

## **10.- CONCLUSIONES**

Las conclusiones principales que pueden extraerse del trabajo realizado por el Instituto Geológico y Minero de España pueden concretarse en los siguientes términos:

A) En relación con las formaciones superficiales (Cuaternario) y la morfología de la margen derecha del río Gállego en el paraje de La Raya (ladera oriental de la Peña Ruaba, Mallos de Murillo).

- Los materiales aflorantes en la ladera oriental de Peña Ruaba corresponden casi exclusivamente a depósitos de ladera, heterométricos, poco o nada cementados, originados por la erosión de los Mallos de Murillo.
  
- Los afloramientos de conglomerados de la ladera corresponden a grandes bloques procedentes de los mallos y desplazados de su posición original. Por litología (conglomerados de cantos poligénicos) corresponden a la unidad superior de conglomerados que ha sido reconocida en la Fm Uncastillo.
  
- Los afloramientos del sustrato terciario se reducen a pequeños afloramientos de la Fm margas de Arguis en la vaguada septentrional y a afloramientos de la Fm Uncastillo (en facies de areniscas, limolitas y lutitas con escasos niveles de conglomerados) que se sitúan en la

zona de deslizamiento reciente de la parte meridional de la ladera.

- Al coluvión se superponen algunos canchales semicubiertos en su parte superior. Pueden corresponder a depósitos ligados a la Pequeña edad del hielo, menos funcionales en la actualidad.
  
- La presencia de suelos rojos con calcificaciones en materiales heterométricos de la ladera (coluvión) indicaría un clima más cálido que el actual durante su formación o, más probablemente, posteriormente a ella.
  
- La ladera no está regulada y presenta una morfología con variaciones de pendiente notables, con escarpes en forma de anfiteatro y rellanos. Este hecho contrasta con las laderas perfectamente reguladas que se observan al pie de los mallos de Riglos en la vertiente opuesta. Esta falta de regulación y la morfología descrita sugiere inestabilidades de la ladera posteriores al depósito cuaternario principal (coluvión).
  
- Se han observado y cartografiado varios puntos de pérdida de drenaje en la parte media y alta de la ladera.

- No se han identificado restos de terrazas ni sedimentos fluviales relacionados con el Gállego en toda la ladera; tampoco en los sondeos realizados por el CEDEX.
- En los extremos norte y sur del coluvión principal se detectan problemas de estabilidad que están en relación con surgencias de agua muy importantes en ambas zonas y que proceden del drenaje del mismo.

En el extremo norte los problemas de estabilidad afectan a la carretera y están en relación con la presencia de un sustrato de margas impermeables y muy plásticas (Margas de Arguis); ha sido objeto de un estudio específico con sondeos (ENTECSA, 2002).

En el extremo meridional se reconoce un deslizamiento importante que movilizó a un volumen de 650.000 m<sup>3</sup> (Gómez, 2003). Este deslizamiento, cuya edad no es conocida pero que es reciente, probablemente histórico ya que se vincula al lecho actual del río, movilizó al sustrato terciario (Fm Uncastillo) en una posición estructural aparentemente poco favorable, por el buzamiento de las capas (subverticales y según la dirección de la ladera), pero con un diaclasado que buza según la pendiente de la ladera en una de las familias reconocidas. El deslizamiento dejó un depósito al pie bastante preservado en la ladera derecha y del que se conservan muchos bloques de

conglomerado en la margen izquierda del río (ver cartografía). Este hecho, junto con el cambio del perfil del río con el inicio de rápidos en este punto y la presencia de depósitos fluviales y/o torrenciales en la parte norte de los depósitos de pie de deslizamiento (aguas arriba del Gállego) apuntan en la dirección de que este deslizamiento taponó el curso del Gállego creando un pequeño embalse temporal.

- El espesor del coluvión principal es mayor en la zona alta del mismo donde los sondeos (S-5; S-8 y S-9) no parecen haber alcanzado su base. En la zona media de la ladera algunos sondeos llegan claramente a un sustrato terciario (Fm Uncastillo) en facies de areniscas y limolitas y los espesores de coluvión son mas reducidos (por ejemplo 20,20 m en el sondeo 11; ver Informe del CEDEX).

