Junio: Instalación en los barrancos, a instancias del Departament de Medi Ambient y Habitatge, de nueve barreras flexibles para la retención de sedimentos. H) Noche del 22 al 23 de Julio: tormentada. Se llenan ocho de las nueve barreras flexibles. Se colmatan los desagües de los barrancos debajo la carretera; en estos puntos se depositan sedimentos en la carretera, que la cortan. Hay erosiones y deslizamientos en algunos taludes de la carretera cercanos a las escolleras del 2009. H) 12 de Agosto, tormentada. Desperfectos en dos barreras flexibles. Se colmatan los desagües de los barrancos debajo la carretera; en estos puntos se depositan sedimentos en la carretera, que la cortan. Más erosión en algunos taludes de la carretera, ya afectados por la tormentada anterior. A) Octubre: Escape de unos 15.000 m <sup>3</sup> de agua del reservorio por innivación artificial. Afecta a las zonas cercanas al reservorio y al dominio esquiable.
2011	1	1	H) 5 de Agosto: Tormentada, más pequeña que las anteriores. Colmatan los desagües de los barrancos en la carretera. Se llena la única barrera que estaba vacía. A) Obras de restitución de los desagües. Arreglos en el dominio esquiable (obras de drenaje y pistas).
2013	1	-	H) El 23 de Julio tiene lugar una tormentada importante.
2014	2	-	H) Lluvias fuertes el 20 de Agosto, las barreras se llenan de sedimentos y se vacían por los lados. H) El 31 de Agosto afectaciones en la carretera, éstas no llegan a la presa de Vallespir

**Tabla 2.** En esta tabla se presenta una cronología y descripción de los eventos históricos y acciones antrópicas que han afectado el sector del barranco de Portainé. Cabe añadir que los registros precisos de tormentadas se inician en 2006. H) Eventos históricos; A) Acciones antrópicas. La documentación ha sido obtenida mayoritariamente de IGC (2013) y ha sido complementada con [www.ElMundo.es](http://www.ElMundo.es) [en línea] y contrastada con distintos testimonios (C. Fañanas, com. pers., y otros)



**Fig. 5** Evidencias dendrogeomorfológicas de avenidas obtenidas a partir de los datos de las campañas de campo 2014 y 2015. Como se comenta en el texto, las evidencias que nos indican la existencia de un evento torrencial inequívocamente son las heridas de los árboles, por lo que en este gráfico se representan las heridas en los distintos años, más otros datos dendrocronológicos en los años coincidentes con dichas heridas.

Se han identificado 8 eventos anteriores al 2006 (Fig. 5), en 36 años separados en intervalos de entre 1 y 12 años, lo que sugiere un periodo de retorno medio de 4 años y medio aproximadamente, por lo que se deduce que en este sector ya había tenido lugar actividad torrencial antes de que se iniciara el registro histórico de eventos que afectan la carretera; de dichos eventos se desconoce el tipo de flujo y sus características.

### 7.3 Mapas dendrogeomorfológicos de los eventos torrenciales identificados

Con los datos topográficos de las campañas de campo 2014-2015, se ha elaborado una base de datos y un mapa geomorfológico base del sector estudiado del barranco de Portainé mediante el software ArcGIS (a partir de los datos obtenidos con la estación total, ver apartado de Metodología). A partir de dicho mapa base, se han realizado diferentes mapas en los que se presentan los árboles en los que se identificaron y dataron las heridas, junto con otros indicadores coincidentes en el tiempo, es decir, se ha

elaborado un mapa para cada evento identificado y datado (Anexo 3). Posteriormente se ha procedido a elaborar una tabla (Tabla 3) en la que se clasifican los eventos según si a partir de los datos dendrogeomorfológicos son eventos extensos confirmados, eventos posiblemente extensos o eventos poco extensos o sin evidencias de gran extensión. Este criterio de “extensión” tiene que ver con la distribución y posición de los árboles afectados en el cono.

Eventos extensos confirmados	Eventos posiblemente extensos	Eventos poco extensos o sin evidencias de gran extensión
1968	1997	1967
1976	1999	2008
1988	2011	2012
1991		
2003		
2009		
2010		

**Tabla 3.** Clasificación de los eventos según su extensión a partir de datos dendrogeomorfológicos.

A continuación, se tratará y presentará un mapa de cada una de las categorías anteriormente comentadas (Fig.6). El resto de mapas pueden consultarse en el Anexo 3.

El mapa del evento del 2003 (Fig. 6 A) es un claro ejemplo de evento extenso confirmado ya que se pueden observar 4 supresiones y 1 herida en el canal y 1 supresión y 2 heridas localizadas en el cono. Estas últimas evidencias localizadas en el cono indican que se trata de un evento extenso en el que desbordó el canal principal y generó las dos heridas.

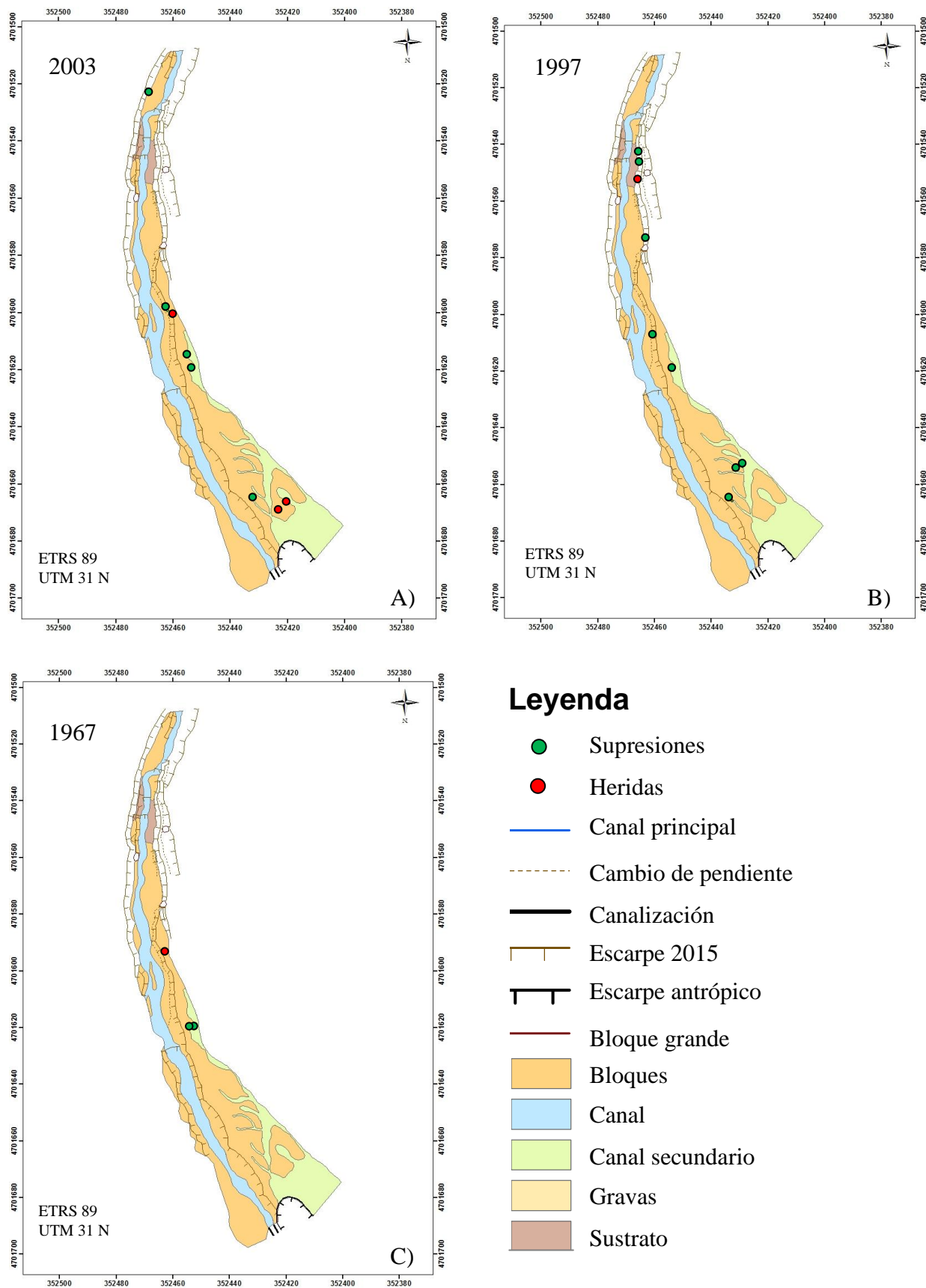
El mapa del evento de 1997 (Fig.6 B) es un ejemplo de un evento posiblemente extenso, ya que se pueden observar un gran número de evidencias con respecto a otros eventos, tanto a lo largo del canal como en el cono. Lo que sugiere que se trata de un evento posiblemente extenso del que no se han identificado heridas en el cono, debido por ejemplo a la muerte de los árboles afectados por el evento.

El mapa del evento de 1967 (Fig.6 C) es un ejemplo de evento poco extenso o sin evidencias de gran extensión, ya que se pueden observar pocas evidencias y limitadas al canal. Como no se han identificado heridas en la parte distal del cono, no puede deducirse de estos datos un evento extenso. Podría tratarse de un evento poco importante y poco extenso (aunque podrían haberse perdido evidencias de este tipo con el tiempo transcurrido, por muerte y desaparición de los árboles afectados).

Para finalizar, también se ha realizado una comparación entre el mapa geomorfológico elaborado en 2014 y el mapa de 2015, para poder observar los cambios que ha experimentado el canal de Portainé (Fig. 7). Comparando los mapas geomorfológicos de 2014 y 2015 (Fig. 7) se puede comprobar la intensa actividad que se da en este torrente, ya que se pueden identificar zonas del canal principal donde se ha producido erosión y otras donde se ha producido sedimentación.

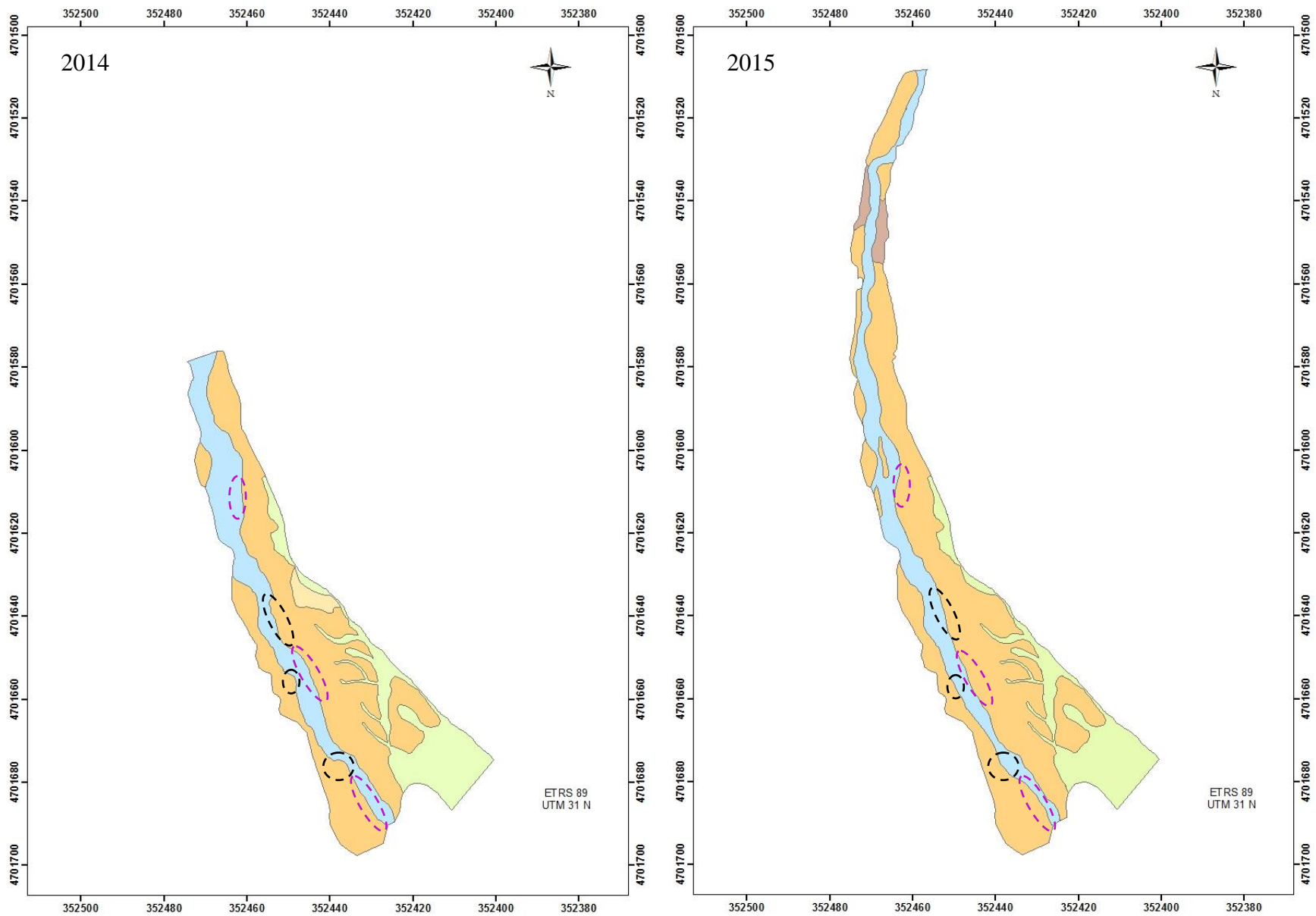
Cabe añadir que la campaña de 2014 se realizó en Marzo y con posterioridad se produjo el evento de finales de agosto, que no alcanzó el cono en forma de corriente de

derrubios pero pudo haber aportado cierta cantidad de agua y sedimento que favoreció los cambios que se observan.




**Fig. 6** En esta figura se presenta un mapa de cada una de las categorías. A) Mapa del evento 2003 (Evento extenso confirmado). B) Mapa del evento 1997 (Evento posiblemente extenso). C) Mapa del evento de 1967 (Evento poco extenso o sin evidencias de gran extensión).





**Leyenda**

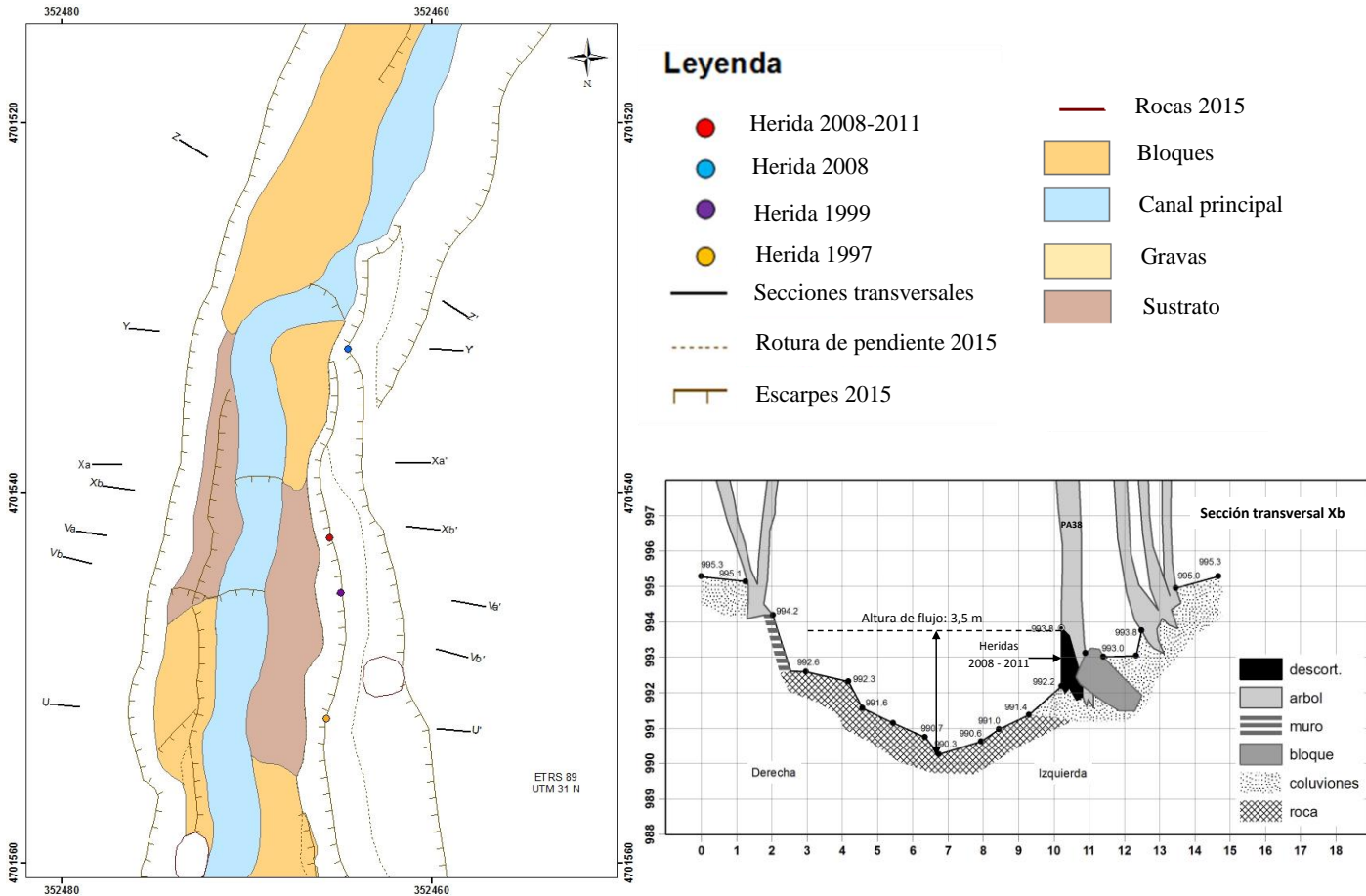
- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  Bloques |  Canal secundario |  Sustrato |  Erosión entre 2014 y 2015       |
|  Gravas  |  Canal antrópico  |   |  Sedimentación entre 2014 y 2015 |

**Fig. 7** En estos mapas correspondientes a los años 2014 (izquierda) y 2015 (derecha) se pueden observar las formas y depósitos del área estudiada del barranco de Portainé, junto con las zonas donde se ha producido erosión/sedimentación.