B) En relación con el sustrato terciario de la ladera:

- En la Fm Uncastillo se han diferenciado dos unidades. Con dos tipos de facies principales similares en cada una de ellas. Una facies está formada por conglomerados masivos con escasas intercalaciones arenosas, que corresponde a los depósitos apicales de los abanicos aluviales. La otra facies es de areniscas, limolitas, arcillas

con algunas intercalaciones conglomeráticas que corresponde a facies distales de abanicos aluviales y facies fluviales transversales. Las dos unidades se identifican por la posición estratigráfica y por la naturaleza de los cantos en los conglomerados.

- La unidad inferior presenta cantos casi exclusivamente de calizas del Luteciense (Fm Guara).
- La unidad superior presenta cantos poligénicos, principalmente calizas del Eoceno y Cretácico así como de areniscas del Eoceno (Guara, Campodarbe), Cretácico y otras litologías menos abundantes.
- La sedimentación de la Fm Uncastillo es sintectónica. Esto es, la deformación de la unidad disminuye hacia techo reconociéndose una discordancia progresiva general con discordancias angulares en algunos puntos. La parte superior de los conglomerados es discordante sobre la formación Uncastillo en facies mas distales (ver cartografía geológica).
- El cambio lateral de facies, desde conglomerados a areniscas y limolitas es muy rápido. Esto se observa tanto a nivel de afloramiento como en los sondeos de tal forma que en la parte media y baja de la ladera la Fm

Uncastillo in situ tiene facies de areniscas, limolitas y lutitas.

- Los componentes de los conglomerados y areniscas son en gran parte carbonáticos lo que favorece la karstificación que se ha observado tanto en los afloramientos como en los sondeos.

C) A nivel de estructura :

- El Cuaternario de la ladera se dispone sobre margas azules de la Fm margas de Arguis en la parte norte y sobre areniscas, limolitas y lutitas de la Fm Uncastillo en el resto. La traza aproximada del contacto se ha señalado en la cartografía. Solo la parte alta del coluvión puede descansar sobre conglomerados (que no han sido identificados claramente in situ en los sondeos).
- La estructura general del sustrato de la ladera corresponde a un gran sinclinal vergente al sur, con un flanco inverso muy vertical y un flanco normal subhorizontal. Se reconoce una charnela sinclinal en la Fm Uncastillo, muy próxima al contacto con la Fm margas de Arguis (margen izquierda del río), un pliegue menor con charnela anticlinal en los afloramientos del río, inmediatamente al norte del deslizamiento

meridional, y la charnela sinclinal principal situada al sur de la zona estudiada (ver mapas y cortes).

- Hay dos sistemas de diaclasas desarrollados a escala cartográfica que tienen dirección N-S y E-W con ángulos de buzamiento elevados (subverticales) que se encuentran abiertas por procesos de karstificación según estos planos. Además se han observado distintos sistemas a escala de afloramiento, entre las que están la N-S y E-W subverticales pero con un espaciado mas denso, y además una familia subhorizontal, otra familia N-S con ángulos de buzamiento entre 20 y 40° hacia el Este, un sistema E-W a ESE con inclinaciones de 20-50° hacia el Sur conjugado entre sí. Y, localmente en el flanco normal se ha observado un sistema NNW subvertical.

D) en relación con el Estudio Hidrogeológico:

- La naturaleza geológica del subsuelo (coluvión y Fm Uncastillo) sugiere un funcionamiento acuífero del tipo multicapa, con potenciales hidráulicos fijados por las cotas de descarga de cada nivel productivo, lo que justifica el hecho de que los valores de los gradientes hidráulicos detectados entre los sondeos de reconocimiento alcancen valores de hasta 1,01 pese a su proximidad.

- La permeabilidad global es media o baja, aunque son los niveles de mayor granulometría los que facilitan el flujo subterráneo por su porosidad secundaria y por el espaciado de la fracturación. También, el deslizamiento y movimiento de masas dentro de este depósito puede contribuir a que localmente se creen en el medio condiciones de permeabilidad más favorables, que facilitan la circulación y canalización preferente de los flujos subterráneos de la ladera. Respecto a las calizas eocenas de Guara su permeabilidad es de grado medio por fracturación.
  