## 7.4 Secciones transversales

Como se ha comentado anteriormente, se han realizado una serie de secciones transversales al canal de Portainé, que incluyen árboles con heridas datadas que permiten obtener las alturas o calados máximos de los flujos que causaron dichas heridas (en un caso, la altura aproximada).

A continuación se presenta el mapa geomorfológico con las secciones realizadas y el ejemplo de una de ellas (Fig. 8) y una tabla resumen (Tabla 4) de las cuatro secciones más interesantes para este trabajo, aquellas que presentan heridas datadas (ver las 4 secciones en el Anexo 4).



**Fig. 8** Mapa geomorfológico en el que se sitúan las secciones transversales realizadas y los árboles con heridas datadas presentes en éstos. Se adjunta la sección transversal Xb-Xb' al canal del barranco de Portainé, en la que se ha calculado la altura de flujo o calado máximo para el evento datado (dibujo original: J. Calvet)

Secciones transversales	Árbol	Año herida	Altura de flujo (m)
Y-Y'	PA37	2008	Aprox. 3,1
Xb-Xb'	PA38	2008-2011	3,5
Va-Va'	PA39	1999	3,5
U-U'	PA40	1997	3,8

**Tabla 4.** Tabla en la que se muestran los ejemplares con heridas datadas y una medición de la altura o calado máximo de flujo que generó dichas heridas, presentes en las secciones transversales. En el caso de la sección Y-Y' se trata de una altura aproximada debido a que el lecho está constituido por aluviones.

Las alturas de flujo se sitúan entre los 3,1 m y los 3,8 m (Tabla 4), lo que indica, en una primera aproximación, que las tormentadas que generan las heridas fueron de magnitudes similares o que podría existir un cierto control morfotopográfico de las avenidas.

### **7.5 Caracterización y comparación de las cuencas del barranco de Portainé y Ramiosa**

En este análisis se ha aplicado el método Racional y el método de Wilford, debido a que se trata de cuencas aparentemente similares pero con comportamientos distintos. El objetivo es comparar ambas cuencas para averiguar si el comportamiento distinto se debe a la morfometría de las cuencas, al comportamiento hidrológico de la cuenca, a ambos factores o a ninguno de ellos.

#### **7.5.1 Caracterización morfométrica (Método Wilford)**

El método Wilford, *et al.*, (2004) consiste en que a partir del análisis de diferentes parámetros morfométricos de las cuencas hidrográficas y de relaciones entre dichos parámetros (Tabla 1), se determina la susceptibilidad de inundaciones, flujos hiperconcentrados o corrientes de derrubios. En el caso del presente trabajo, el objetivo es comparar los resultados teóricos de la aplicación del método con el tipo de fenómenos acaecidos en la realidad y comparar las dos cuencas.

Los parámetros morfométricos usados son (Tabla 1): la longitud de la cuenca, definida como la longitud en línea recta desde el ápice del cono hasta el punto más distal de la cuenca; y el relieve de la cuenca, definido como la diferencia de altitud entre el punto más alto de la cuenca y el ápice del cono.

Las relaciones entre estos parámetros propuestos por Wilford *et al.*, (2004) son la Relación de Melton (relieve de la cuenca/ $\sqrt{\text{área de la cuenca}}$ ) y la del Relieve (relieve de la cuenca/ longitud de la cuenca) (Tabla 1).

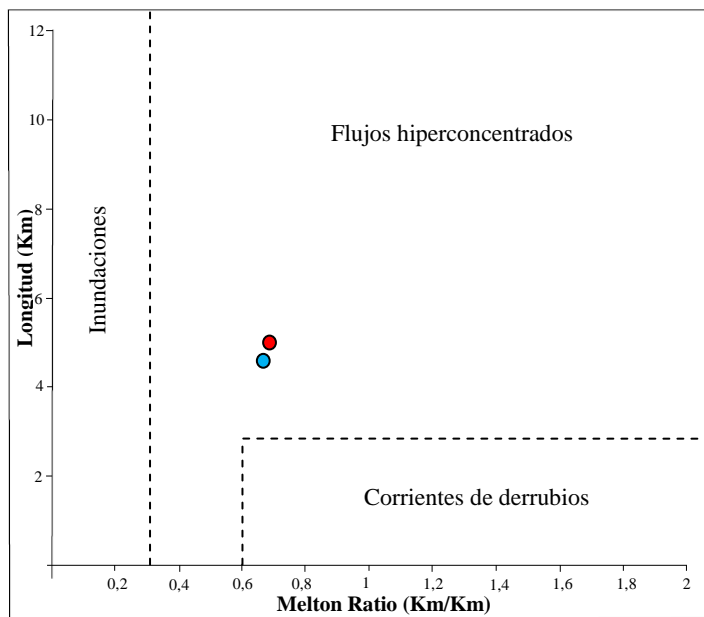
Para determinar la susceptibilidad de inundaciones, flujos hiperconcentrados o corrientes de derrubios en las cuencas, Wilford *et al.*, (2004) proponen unos valores límite de clase para distintas combinaciones de parámetros y relaciones (Tabla 5). Estas combinaciones son la Relación de Melton vs Longitud de la cuenca, la Relación de Melton vs la Relación de Relieve y la Relación de Relieve vs la Longitud de la cuenca. Camafort, *et al.* (2012) que han aplicado y verificado dicho método en distintas áreas de Catalunya, recomiendan la combinación de la Relación de Melton vs la Longitud de la cuenca ya que es en la que los resultados teóricos obtenidos se aproximan más a la realidad.

Variables	Límites de clase		
	Inundaciones (I)	Flujos hiperconcentrados (FH)	Corrientes de derrubios (CD)
<b>R. Melton vs Longitud</b>	R. Melton < 0,3	R. Melton 0,3 – 0,6 R. Melton > 0,6 y Longitud > 2,7	Relación de Melton > 0,6 y Longitud < 2,7
<b>R. Melton vs R. Relieve</b>	R. Melton < 0,3	R. Melton 0,3 - 0,77 R. Melton > 0,77 y R. Relieve < 0,42	Relación de Melton > 0,77 y Relación de Relieve > 0,42
<b>R. Relieve vs Longitud</b>	R. Relieve < 0,15	R. Relieve 0,15 – 0,35 R. Relieve > 0,35 y Longitud > 2,7	Relación de Relieve > 0,35 y Longitud < 2,7

**Tabla 5.** En esta tabla se presentan los valores de los parámetros propuestos para clasificar los diferentes tipos de flujos torrenciales. Extraída de Wilford *et al.* (2004)

	Relación de Melton	
<b>Cuenca barranco de Portainé</b>	Relieve/√ área de la cuenca = 0,652	Longitud de la cuenca = 5,06 km
<b>Cuenca barranco de la Ramiosa</b>	Relieve/√ área de la cuenca = 0,626	Longitud de la cuenca = 4,56 km

**Tabla 6.** En esta tabla se presenta la Relación de Melton para las cuencas de los barrancos de Portainé y Ramiosa y la longitud de dichas cuencas.



### Leyenda

- Portainé
- Ramiosa

**Fig. 9** Diagrama de dispersión. En tramas discontinuas están representados los límites entre las diferentes clases de flujos torrenciales propuestos por Wilford *et al.* (2004). En colores se sitúan las cuencas de Portainé y Ramiosa en el gráfico.

Los resultados de la aplicación del método se muestran en la Tabla 6 y Fig. 9. Una vez aplicado el método, se puede observar en el gráfico (Fig.9) que ambas cuencas pueden generar flujos hiperconcentrados. Finalmente se han comparado los resultados teóricos obtenidos mediante el método de Wilford con las descripciones de los

anteriores documentados. En el caso del barranco de Portainé se observa una coincidencia entre el registro documental y el resultado del método Wilford, mientras que en el caso del barranco de la Ramiosa no se observa coincidencia a partir de los datos históricos disponibles ni del estudio dendrogeomorfológico realizado.

### 7.5.2 Caracterización hidrológica (Método Racional)

El método racional se desarrolló a mitad del siglo XIX y aún se continúa usando, por su facilidad de uso y, en general, buenos resultados. Mediante la aplicación del método racional se pretende conocer la respuesta de la cuenca frente a la entrada de precipitaciones. Es decir, se pretende estimar el caudal máximo a partir de la extensión de la cuenca, usos del suelo y datos pluviométricos.

No se pretende realizar un cálculo de caudales muy preciso, sino comparar, para distintas precipitaciones la respuesta de las dos cuencas. Debido a la ausencia de datos de precipitaciones, los datos utilizados se han tomado del Plà Especial d'Emergències per Inundacions (INUNCAT) (actualización 2012).

A continuación se presentan los datos con los que se ha llevado a cabo el método Racional. (Tablas 7, 8 y 9):

<b>Periodo de retorno 10 años</b>
<b>90 l/m<sup>2</sup></b>
<b>Periodo de retorno 50 años</b>
<b>120 l/m<sup>2</sup></b>
<b>Periodo de retorno 100 años</b>
<b>130 l/m<sup>2</sup></b>

**Tabla 7** Datos pluviométricos en el sector de estudio del Pallars Sobirà para los siguientes periodos de retorno: 10, 50 y 100 años. Plà Especial d'Emergències per Inundacions (INUNCAT) (actualización 2012)

<b>Barranco de Portainé</b>	
<b>Superficie de la cuenca</b>	<b>5,204 km<sup>2</sup></b>
<b>Longitud del curso principal</b>	<b>4,72 km</b>
<b>Desnivel o relieve</b>	<b>1487 m</b>
<b>Grado de urbanización</b>	<b>&lt; 4 %</b>
<b>Coefficiente ( I<sub>1</sub>/I<sub>d</sub>)</b>	<b>10,5</b>
<b>Coefficiente regional "r"</b>	<b>1,3</b>

**Tabla 8** Datos del barranco de Portainé con los que se han realizado los cálculos del método racional. El coeficiente (I<sub>1</sub>/I<sub>d</sub>) se ha obtenido a partir del mapa de isolinias (MOPU, 1990). El coeficiente regional se ha obtenido de la Guía técnica "Recomanacions tècniques per als estudis d' inundabilitat d'ambit local. Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya.

<b>Barranco de la Ramiosa</b>	
<b>Superficie de la cuenca</b>	<b>5,067 km<sup>2</sup></b>
<b>Longitud del curso principal</b>	<b>4,53 km</b>
<b>Desnivel o relieve</b>	<b>1410 m</b>
<b>Grado de urbanización</b>	<b>&lt; 4 %</b>
<b>Coefficiente ( I<sub>1</sub>/I<sub>d</sub>)</b>	<b>10,5</b>
<b>Coefficiente regional "r"</b>	<b>1,3</b>

**Tabla 9** Datos del barranco de la Ramiosa con los que se han realizado los cálculos del método Racional. El coeficiente (I<sub>1</sub>/I<sub>d</sub>) se ha obtenido a partir del mapa de isolinias (MOPU, 1990). El coeficiente regional se ha obtenido de la Guía técnica "Recomanacions tècniques per als estudis d' inundabilitat d'ambit local. Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya.

Cabe decir que para los cálculos realizados se ha considerado el uso del suelo como forestal, en función de la guía técnica para estudios de inundabilidad local de la ACA.

A continuación se presentan los caudales máximos para cada cuenca según el período de retorno:

<b>Periodo de retorno 10 años</b>	<b>Caudal punta (m<sup>3</sup>/s)</b>
Barranco de Portainé	<b>0,41</b>
Barranco de la Ramiosa	<b>0,41</b>

**Tabla 10** Caudales máximos para un periodo de retorno de 10 años

<b>Periodo de retorno 50 años</b>	<b>Caudal punta (m<sup>3</sup>/s)</b>
Barranco de Portainé	<b>4,39</b>
Barranco de la Ramiosa	<b>4,35</b>

**Tabla 11.** Caudales máximos para un periodo de retorno de 50 años

<b>Periodo de retorno 100 años</b>	<b>Caudal punta (m<sup>3</sup>/s)</b>
Barranco de Portainé	<b>6,06</b>
Barranco de la Ramiosa	<b>6.01</b>

**Tabla 12.** Caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años

En las tablas 10, 11 y 12 se muestran los resultados obtenidos, como se puede observar los caudales punta son prácticamente iguales en ambas cuencas.

## 8. Discusión

Todos los métodos utilizados tienen limitaciones. Por ello, son complementarios entre ellos en algún aspecto. En esta discusión se comentan primero las limitaciones que se han encontrado durante la aplicación de los métodos, en segundo lugar los resultados obtenidos y en tercer lugar las ventajas de integrar los distintos resultados para obtener mejores resultados.

Los datos dendrogeomorfológicos constituyen la principal fuente de información en este estudio y han permitido identificar y datar eventos torrenciales. Las limitaciones de este tipo de información son entre otras, la dificultad de interpretación y la influencia de las condiciones ecológicas, que no permite conocer la magnitud de los eventos torrenciales en la etapa de análisis alcanzada en este trabajo; además se trata de un registro limitado en el tiempo por la edad de los árboles.

Los datos geomorfológicos de detalle, como serían los mapas y las secciones transversales al canal de Portainé, aportan información sobre la configuración de la zona de estudio, pero no aportan información sobre los distintos eventos que la han configurado; combinados con los datos dendrogeomorfológicos proporcionan información como extensión del evento (Mapas) y alturas o calados máximos de flujo (Secciones). La información sobre la extensión del evento que proporcionan los mapas no es unívoca, ya que puede que haya evidencias que no han sido identificadas o que se hayan perdido, por ejemplo por la muerte de los árboles. En cuanto a las secciones hay que tener en cuenta si se han realizado en lechos aluviales o lechos rocosos (Fijos) ya que al ser un lecho aluvial se trata de un lecho variable por lo que la altura o calado máximo del flujo que haya generado la herida, será una medición aproximada. Esto afectará negativamente, al comparar alturas de flujo de secciones diferentes, las cuales presenten heridas datadas el mismo año. El hecho de que se hayan identificado heridas de distintos años en distintas secciones ha permitido la detección de eventos, pero la desventaja que esto presenta es que las

secciones no se pueden correlacionar entre ellas. Es decir, no permiten, de momento, la aplicación de modelos hidráulicos (no sirven para calibrarlos porque no se puede establecer la pendiente de flujo a partir de la altura de las heridas de un mismo año en dos secciones distintas).

El registro histórico aporta información en este estudio sobre las acciones antrópicas y eventos históricos que han tenido lugar en el sector del barranco de Portainé desde los años 70 hasta la actualidad. La limitación que presenta cualquier registro histórico es el hecho de que a partir de un momento no registra datos anteriores. En Portainé el registro de eventos de avenidas es muy corto. Además el registro histórico puede estar sesgado por la falta de observaciones. Es decir, la ausencia de algún dato no implica la inexistencia de avenidas torrenciales. Aunque en los barrancos de estudio es muy clara la generación de tormentadas, con elevada carga sedimentaria, muy frecuentes a partir de 2006.

El método de Wilford es un método prospectivo. Una de sus limitaciones es que aunque el método pronostique que en una cuenca se puedan producir flujos torrenciales con un porcentaje considerable de carga sedimentaria (flujos hiperconcentrados o flujos de derrubios), si en la cuenca no hay material disponible para ser movilizado, se producirán fenómenos de tipo inundación. Por otro lado, puede que exista material disponible pero que no se haya movilizado.

El método Racional es el método simplificado más usado para el cálculo de caudales. Con su aplicación se ha pretendido comparar órdenes de magnitud en los caudales que pueden generar ambas cuencas. Más adelante, se discute si es un método suficientemente detallado como para detectar diferencias de infiltración en cuencas de montaña parecidas pero no iguales. Las limitaciones que presenta este método son, entre otras, que no tiene en cuenta la variabilidad temporal de la lluvia.

De los 13 eventos torrenciales identificados a partir de la presencia de heridas y reforzados por los otros datos dendro-

geomorfológicos cabe destacar que en 1997, 2008, 2010 y 2011, se han datado heridas y coinciden con eventos históricos documentados (Tabla 2), lo que confirma que las heridas datadas en estos años fueron causadas por eventos torrenciales. Además también coinciden con ciertas acciones antrópicas (Tabla 2) como los movimientos de tierra realizados en 2008 y 2010, que pudieron favorecer la formación de flujos hiperconcentrados/ *debris flows* debido a la exposición de materiales no consolidados y fácilmente erosionables.

En cuanto a los años 1967, 1968, 1976, 1988, 1991, 1999, 2003, 2009 y 2012 se han identificado heridas y otras evidencias que indican una relación con eventos torrenciales, pero no existen registros documentales con los que poder confirmarlos. En el caso del 2009 y 2012 sería recomendable revisar las dataciones, ya que es posible que los daños correspondan a los eventos de noviembre de 2008 y al de 2011.

Observando la cronología de los eventos detectados en el estudio dendrocronológico junto con la información aportada por el registro histórico (Ver Fig. 5 y Anexo 2 Tabla 1, 2 y 3) se puede observar, en primer lugar, que mediante los datos dendrocronológicos se puede afirmar que en el barranco de Portainé había actividad torrencial antes de que se iniciara el registro de las tormentas destructivas en 2006 ya que se han identificado 8 eventos anteriores a dicha fecha (1967, 1968, 1976, 1988, 1991, 1997, 1999, 2003). De dichos eventos se desconoce el tipo de flujo y sus características. En segundo lugar, se puede observar que a partir del 2008 la frecuencia con la que se producen dichos eventos torrenciales aumenta drásticamente, ya que pasan a producirse prácticamente cada año (Fig. 5) y se sabe por datos históricos que a partir del 2008 se incorpora gran cantidad de sedimentos, lo que da lugar a la formación de *debris flows*/ flujos hiperconcentrados. Según el informe AO-003/12 (IGC, Geocat. 2012), estos flujos no se corresponden con episodios de precipitación excepcionales, por lo que cabe entender que las alteraciones antrópicas en la cuenca del barranco de Portainé

realizadas en los últimos años han aumentado la susceptibilidad torrencial. De manera que actualmente con una situación de tormenta frecuente se desencadena una dinámica torrencial de mayor magnitud.

De la comparación de los datos dendrogeomorfológicos de ambos barrancos se deduce que, respecto a las avenidas torrenciales, los dos torrentes tienen un comportamiento absolutamente diferente, ya que los eventos detectados por la existencia de heridas (y otras evidencias) en el barranco de Portainé no tienen absolutamente ninguna correspondencia con las evidencias del barranco de la Ramiosa que siguen patrones absolutamente distintos. Es decir, los eventos identificados en Portainé son indistinguibles en el barranco de la Ramiosa. En este último barranco se han destacado los años 1998, 2004, 2007 y 2010 por ser los que más anomalías dendrocronológicas (supresiones) presentan (Ver Anexo 2, Tabla 3). Estas fechas no tienen relación con los eventos torrenciales identificados en el barranco de Portainé (excepto 2010) y no se pueden comparar. Con respecto a estas fechas, las series de datos dendrocronológicos observables previas a estos años indican que es muy probable que el escaso crecimiento de los árboles (supresiones) se deba más a un período de escasez hídrica que a eventos torrenciales.

Una vez aplicado el método de Wilford con el objetivo comentado anteriormente, se ha obtenido como resultado que ambas cuencas pueden generar flujos torrenciales (Fig. 9). Ello coincide con lo que sucede en el barranco de Portainé, pero no con lo que sucede en el barranco de la Ramiosa, aunque la precipitación es prácticamente la misma en las dos cuencas y sí que hay sedimento disponible para ser transportado en dicho barranco, ya que toda la cuenca está recubierta por una considerable formación superficial estable, seguramente por la acción de la vegetación. Esto sugiere que no se han dado las condiciones necesarias para que se den los flujos torrenciales como los que tienen lugar en el barranco de Portainé.

El método Racional no ha permitido evidenciar el comportamiento hidrológico diferente de las dos cuencas. Pese a que la cuenca del barranco de la Ramiosa prácticamente no está modificada y se halla más forestada que la cuenca del barranco de Portainé, por lo que las condiciones de infiltración son distintas ya que la infiltración será mayor en las zonas forestadas (Tabla 1). De manera que el método Racional no permite realizar esta diferenciación que en cuencas de características como Portainé y Ramiosa puede ser significativa.

Todo esto corrobora la hipótesis de García-Oteyza *et al.*, 2015 (en prensa) en la que se explica que el comportamiento distinto se debe a las diversas intervenciones que se realizaron en la cabecera del barranco de Portainé, que modificaron la hidrología superficial, favoreciendo la circulación superficial, lo que genera un aumento de caudales en los torrentes. La incisión en el lecho del barranco y el socavamiento de los pies de vertientes adyacentes abrieron en 2008 una brecha erosiva en la formación superficial coluvial, que puede preverse que irá en aumento sin que se perciban signos de posible vuelta a la estabilidad. Estas modificaciones antrópicas son parciamente perceptibles en las ortofotografías de la zona. Los resultados obtenidos en el presente trabajo apuntan en la misma dirección y corroboran esta interpretación.

A continuación se compararan y discuten los mapas con las secciones y la cronología de los daños.

Evento 1997.- Observando el mapa del evento de 1997 se pueden identificar un gran número de evidencias tanto a lo largo del canal como del cono; se trata de un evento posiblemente extenso, ya que no se observa ninguna herida en la parte distal del cono. En la sección (U-U') transversal al canal de Portainé se presenta la altura o calado máximo del flujo (3,8 m) que generó la herida datada en 1997; aparentemente la sección indica un evento importante, lo que concuerda con el gran número de evidencias que se han datado en este año, pero no con el hecho de que no se hayan identificado heridas en el cono, de manera

que podría ser que este tipo de evidencias (heridas) hayan desaparecido por la muerte de los ejemplares arbóreos. Este evento de 1997 coincide con el temporal (Tabla 2) que dejó en sólo 24 horas más de 150 l/m<sup>2</sup> en el Pirineo y Prepirineo y provocó cortes de luz y carreteras, obligando a activar la alerta hidrológica por la crecida de los caudales de varios ríos, lo que reafirma la idea de que dichas heridas fueron generadas por un evento torrencial.

Evento 1999.- Observando el mapa del evento de 1999, se pueden identificar pocas evidencias. Una herida en el canal y dos supresiones en el cono, lo que indica que podría tratarse de un evento posiblemente extenso y que las heridas generadas por dicho evento en el cono hayan desaparecido con el tiempo por la muerte de los árboles. En la sección (Va-Va') transversal al canal de Portainé se presenta la altura máxima del flujo (3,5 m) que generó la herida datada en 1999. Dicha altura de flujo indica que este evento sería de magnitud parecida al de 1997, lo que confirma que se trataría de un evento extenso, pero como en este caso no se dispone de heridas en el cono, se considera posiblemente extenso.

Evento 2008.- Observando el mapa del evento de 2008 se pueden identificar dos heridas y una supresión en el canal y una supresión en el cono. Debido a la falta de evidencias, este evento se podría catalogar como poco extenso o como un evento del que no se han identificado evidencias suficientes como para afirmar que se trata de un evento posiblemente extenso o extenso. Al observar las secciones (Y-Y') y (Xb-Xb') transversales al canal de Portainé se presentan las dos alturas del flujo (3,1 y 3,5 m) que generaron las heridas identificadas y datadas. Comparando estas alturas con respecto a las del evento de 1999, se puede deducir que el evento de 2008 podría ser de magnitud similar o de una magnitud levemente inferior. De manera que este evento se clasificará más bien como un evento del que no se han identificado evidencias suficientes de extensión, ya que al ser de magnitud similar al de 1999 no sería razonable describirlo como un evento poco extenso. Además, coincide con dos eventos



históricos (Tabla 2), lo que corrobora que las heridas datadas en 2008 fueran producidas por un evento torrencial.

Evento 2011.- Observando el mapa del evento de 2011 se pueden identificar evidencias repartidas entre el canal y el cono, lo que indica que podría tratarse de un evento posiblemente extenso del que solo se ha identificado una herida en el canal. En la sección (Xb-Xb') transversal al canal de Portainé se presenta la altura máxima de flujo (3,5 m) que generó la herida, dicha altura indica que la magnitud de este evento es parecida a la del evento de 1999 y 2008, lo que sugiere que se trata de un evento extenso, pero debido a la falta de evidencias se clasifica como posiblemente extenso. Finalmente, cabe añadir que este evento datado en 2011 coincide con un evento histórico (Tabla 2) lo que confirma que las heridas fueran producidas por un evento torrencial.

## 9. Conclusiones

A partir de la integración de los datos dendrogeomorfológicos de las campañas de campo de 2014 y 2015, se han podido identificar 13 eventos torrenciales en el barranco de Portainé, a partir de heridas presentes en los árboles y otras evidencias como, por ejemplo, supresiones. Mientras que en el barranco de la Ramiosa no se han identificado heridas a partir de los datos de la campaña de campo 2015, por lo que no se han identificado indicios de eventos torrenciales en el barranco de la Ramiosa.

La cronología dendrogeomorfológica de eventos en el barranco de Portiané, muestra que ya había actividad torrencial antes de que se iniciara el registro histórico. A partir del 2008 los eventos torrenciales se producen prácticamente cada año, lo que presenta una estrecha relación con la incisión en el lecho del barranco y el socavamiento de los pies de vertientes adyacentes que abrieron, en 2008, una brecha erosiva en la formación superficial coluvial.

A partir de lo expuesto anteriormente, se concluye que los barrancos de Portainé y la Ramiosa presentan un comportamiento muy

diferente, ya que en Portainé se producen avenidas torrenciales que generan daños en los árboles mientras que en la Ramiosa no se detectan avenidas torrenciales que produzcan daños en los árboles, ni tampoco anomalías en el crecimiento que se correspondan con las avenidas torrenciales que se producen en Portainé.

Cabe entender que las alteraciones antrópicas realizadas en los últimos años en el barranco de Portainé han aumentado la susceptibilidad torrencial, de manera que actualmente con una situación de tormenta frecuente, se desencadena una dinámica torrencial de mayor magnitud, ya que la brecha erosiva en la formación superficial coluvial proporciona grandes cantidades de sedimentos que favorecen la formación de flujos hiperconcentrados/ *debris flows*.

No se puede deducir de los datos geomorfológicos morfométricos ni de un cálculo simple de caudales potenciales que el régimen torrencial que se produce en los dos barrancos sea similar (ni distinto), pero de todos modos la diferente cobertura forestal que existe en Ramiosa, mucho más importante en la cabecera, ha de condicionar una mayor infiltración, lo que puede ser una de las causas que explique esta diferencia de comportamiento

En cuanto a los datos históricos cabe decir que han sido esenciales en este trabajo, ya que permiten establecer una muy fiable relación con los datos dendrogeomorfológicos obtenidos. Además, la información sobre las actuaciones antrópicas en la estación de esquí aporta datos de gran interés para interpretar los procesos.

Los episodios torrenciales que están teniendo lugar prácticamente cada año, desde el 2008, indican una susceptibilidad creciente de este tipo de fenómenos debido a la desestabilización de las formaciones superficiales (brecha erosiva). El hecho de caracterizar una problemática es el primer paso para la mitigación de los riesgos geológicos. Por lo que finalmente se concluye que la metodología llevada a cabo en este trabajo ha permitido avanzar en la caracterización del funcionamiento torren-

cial que protagoniza la problemática tratada en el mismo.

Para futuras campañas, sería recomendable completar el muestreo de los árboles a lado y lado del canal para así poder obtener, más datos de heridas, ver si son producidas en las mismas avenidas, los mismos años y así poder comparar alturas de flujo y establecer hipótesis de los tipos de flujos que han alcanzado ese sector del barranco de Portainé.

Debido a que el tiempo de realización del trabajo no ha permitido contrastar datos climáticos y eventos meteorológicos con los eventos detectados mediante la dendrocronología, se recomienda que en futuras etapas de este proyecto se realizara dicha tarea ya que aportaría información de gran interés.

## 10. Referencias

### 10.1 Libros

Ballesteros, J.A.; Bodoque, J.M.; Díez-Herrero, A.; Génova, M.; Gutiérrez, E.; Moya, J.; Muntán, E.; Oller, P.; Rubiales, J.M.; Ruiz-Villanueva, V.; Saz, M.A. (2010). *Dendrogeomorfología. Los árboles, fuente de conocimiento de los procesos y desastres naturales*. Cuadernos de Arboricultura nº 5, Asociación Española de Arboricultura, Diputación Provincial de Toledo y Sociedad Española de Geomorfología, Valencia, 119 pp. ISBN 978-84-96211-47-6; D.L. V-1180-2010

### 10.2 Artículos e Informes

Camafort Blanco, M., González Díaz, M., Pinyol Guamis, J., Vilaplana Fernández, J.M., Oller Figueras, P., (2012) Evaluación de la susceptibilidad de corrientes de derrubios. Aplicación al mapa para la prevención de riesgos geológicos 1:25 000 de Cataluña. XII Reunión Nacional de Geomorfología, Santander. pp. 167-170

Díez-Herrero, A., Ballesteros, J.A., Bodoque, J.M., Eguíbar, M.A., Fernández J.A., Génova, M.M., Laín, L., Llorente, M., Rubiales, J.M., y Stoffel, M. 2007. Mejoras en la estimación de la frecuencia y magnitud de avenidas torrenciales mediante técnicas dendrogeomorfológicas. *Boletín Geológico y Minero*, 118 (4): 789-802

García-Oteyza, J. (2014); "Datación y caracterización de avenidas torrenciales mediante metodologías dendrogeomorfológicas en el Barranco de Portainé (Pallars Sobirà, Lérida, España)". Trabajo final de máster de Recursos Minerales y Riesgos Geológicos. Universidad de Barcelona (UB), Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). 24 pág 5 Anexos.

García - Oteyza, J., Génova, M., Calvet, J., Furdada, G., Guinau, M., Díez-Herrero, A. (2015) Datación de avenidas torrenciales y flujos de derrubios mediante metodologías dendrogeomorfológicas (barranco de Portainé, Lleida, España) Ecosistemas (en prensa)

Guía tècnica. Recomanacions tècniques per als estudis de inundabilitat d'àmbit local. (Març 2003). Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. Departament de Media Ambient.

Gutiérrez, E. (2008) "La dendrocronología: métodos y aplicaciones" en "Arqueología nautica mediterrània" X. Nieto i M.A. Cau (eds.) pp. 303-315

González, M., Pinyol, J., Camafort, M., Vilaplana, J., Oller, P. (2013). El mapa para la prevención de riesgos geológicos de Cataluña 1:25.000: Aplicación de una metodología a escala regional para la evaluación de la susceptibilidad a generar flujos torrenciales. VII Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Palma de Mallorca, Junio 2013. Alonso, E., Corominas, J., Hürlimann, M., (Eds.) pp. 614- 623.

IGC (Instituto Geológico de Cataluña) (2013). *Avaluació de la dinàmica torrencial del torrent de Portainé*, código AP-035/13. Generalitat de Catalunya. Barcelona., 2 vol.

ICGC (Insituto geológico de Cataluña) (2012). Evaluación hidrológica y geológica preliminar del estado actual de la vertiente norte del Pico del Orri y de la carretera de Roni a Portainé (Rialp). Bloque 1: Estudio de la cuenca hidrológica norte del pico del Orri. Código AO-003/12, p.76)

Wilford, D.J., Sakals, M.E., Innes, J.L., Sidle, R.C. y Bergerud, W.A. 2004. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. *Landslides (2004)* 1: [DOI 10.1007/s10346-003-0002-0. Published online: 5 March 2004, Springer-Verlag, pp. 61- 66].

Plà Especial d'Emergències per Inundacions (INUNCAT) (actualització 2012)

### **10.3 Pàgines web**

Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña. Mapa geológico y topográfico 1:50.000 [en línea], Barcelona, Generalitat de Catalunya. Departamento de Territorio y Sostenibilidad. [Consultado el 07/04/2015]  
URL: [www.icgc.cat](http://www.icgc.cat)

Diario El Mundo [en línea]. [Consultado el 05/04/2015]  
URL:[www.elmundo.es/elmundo/1997/dicembre/19/nacional/cenegal.html](http://www.elmundo.es/elmundo/1997/dicembre/19/nacional/cenegal.html)

# **Anexo 1. Introducción a la dendrocronología.**

## **Conceptos básicos de la dendrocronología**

### **Que es la dendrocronología?**

La palabra deriva del griego dendron – árbol-, crono –tiempo- y logocnoscimiento- y denomina una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnica y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento (Gutiérrez, 2008).

### **Cuál es el objetivo principal de la dendrocronología?**

El objetivo principal es establecer cronologías o series maestras (series promedio). Por lo que primero es necesario identificar y datar los anillos asignando a cada uno de ellos el año de calendario exacto en el cual se formó. Las series dendrocronológicas constituyen un registro del tiempo y un archivo de los acontecimientos pasados, por lo que permiten la investigación en diversos campos de la ciencia. Además también son útiles para datar acontecimientos que hayan podido afectar a los árboles, datar objetos y construcciones de madera.

## **Los árboles y su crecimiento**

Los árboles son los organismos más grandes y longevos. La larga vida de los árboles y sus grandes dimensiones se deben a un crecimiento continuo sobre las estructuras ya formadas y a que los materiales de construcción, la celulosa y la lignina, son muy recalcitrantes a la descomposición. También son organismos inmóviles y allí donde nacen pasan toda la vida registrando los acontecimientos que hayan afectado a sus procesos de crecimiento. Dichos acontecimientos, pueden dar lugar a cambios en el crecimiento, como sería una reducción del crecimiento medio (supresión) en periodos de escasez hídrica o por el contrario un aumento del crecimiento medio (liberación). Pero el crecimiento de los árboles, como cualquier proceso de crecimiento, no es continuo y se detiene en algún momento debido a la limitación impuesta por algún factor externo y /o interno, formándose los anillos. En zonas del planeta que presentan una estacionalidad climática, los árboles detienen el crecimiento durante la época desfavorable y lo vuelven a iniciar en el momento en que las condiciones climáticas son de nuevo favorables. Este patrón de actividad y reposo queda marcado en la estructura de la madera en forma de capas concéntricas anuales las cuales en un corte transversal, se ven como anillos (Gutiérrez, 2008).

**Anexo 2. Resultados obtenidos mediante la dendrocronología a partir de las muestras obtenidas a lo largo de las campañas de campo 2014-2015.**

ID	ESPECIE	EVIDENCIAS EXTERNAS			MUESTRAS EXTRAÍDAS		NSD	CRONOLOGIA	EE	DATACIÓN/ES INDICADORES DENDROGEOMORFOLÓGICOS				
		H	D	O	T	S				HERIDA/S Y MUERTE	ASIMETRÍAS Y ANILLOS OSCURECIDOS	ORIGEN RAMAS SUPLENTE	SUPRESIÓN/ES Y AUSENTES	LIBERACIÓN/ES
PA01	<i>Populus tremula</i>	-	-	-	2	-	2	1958-2010	53	-	1995, 1998, 2009	-	1998-99, 2006	2004
PA02	<i>Populus tremula</i>	-	-	-	2	-	2	1963-2010	48	-	1996	-	1984, 2006-07	1996, 2004
PA03	<i>Populus tremula</i>	x	-	x	3	-	3	1967-2013	47	2003	2010, 2012, 2003-2005	-	1979	1997, 2004
PA04	<i>Populus tremula</i>	-	-	-	2	-	2	1967-2013	47	-	2001	-	1989	1999, 2011
PA05	<i>Populus tremula</i>	x	-	-	3	-	3	1969-2013	45	2003	-	-	1984, 1988, 1998, 2010-11	2000, 2004
PA06	<i>Populus tremula</i>	x	-	x	5	-	4	1972-2013	42	1976, 1997	1994, 1999, 2010, 2007	-	1989, 2007	1991, 2012
PA07	<i>Fraxinus excelsior</i>	x	-	x	2	-	2	1963-2012	50	-	-	-	1972-76, 1993, 2003-04, 2009-12	1977
PA08	<i>Populus tremula</i>	-	-	-	2	-	2	1961-2013	53	-	1984, 1993, 1998	-	1970-75, 1996, 2009, 2013	1976, 1978, 2011
PA10	<i>Populus tremula</i>	x	-	-	2	-	3	1966-2013	48	1968	1984, 1986, 2010	-	1969, 1971, 1974, 1997, 2006	1978
PA11	<i>Populus tremula</i>	x	-	x	3	-	3	1978-2013	36	1988	1978, 2000, 2007, 2011	-	1999, 2006, 2010	2011
PA12	<i>Populus tremula</i>	x	-	x	2	-	2	1964-2013	50	-	1974	-	1984, 1996-97	1976
PA14	<i>Prunus avium</i>	x	-	x	-	9	12	1973-2013	41	2009	2010	-	1985, 2000	1993, 2010
PA15	<i>Acer campestres</i>	x	-	x	-	17	9	1978-2013	36	2010	-	-	1984, 1987, 1991, 2000, 2006	1985, 1997, 2011
PA19	<i>Populus tremula</i>	x	-	-	2	-	2	1974-2013	40	-	-	-	-	-
PA20	<i>Juglans regia</i>	x	-	-	3	-	4	1930-2013	84	1967	1943, 2006	-	1975-76, 2010	1983, 1987, 2003, 2013
PA21	<i>Populus nigra</i>	x	-	-	2	-	4	1968-2013	46	2012	1999	-	2003, 2009, 2013	1984, 1997
PA22	<i>Populus nigra</i>	-	-	-	2	-	2	1969-2013	45	-	1981, 1988	-	1995	1987-94
PA23	<i>Populus nigra</i>	x	-	-	3	-	3	1961-2013	53	2003	1967, 1981	-	1982-83, 1995, 2011	1985, 2005
PA24	<i>Populus tremula</i>	x	-	-	2	-	2	1961-2013	53	-	-	-	-	-
PA25	<i>Populus tremula</i>	x	-	-	2	-	2	1964-2013	50	-	1974, 1993, 2000, 2011	-	1997, 2010	-
PA26	<i>Fraxinus excelsior</i>	x	x	x	2	-	3	1973-2013	41	-	1979	1973	1984, 2008-09	2010-11
PA27	<i>Fraxinus excelsior</i>	x	x	-	2	-	4	1970-2013	44	-	1974, 1984, 2005	1972	1971-74, 2002-03, 2010-11	1975, 2013
PA28	<i>Populus tremula</i>	x	-	-	1	-	2	1960-2013	54	-	1988	-	1984, 1993, 2007-09	1998, 2011
PA29	<i>Fraxinus excelsior</i>	-	x	-	3	-	6	1963-2013	51	-	1969	1973, 1973	1967-68, 1974-77, 2013	1970-72
PA30	<i>Fraxinus excelsior</i>	-	x	-	3	-	2	1955-2012	58	-	-	1975	1962, 1967, 1983, 1993	1980, 2000
PA31	<i>Fraxinus excelsior</i>	-	x	-	2	-	4	1962-2013	52	-	1978	1976	1971-77, 1997, 2003	1980, 1992, 2000, 2013
PA32	<i>Fraxinus excelsior</i>	x	x	-	3	-	4	1957-2013	57	-	1978	1981	1974, 1993	2013
PA33	<i>Fraxinus excelsior</i>	x	x	-	3	-	4	1973-2013	41	1991	1992	1977	2001, 2009-10	1992-95, 2013
PA34	<i>Prunus avium</i>	-	-	x	-	2	2	1979-2010	32	2011	-	-	1983, 1997, 2005	1988, 1999, 2003

**Tabla A2.1.** Resultados dendrocronológicos de las muestras obtenidas en el barranco de Portainé en la campaña de campo 2014. Fuente: García-Oteyza *et al.*, 2015 (en prensa)

ID	ESPECIE	EVIDENCIAS EXTERNAS			MUESTRAS EXTRAÍDAS		NSD	CRONOLOGIA	EE	DATACIÓN/ES INDICADORES DENDROGEOMORFOLÓGICOS				
		H	D	O	T	S				HERIDA/S Y MUERTE	ASIMETRÍAS Y ANILLOS OSCURECIDOS	ORIGEN RAMAS SUPLENTE	SUPRESIÓN/ES Y AUSENTES	LIBERACIÓN/ES
PA35	Salix sp.	X	X	-	2	-	3	1971-2014	44	-	2010-14, 1984-94, 2010-14	-	R1- 1985, 1989, 2001-04 R2- 2012	R1- 1995, 2010-14 R2- 1996
PA36	Populus nigra bolleana	X	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA37	Prunus avium	X	-	-	1	1	3	1968-2014	47	2008	1993-02, 2009-10	-	1974, 1978, 1982, 1988, 1993, 2000, 2006	1981, 1991, 2004
PA38	Populus nigra bolleana	X	-	-	2	-	4	1971-2014	44	2008-2011	1974-92	-	1987, 1992, 1997, 2007	1999, 2008
PA39	Populus nigra	X	-	-	2	-	4	1982-2014	33	1999	1985-90, 1994	-	1987, 1992, 1997, 2007	1999, 2008
PA40	Populus nigra	X	-	-	3	-	4	1977-2014	38	1997	1994-96	-	1987, 1992, 1997, 2007	1999, 2008
PA41	Populus nigra	X	-	-	2	-	3	1960-2013	54	-	1988-91	-	1987, 1992, 2007	1999, 2008
PA42	Fraxinus excelsior	-	X	-	3	-	5	1962-2014	53	-	1966-80	1977	1972-73	1971, 1986, 2010
PA43	Tilia cordata	-	X	X	2	-	3	1937-2014	78	-	1997-01	-	1949, 1966, 1994, 2012	-
PA44	Prunus avium	X	-	-	1	-	2	1979-2014	36	2012	1987-1991, 2008	-	1990, 1995, 1997, 1993, 2000, 2012	1991, 1994, 2004-05, 2013
PA45	Populus nigra	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA46	Fraxinus excelsior	-	-	X	2	-	3	1970-2014	45	-	1980-92	-	1972-73	1971, 1975, 1986, 2010
PA47	Quercus sp.	X	-	X	2	1	4	1938-2014	77	2011	1958-14	-	1938-52, 1982-83, 1994-14	1946, 1985

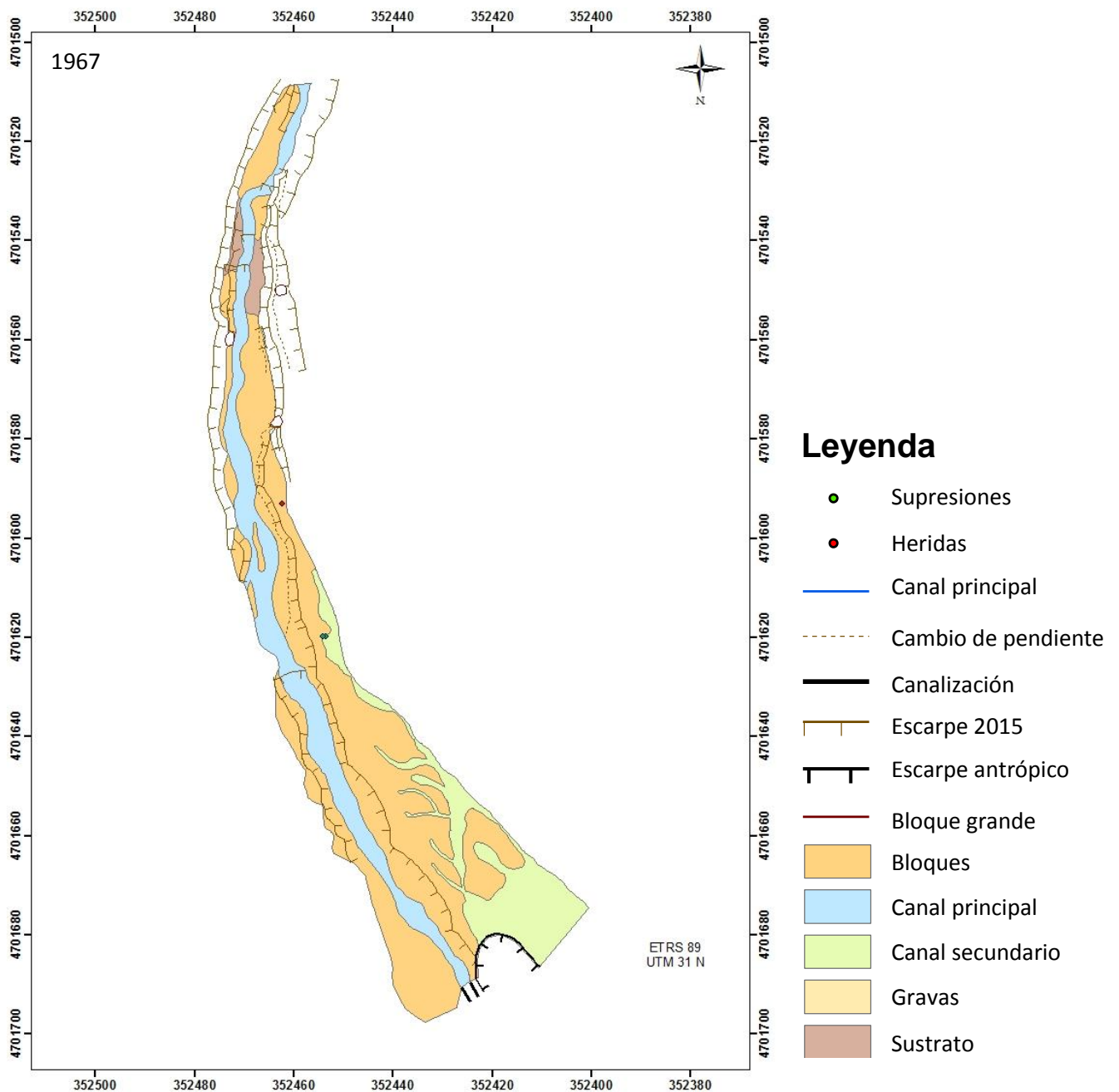
**Tabla A2. 2.** Resultados dendrocronológicos de las muestras obtenidas en el barranco de Portainé en la campaña de campo 2015.



ID	ESPECIE	EVIDENCIAS EXTERNAS			MUESTRAS EXTRAÍDAS		NSD	CRONOLOGIA	EE	DATACIÓN/ES INDICADORES DENDROGEOMORFOLÓGICOS				
		H	D	O	T	S				HERIDA/S Y MUERTE	ASIMETRÍAS Y ANILLOS OSCURECIDOS	ORIGEN RAMAS SUPLENTE	SUPRESIÓN/ES Y AUSENTES	LIBERACIÓN/ES
PA48	Populus nigra bolleana	-	-	-	2	-	3	1977- 2014	38	-	2011-12, 1992-1993	-	1998, 2004, 2007, 2010	-
PA49	Populus nigra bolleana	-	-	-	2	-	3	1975- 2014	41	-	-	-	1998, 2004, 2007, 2010	-
PA50	Populus nigra bolleana	-	-	-	2	-	3	1980-2014	35	-	1988-1995	-	1998, 2004, 2007, 2010	1997
PA51	Populus nigra	-	-	-	2	-	4	1998- 2014	17	-	-	-	1998, 2004, 2010	2001, 2005
PA52	Quercus sp.	-	-	-	2	-	4	1907- 2014	108	-	1925-27, 1931-39, 1948-2014	-	1937, 1943-1945, 1963-65, 1976-77, 2014	1946, 1985, 2013
PA53	Quercus sp.	-	-	-	2	-	5	1939-2014	76	-	2002-2014	-	1943, 1955-65, 1976, 1983, 1991-2014	1946, 1966, 1979, 1985
PA54	Populus nigra	-	-	-	2	-	2	1971-2014	43	-	1991-92	-	1998, 2004, 2007, 2010	-
PA55	Quercus sp.	-	-	-	2	-	2	1916-2014	99	-	1994-2014, 1945	-	1932-1955, 1984	1946, 1954, 1985
PA56	Fraxinus excelsior	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA57	Fraxinus excelsior	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Tabla A2. 3.** Resultados dendrocronológicos de las muestras obtenidas en el barranco de la Ramiosa en la campaña de campo 2015.

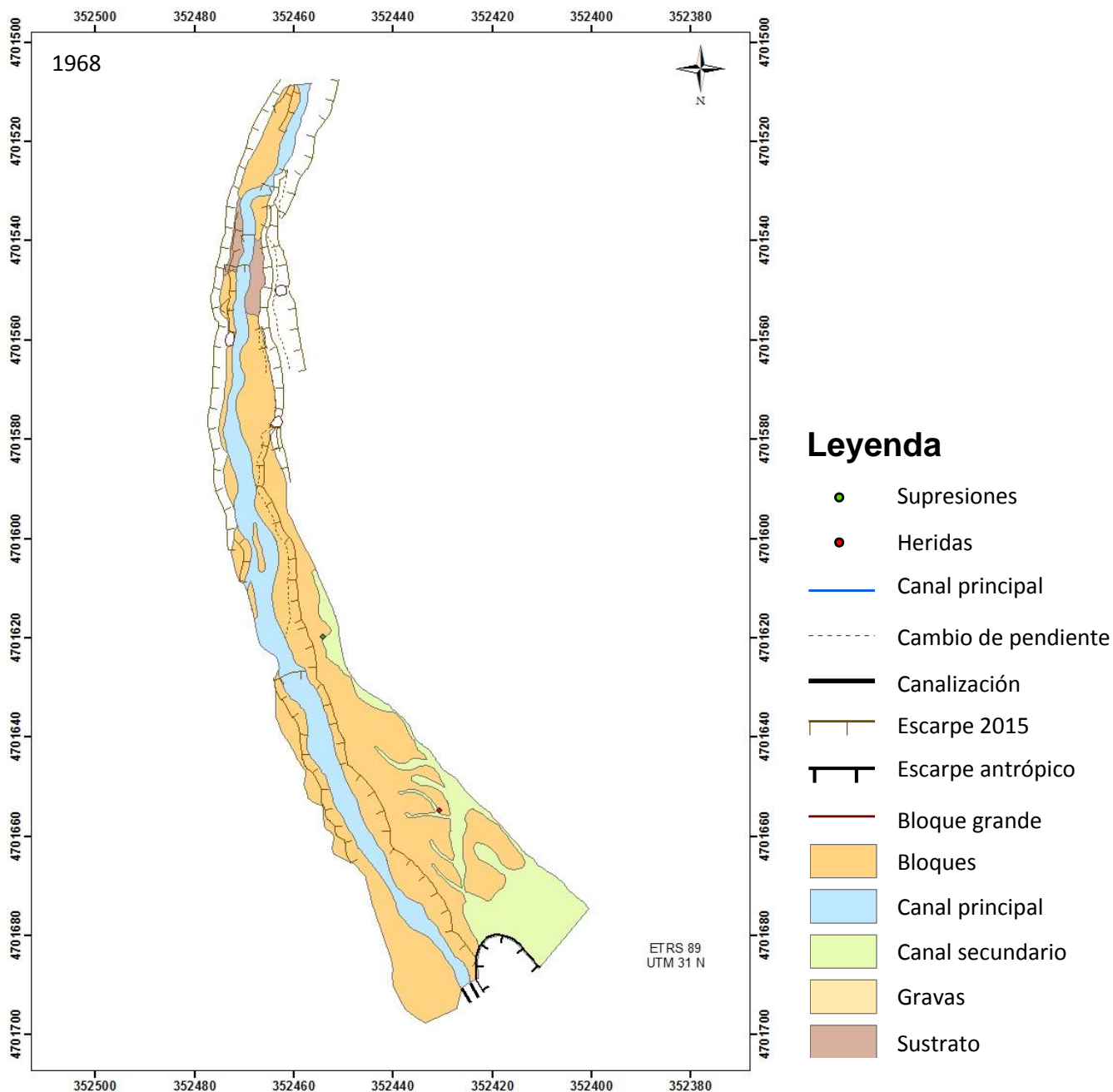
**Anexo 3. Cartografías geomorfológicas en las que se incorporan las evidencias dendrocronológicas y comparación de los mapas geomorfológicos realizados a lo largo de las campañas de campo 2014 y 2015.**



**Fig. A3. 1.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 1967.

En el mapa del evento de 1967 (Fig.A3.1) se pueden observar pocas evidencias y limitadas al canal. Como no se han identificado heridas en el cono, no puede deducirse de estos datos un evento extenso.

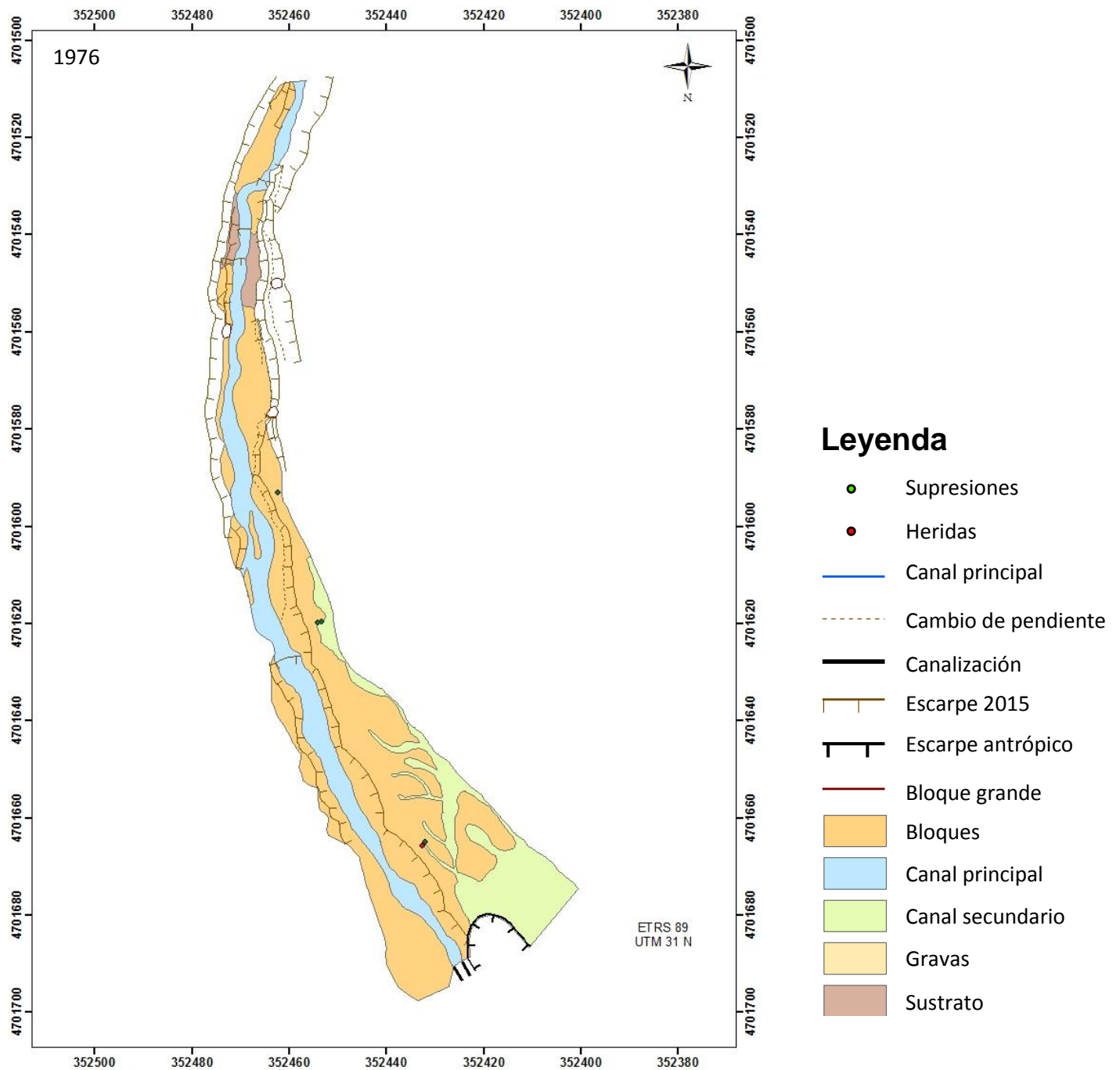
Podría tratarse de un evento poco importante y poco extenso (aunque podrían haberse perdido evidencias de este tipo con el tiempo transcurrido por muerte y desaparición de los árboles afectados).



**Fig.A3. 2.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 1968.

En el mapa del evento de 1968 (Fig. A3.2) se pueden observar pocas evidencias. En este caso, a diferencia del anterior, sí que se observa una herida en el cono, a cierta distancia del canal, lo que indica que el evento que generó dicha herida fue un evento suficientemente extenso como para

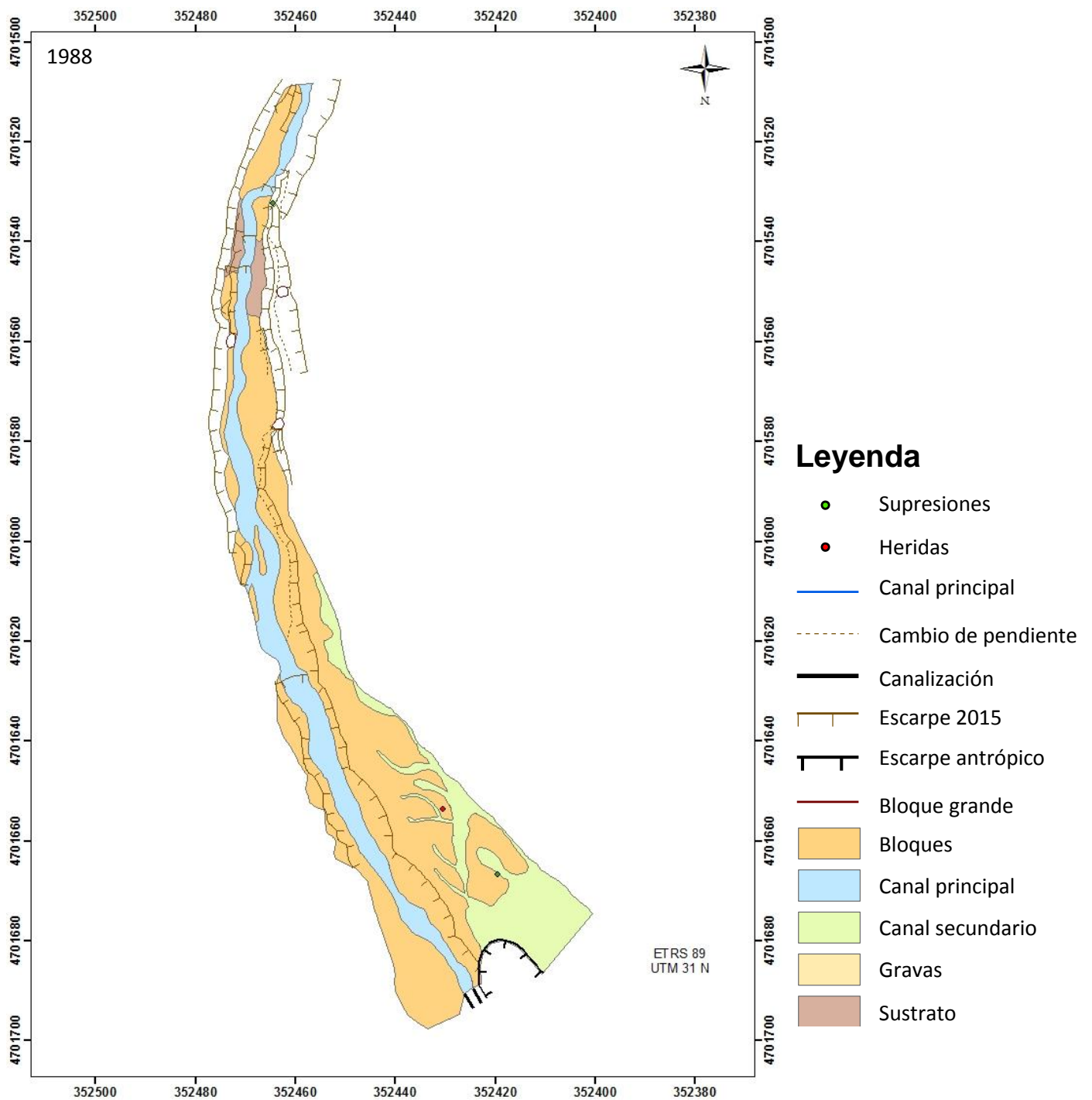
desbordar el canal principal, alcanzar esta posición y generar daños en el árbol.



**Fig.A3. 3.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 1976.

En el mapa del evento de 1976 (Fig. A3. 3) se pueden observar algunas evidencias más que en los casos anteriores. En este caso, se identifican tanto evidencias en el canal como en el cono. En el cono se observa una

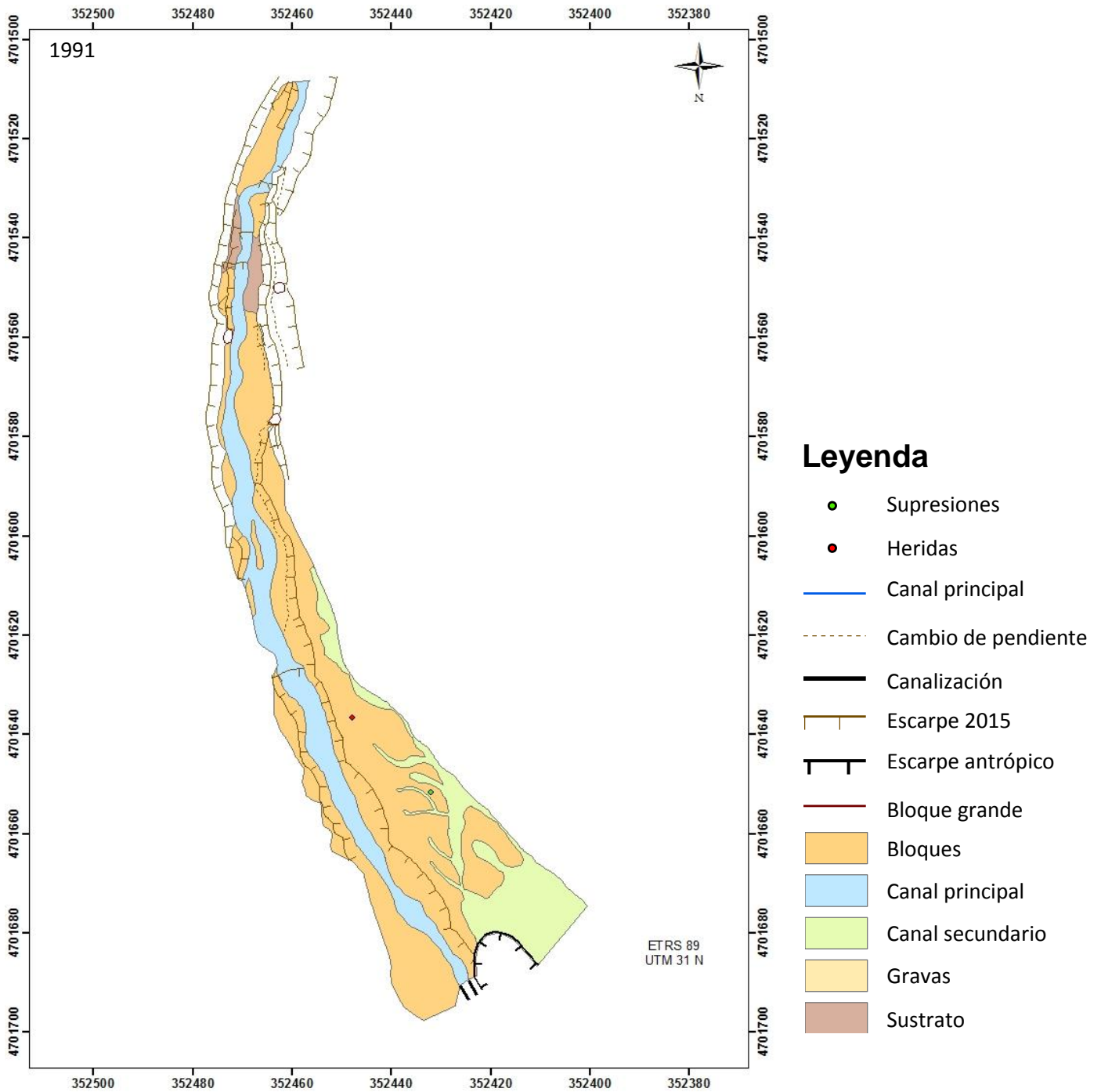
herida lo que una vez más indica que se trata de un evento suficientemente extenso, como para alcanzar esta posición y generar daños en los árboles.



**Fig.A3. 4.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 1988.

En el mapa del evento de 1988 (Fig. A3. 4) también se pueden observar evidencias tanto en el canal como en el cono, en el cual se identifica una herida, lo que indica que también se trata de un evento considerable

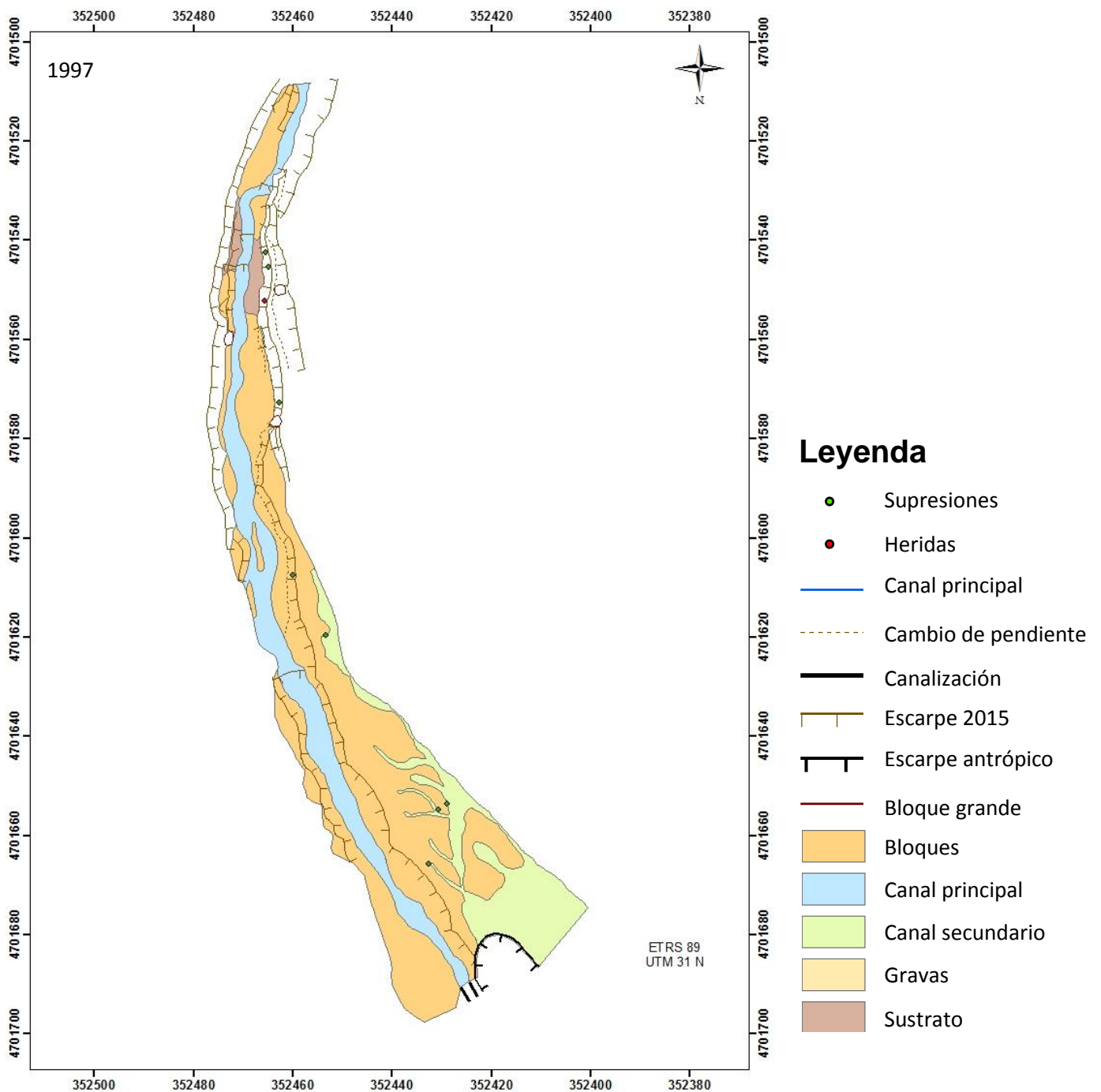
y extenso que desbordó el canal principal y generó daños en los árboles.



**Fig. A3.5.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 1991.

En el mapa del evento de 1991 (Fig. A3. 5) se pueden observar 2 evidencias localizadas en el cono. Una de ellas es una herida, lo que indica que el evento fue lo suficientemente extenso como para

desbordar y generar dicha herida, por lo que se clasifica como extenso.

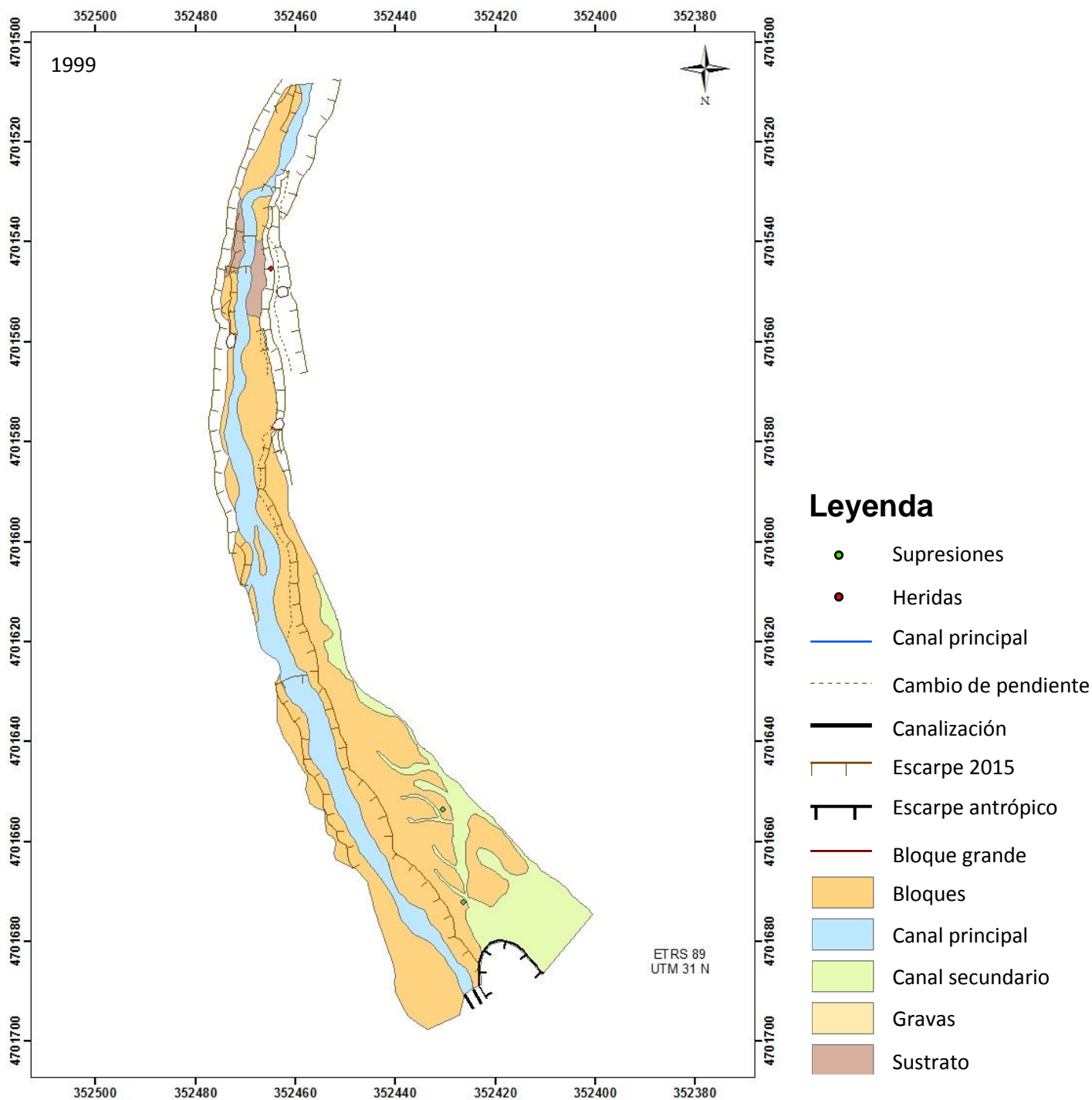


**Fig. A3. 6.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 1997.

En el mapa del evento de 1997 (Fig. A3. 6) se pueden observar un gran número de evidencias con respecto a los eventos anteriores, tanto a lo largo del canal como en el cono, lo que sugiere que se trata de un

evento posiblemente extenso, ya que no se observa ninguna herida en el cono.

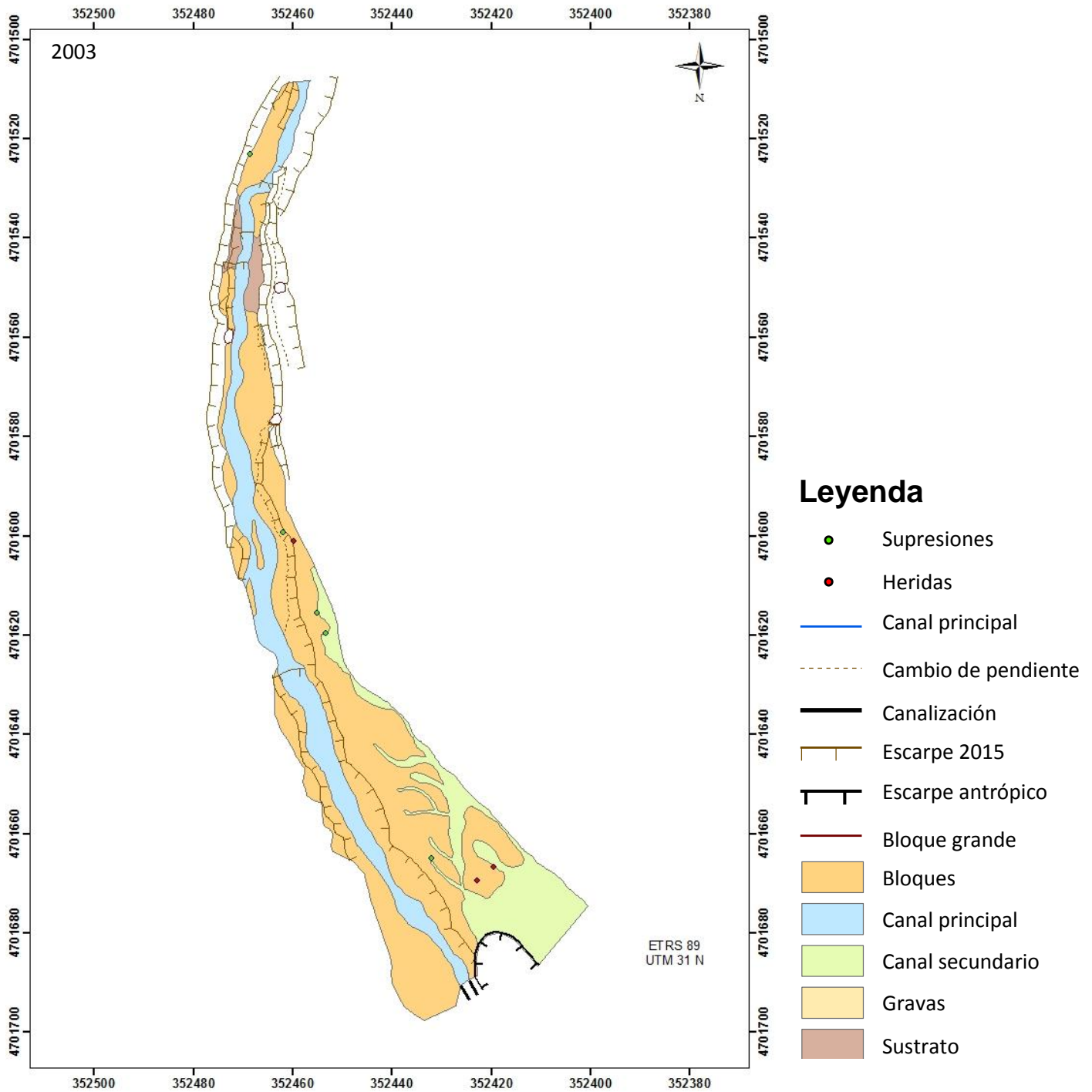




**Fig. A3.7.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 1999.

En el mapa del evento de 1999 (Fig. A3. 7) se pueden observar pocas evidencias. Una herida en el canal y dos supresiones en el cono, lo que indica que podría tratarse de un evento posiblemente extenso y que las heridas generadas por dicho evento en el

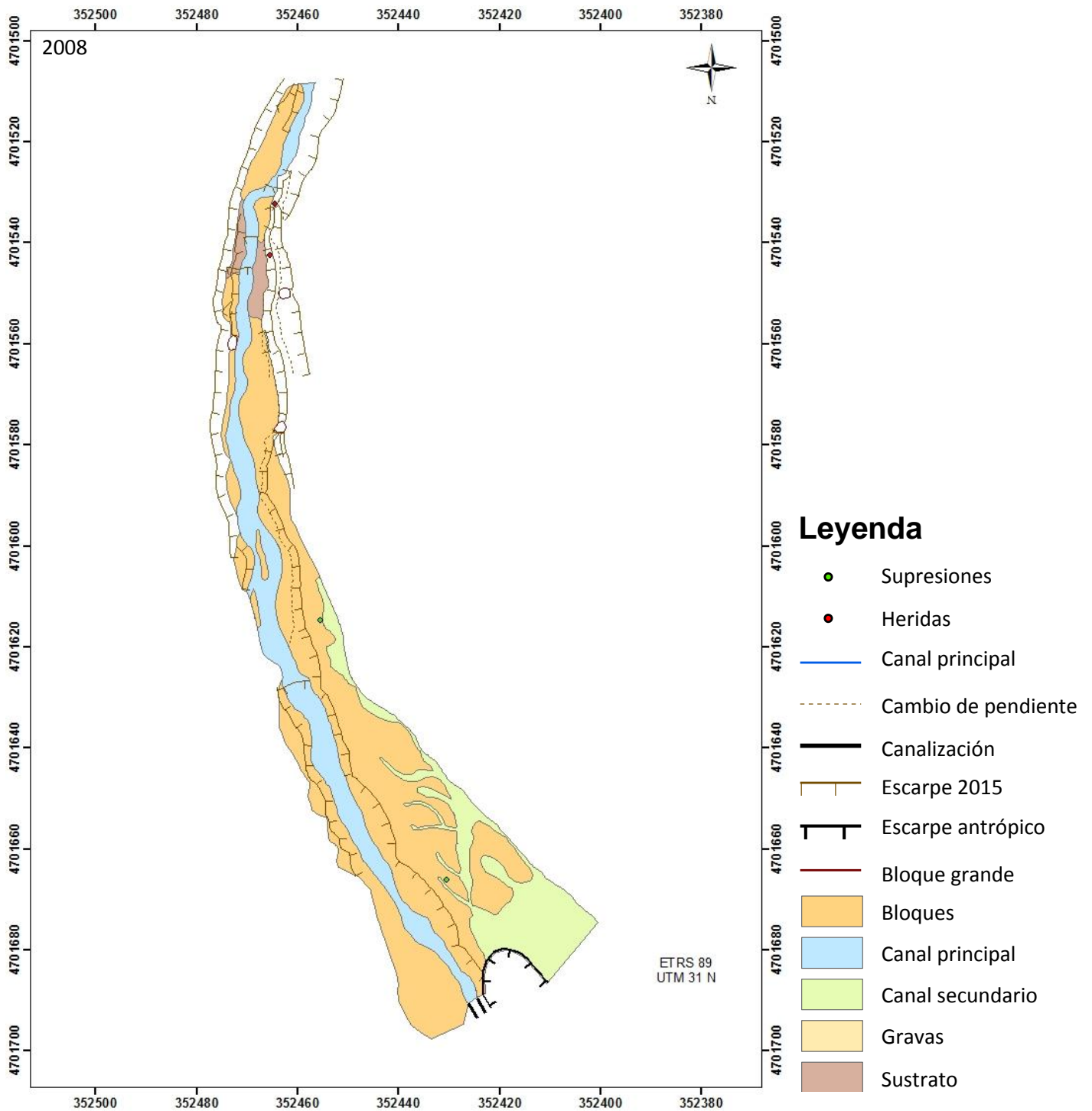
como hayan desaparecido con el tiempo, por ejemplo, por la muerte de los árboles.



**Fig. A3.8.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 2003.

En el mapa del evento del 2003 (Fig. A3. 8) se pueden observar 4 supresiones y 1 herida en el canal y 1 supresión y 2 heridas localizadas en el cono; estas últimas

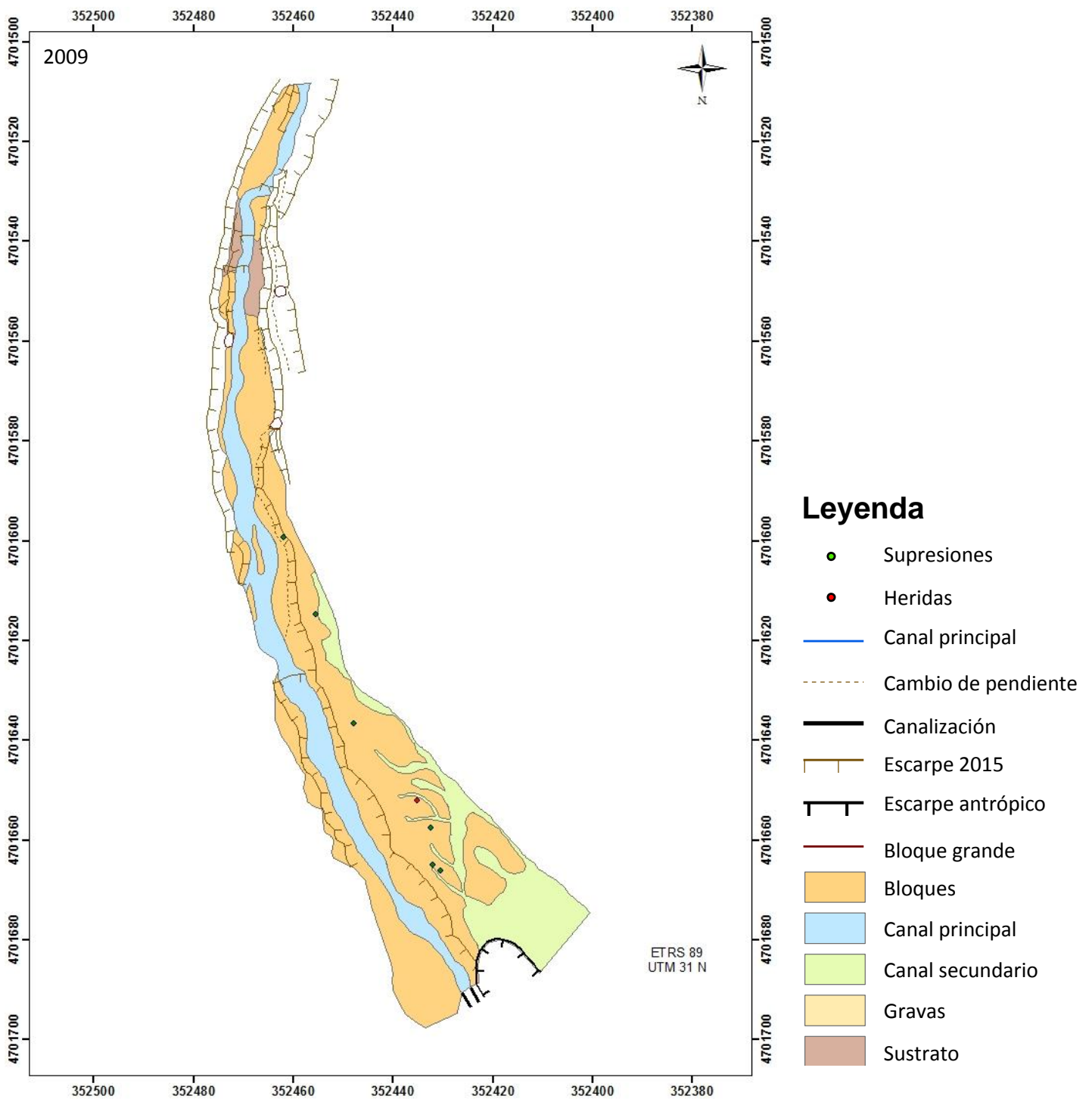
evidencias localizadas en el cono, indican que se trata de un evento extenso que desbordó el canal principal y generó las 2 heridas identificadas.



**Fig.A3. 9.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 2008.

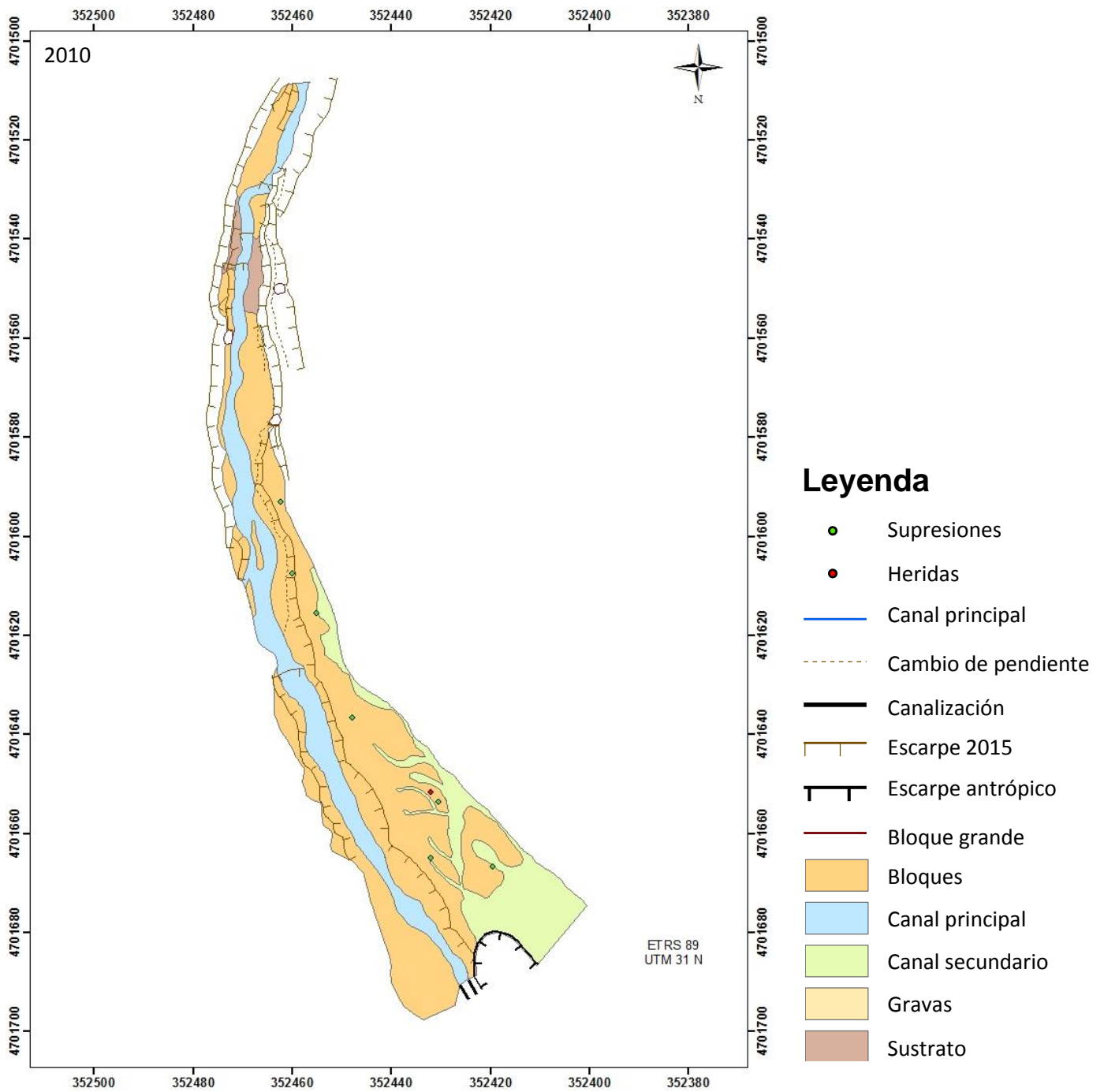
En el mapa del evento de 2008 (Fig. A3. 9) se pueden observar menos evidencias respecto al anterior. En este caso, se han identificado 2 heridas y una supresión en el canal y 1 supresión en el cono. Debido a la

falta de evidencias, este evento se podría catalogar como poco extenso o como un evento del que no se han identificado evidencias suficientes como para afirmar que es posiblemente extenso.



**Fig.A3. 10.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 2009.

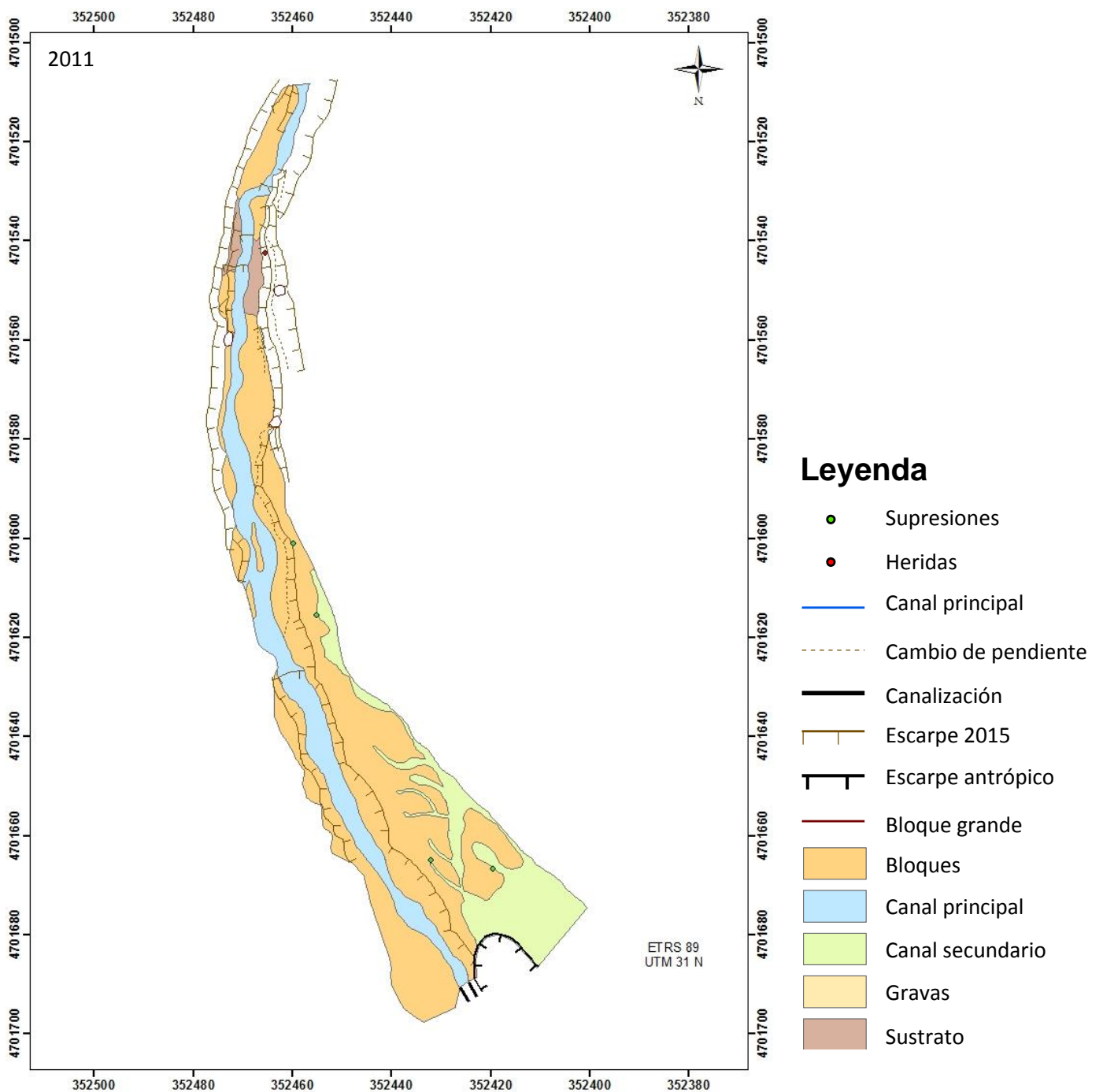
En el mapa del evento del 2009 (Fig. A3. 10) se puede observar que la mayoría de las evidencias en este caso se concentran en el cono, entre ellas 1 herida, lo que sugiere que se trata una vez más de un evento extenso y considerable.



**Fig.A3. 11.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el (o los) evento torrencial de 2010.

En el mapa del evento del 2010 (Fig. A3. 11) se puede observar que es muy parecido al del 2009, ya que la mayoría de las evidencias se concentran en el cono, entre ellas 1 herida, lo que sugiere que se trata de un evento extenso (en este caso, los datos

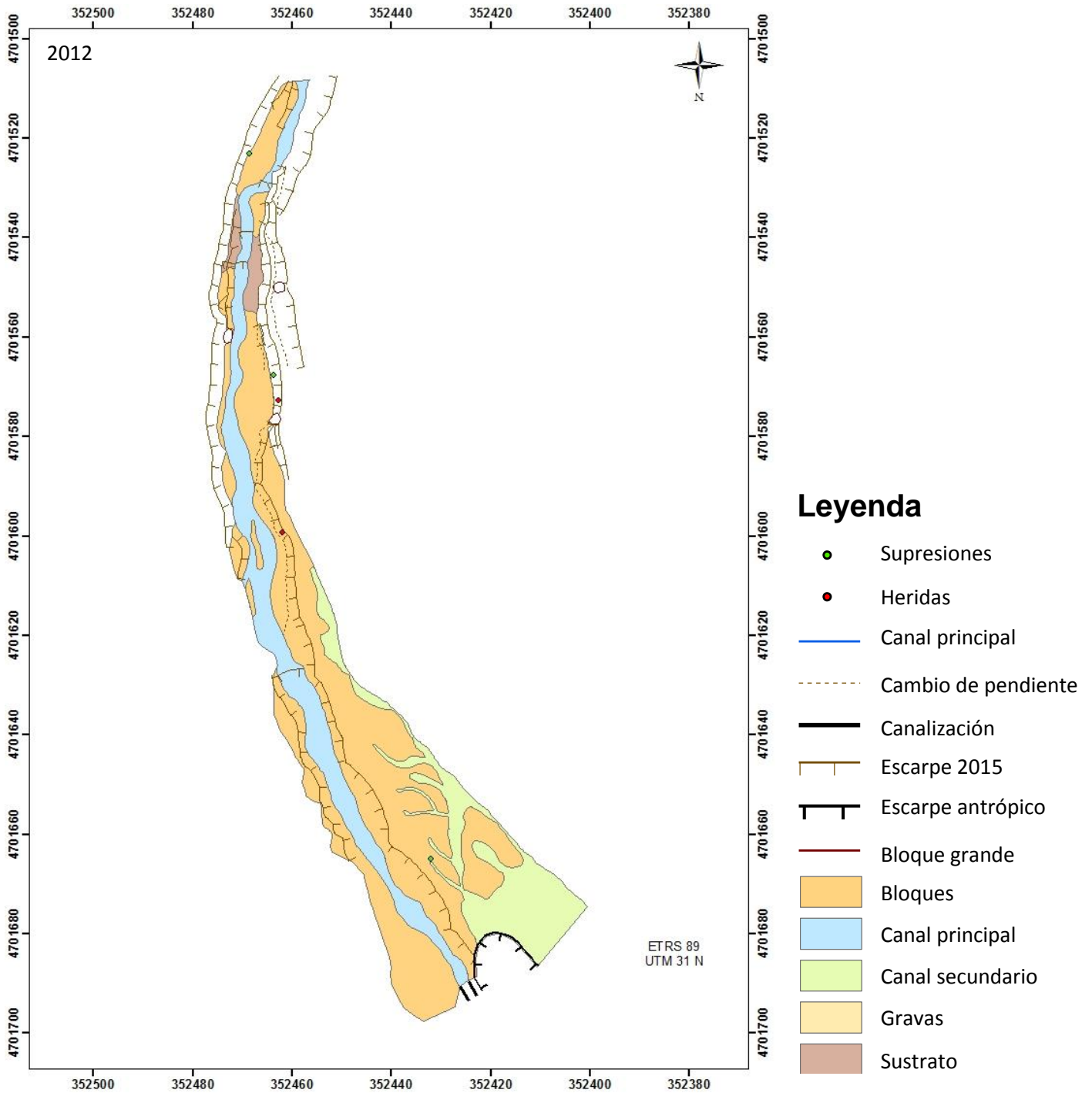
históricos nos indican que se produjeron 2 eventos).



**Fig. A3. 12.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 2011.

En el mapa del evento del 2011 (Fig. A3. 12) se puede observar que las evidencias están repartidas entre el canal y el cono, lo que indica que podría tratarse de un evento

posiblemente extenso del que no se han identificado heridas en el cono generadas por él.



**Fig. A3. 13.** Cartografía de formas y depósitos del barranco de Portainé junto con las evidencias dendrocronológicas generadas por el evento torrencial de 2012.

En el mapa del evento del 2012 (Fig. A3. 13) se puede observar que la mayoría de las evidencias y especialmente los árboles con heridas se concentran en el canal y solo una supresión se localiza en el cono. Debido a la falta de evidencias, este evento se podría

catalogar como poco extenso o como un evento del que no se han identificado evidencias suficientes como para afirmar que es posiblemente extenso.

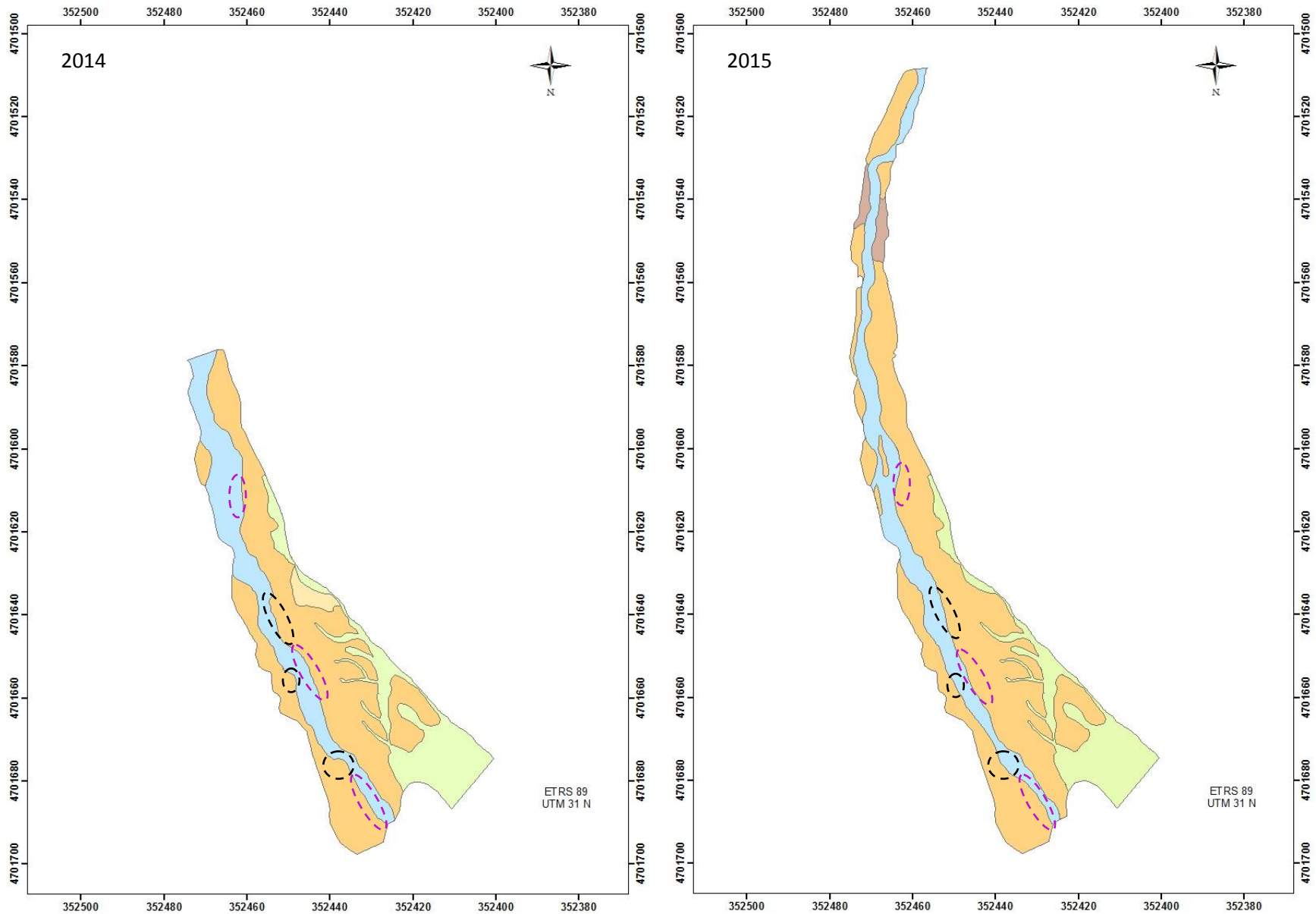
A continuación se presenta una tabla (Tabla A3. 1) en la que se clasifican los eventos según si a partir de los datos dendrogeomorfológicos son eventos extensos confirmados, eventos posiblemente extensos o eventos poco extensos o sin evidencias de gran extensión.

<b>Eventos extensos confirmados</b>	<b>Eventos posiblemente extensos</b>	<b>Eventos poco extensos o sin evidencias de gran extensión</b>
1968	1997	1967
1976	1999	2008
1988	2011	2012
1991		
2003		
2009		
2010		

**Tabla A3.1.** En esta tabla se han catalogado los eventos a partir de las cartografías realizadas, según si se trata de eventos extensos confirmados, eventos posiblemente extensos o eventos poco extensos o sin evidencias de gran extensión.

Comparando los mapas geomorfológicos del 2014 y 2015 se puede comprobar la intensa actividad que se da en este torrente (Fig. A3. 14), ya que al comparar el mapa realizado en 2014 con el mapa realizado en 2015 se pueden identificar zonas del canal principal donde se ha producido erosión y otras donde se ha producido sedimentación. De tal manera que el canal del Barranco de Portainé está sometido a cambios continuos. Cabe añadir que la campaña de 2014 se realizó en Marzo y con posterioridad se produjo el evento de finales de agosto, que no alcanzó el cono en forma de corriente de derrubios, pero pudo haber aportado cierta cantidad de agua y sedimento que favoreció los cambios que se observan.





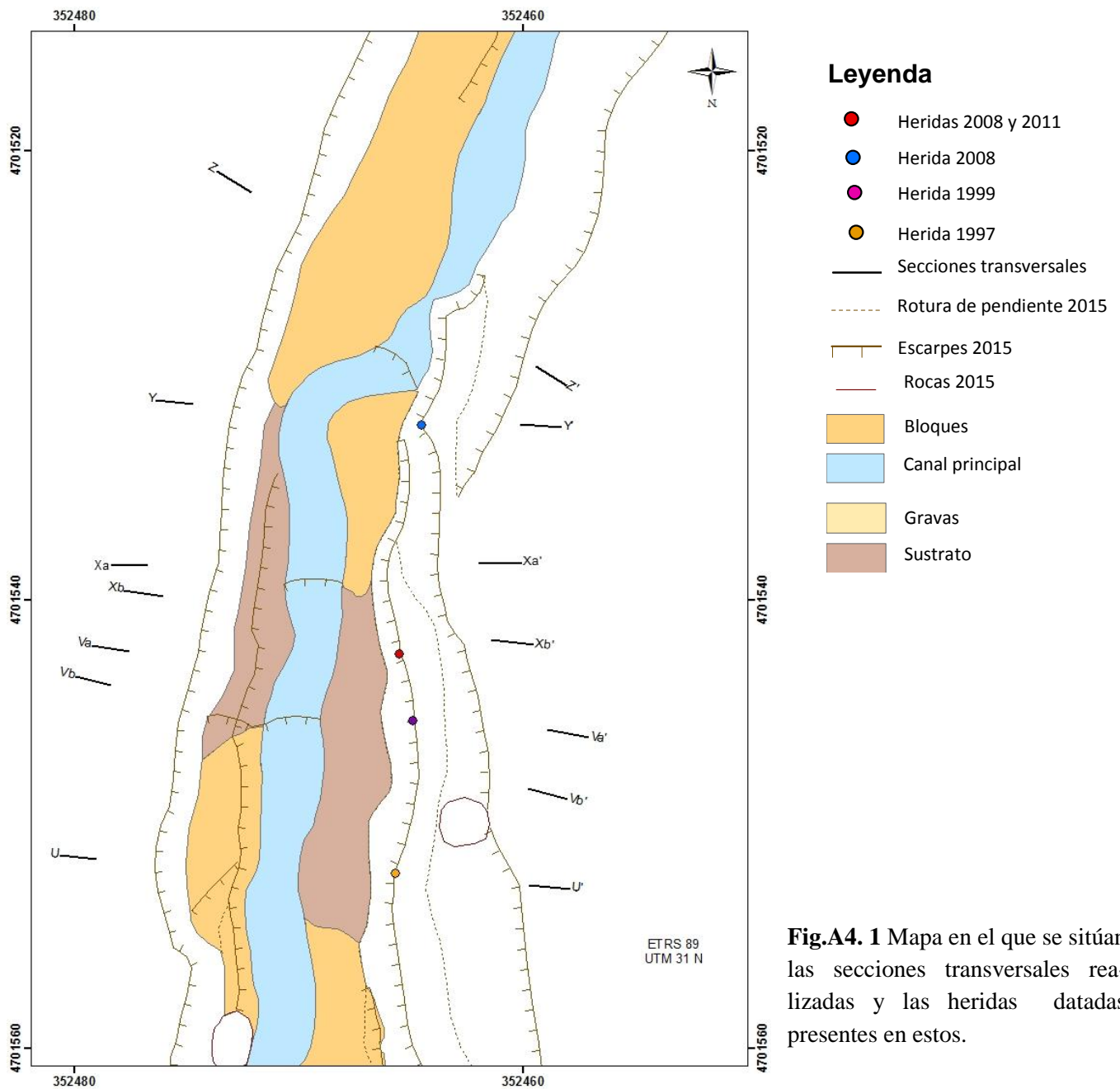
**Leyenda**

- Bloques
- Canal secundario
- Sustrato
- Canal antrópico
- Erosión entre 2014 y 2015
- Sedimentación entre 2014 y 2015
- Gravas

**Fig. A3.14** En estos mapas correspondientes a los años 2014 (izquierda) y 2015 (derecha) se pueden observar las formas y depósitos del área estudiada del barranco de Portainé, junto con las zonas donde se ha producido erosión/sedimentación.



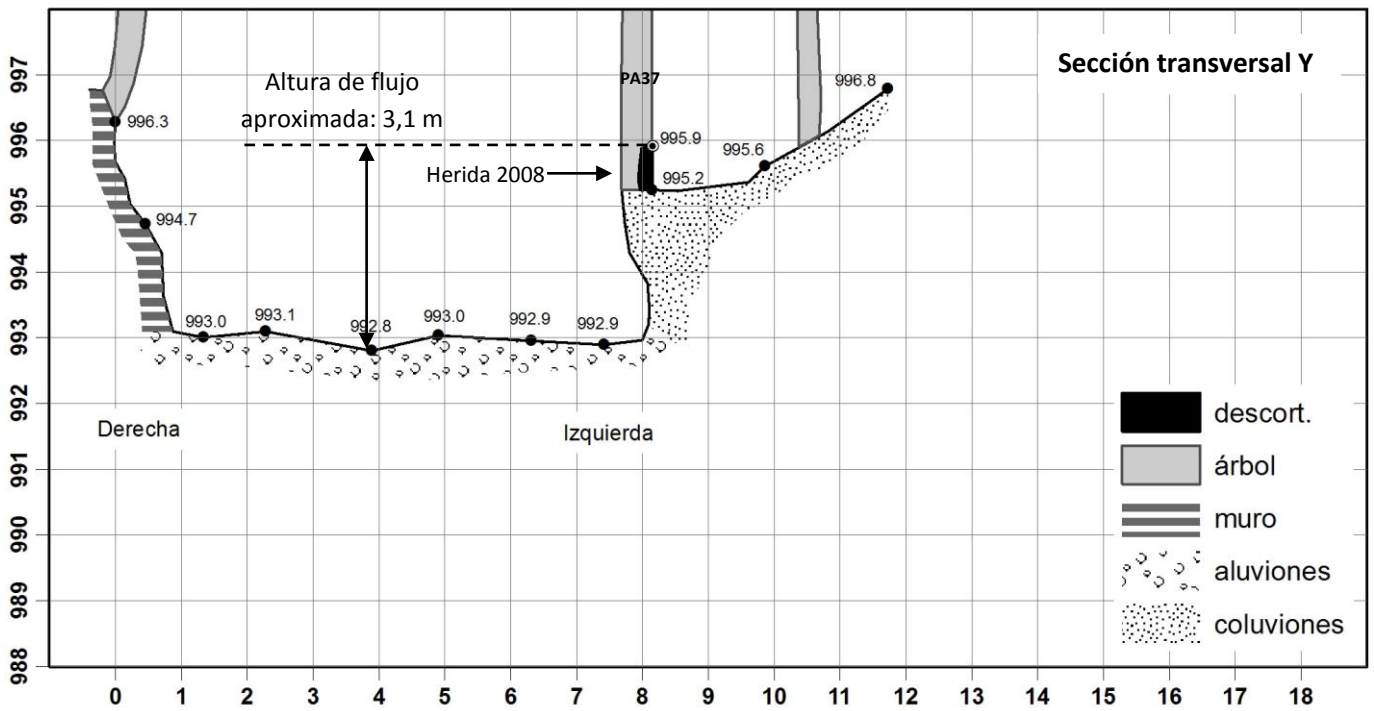
**Anexo 4. Secciones transversales al  
canal de Portainé realizadas  
durante la campaña de campo 2015**



**Fig.A4. 1** Mapa en el que se sitúan las secciones transversales realizadas y las heridas datadas presentes en estos.

Secciones transversales	Árbol	Año herida	Altura de flujo (m)
Y-Y'	PA37	2008	3,1
Xb-Xb'	PA38	2008-2011	3,5
Va-Va'	PA39	1999	3,5
U-U'	PA40	1997	3,8

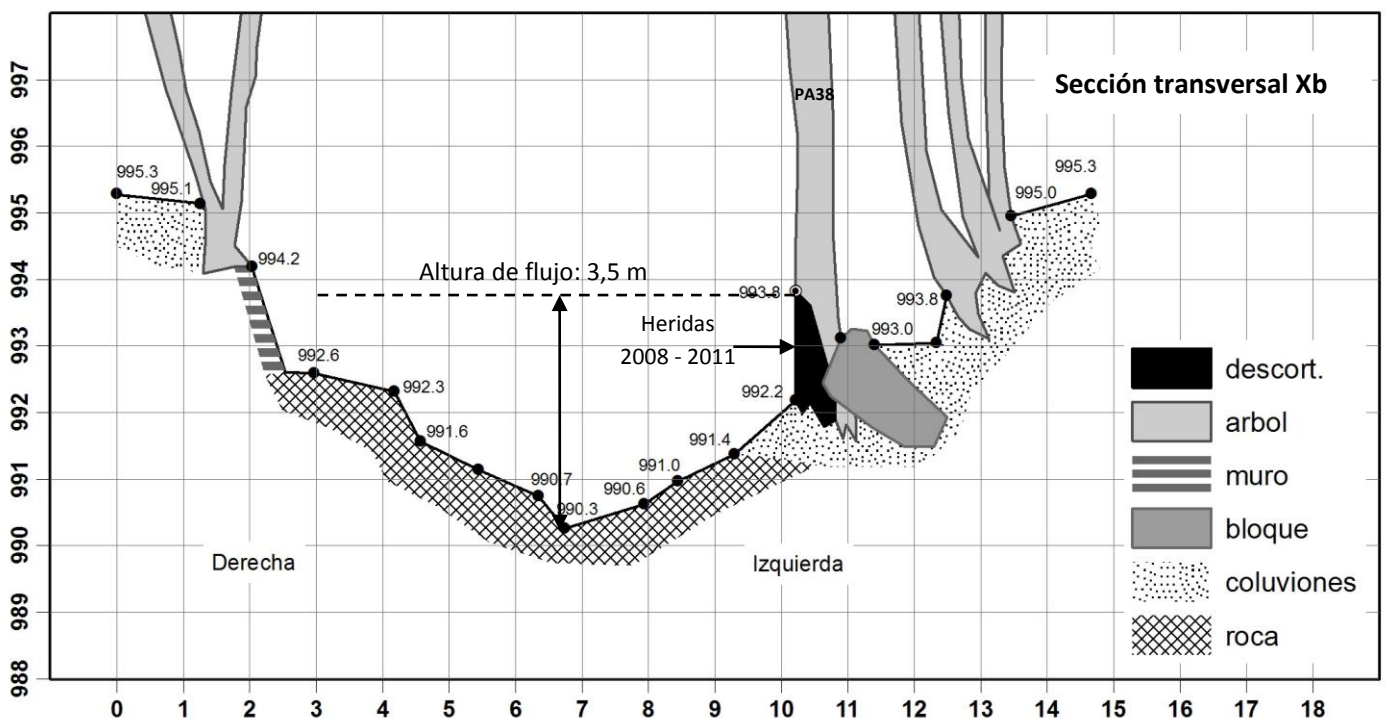
**TablaA4.1.** Tabla en la que se muestran los ejemplares con heridas datadas presentes en las secciones transversales y una medición de la altura de flujo que generó dichas heridas



**Fig.A4.2** Sección transversal Y-Y' al canal del barranco de Portainé, situado en la figura A4.1, en la que se ha estimado la altura de flujo o calado máximo para el evento datado (dibujo original: J. Calvet)

En la sección transversal Y-Y' se muestra una sección del canal de Portainé, donde se localiza el ejemplar PA37, el cual tiene una herida que mediante la dendrocronología se ha datado en 2008. La altura de flujo que pudo generar esta herida es de aproximadamente 3,1 m respecto el cauce.

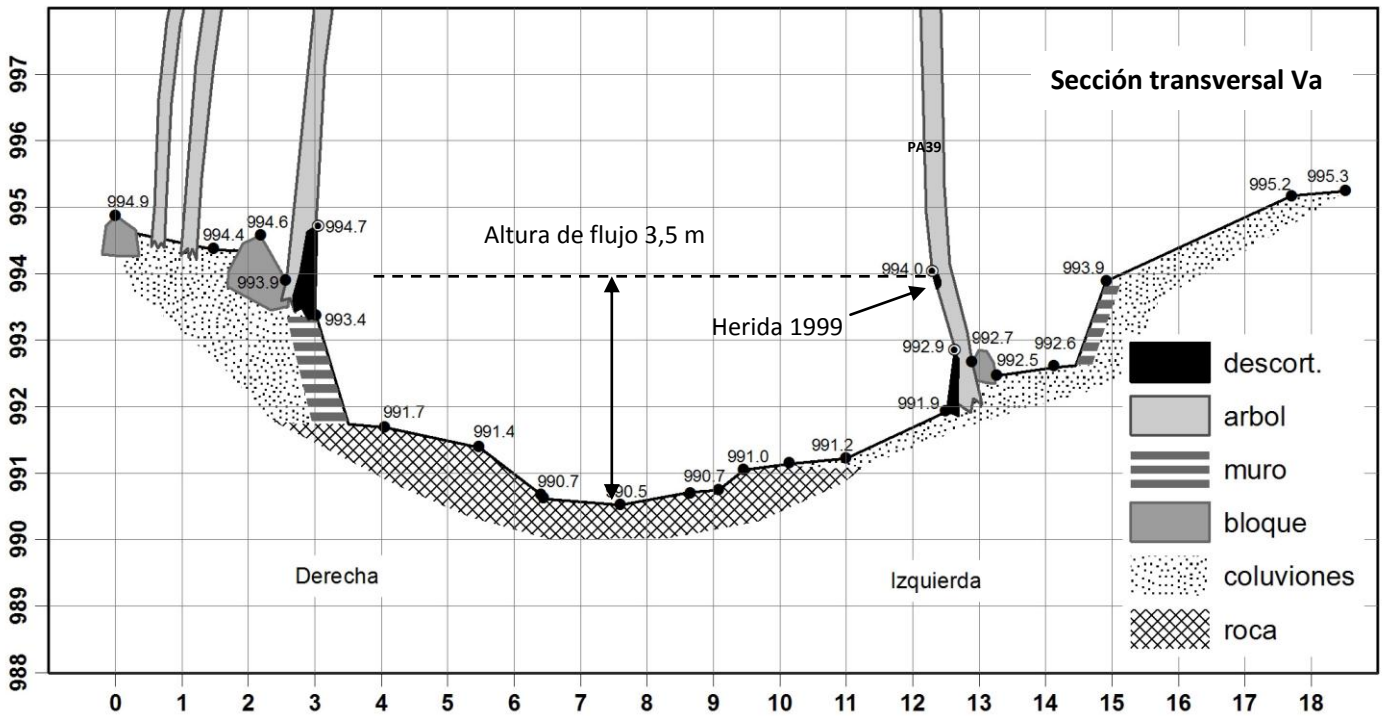
Cabe decir que se trata de una altura aproximada, ya que el cauce se encuentra cubierto por aluviones que pueden haber sido erosionados o depositados parcialmente entre el año de la herida y la actualidad.



**Fig.A4.3** Sección transversal Xb-Xb' al canal del barranco de Portainé, situado en la figura A4.1, en la que se ha calculado la altura de flujo o calado máximo para el evento datado (dibujo original: J. Calvet)

En la sección transversal Xb-Xb' se muestra una sección del canal de Portainé, donde se localiza el ejemplar PA38, éste presenta dos heridas que mediante la

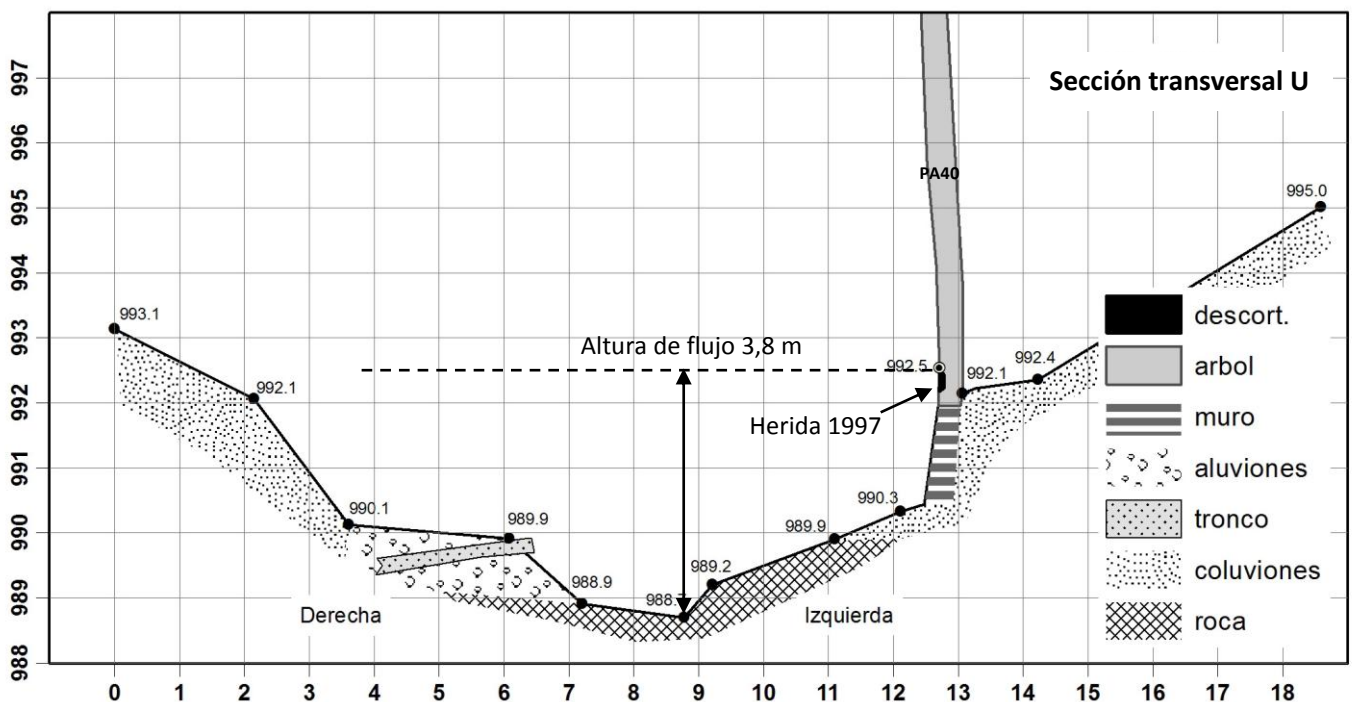
dendrocronología se han datado en 2008 y 2011. La altura o calado máximo del flujo que generó estas heridas es de 3,5 m respecto del thalweg.



**Fig.A4.4** Sección transversal Va-Va' al canal del barranco de Portainé, situado en la figura A4.1, en la que se ha calculado la altura de flujo o calado máximo para el evento datado (dibujo original: J. Calvet)

En la sección transversal Va-Va' se muestra una sección del canal de Portainé donde se encuentra el ejemplar PA39. Dicho ejemplar

presenta una herida datada en 1999. La altura o calado máximo del flujo que generó esta herida es de 3,5m respecto al thalweg.



**Fig.A4.5** Sección transversal U-U' al canal del barranco de Portainé, situado en la figura A4.1, en la que se ha calculado la altura del flujo o calado máximo para el evento datado (dibujo original: J. Calvet)

En la sección transversal U-U' se presenta una sección del canal de Portainé donde se localiza el ejemplar PA40, que presenta una herida datada en 1997. La altura del flujo que generó esta herida es de 3,8 m con respecto al thalweg.

Las secciones transversales al cauce que incluyen árboles con heridas permiten obtener las alturas de los flujos que causaron dichas heridas (en un caso, la altura aproximada por estar el lecho constituido por aluviones).

Estas alturas de flujo se sitúan entre los 3,1 m y 3,8 m (ver tabla 1), lo que indica, en una primera aproximación, que las tormentadas que generaron las heridas fueron de magnitudes similares o que podría existir un cierto control morfotopográfico de las avenidas.