- Se han identificado once puntos de agua en la zona de estudio y tres en un entorno próximo. En el inventario se han incluido además otros cuatro sondeos de reconocimiento donde se han obtenido medidas de nivel piezométrico.
  
- Ocho puntos son manantiales con caudales comprendidos entre 0,2 y 10 L/s; el caudal más elevado corresponde a las calizas de Guara mientras que las formaciones terciarias aportan caudales no superiores a 2 L/s. Otros cuatro puntos responden a surgencias de carácter difuso y caudal inferior 3 L/s, y dos puntos son rezumes o zonas de humedad sin caudal aparente.

- La profundidad de los niveles piezométricos medidos en los sondeos y las cotas absolutas de sus potenciales determinan la existencia en la ladera de tres niveles acuíferos. El nivel más superficial, atravesado por el sondeo S-7, se localiza a unos 580 m s.n.m., tendría un flujo hacia el NE y sería parcialmente drenado por los manantiales 281060017 y 281060016, así como por el 281060018, hacia el N, si se admite que el sondeo S-6 intercepta a este mismo nivel acuífero. Un segundo acuífero proporciona un nivel calificado como intermedio que sería interceptado por los sondeos S-10, S-14, y acaso por el S-6, a una cota de 547-574 m s.n.m., que con un sentido de flujo ENE sería drenado, entre otros, por los puntos 281060022, 281060019 y 281060020. Un tercer nivel acuífero es atravesado por el sondeo S-11 con características confinadas, que sitúa su nivel piezométrico entre los 479-486 m s.n.m.
  
- El quimismo de las aguas subterráneas contribuye a diferenciar estos niveles acuíferos en función de una composición y unas características ligeramente diferentes. Mientras que el nivel superficial tiene una mineralización débil entre 135 y 203 mg/L, el nivel intermedio tiene una mineralización de 270 mg/L que aumenta hasta los 343 mg/L en el nivel profundo. Las facies son bicarbonatadas cálcicas en los dos primeros y de tipo mixto en el nivel confinado inferior.

- A partir de las concentraciones de tritio analizadas en los sondeos S-7 y S-11 se determina que la edad del agua es actual o a lo sumo recargada durante los últimos cuatro o cinco años.
  
- Se establece por tanto un régimen de circulación rápida del agua y corta trayectoria de flujo, con recarga del agua de lluvia en la propia ladera de estudio y sobre las formaciones de conglomerados masivos situados hacia el este. Estos recurso se transfieren lateralmente hacia los niveles de alternancias de areniscas, limolitas y conglomerados, presentes bajo el coluvión de la ladera, constituyendo el río Gállego el nivel de base y receptor último de todos los flujos subterráneos.

D) En relación con la interpretación de la ladera:

En primer lugar debe afirmarse que, en la interpretación de la ladera, no hay unanimidad ente los especialistas de las diversas Instituciones, así como entre los consultores, que han intervenido en las actuaciones que se llevaron a cabo en otoño de 2003. Para el origen del coluvión pueden presentarse dos hipótesis sin que quepan muchas soluciones intermedias.

- El peor de los escenarios, entendido como tal el mas desfavorable, nos situaría ante un deslizamiento antiguo

como el origen del gran espesor de coluvión de la ladera. Este coluvión se encuentra drenado por los extremos que son las zonas que presentan los mayores problemas actuales de estabilidad. Ésta es la interpretación que refleja la cartografía de Arenas (1993). El deslizamiento se habría visto favorecido por el diaclasado N-S subvertical (con ligero buzamiento al Este), por la acción kárstica del agua al infiltrarse por este sistema, y por la existencia de una discordancia entre los conglomerados superiores y las facies de areniscas, limolitas y arcillas de la Fm Uncastillo (ver cartografía). Para ello sería necesario que la Fm Uncastillo pudiera desestabilizarse lo cual parece probado por el deslizamiento del extremo meridional. El mayor problema que presenta esta interpretación es que no se ha identificado por el momento en los sondeos una superficie clara de despegue que pueda ser la antigua base del deslizamiento aunque si se ha encontrado tramos muy deformados con brechas y slikensides (S-7; S-11; S-12) y buzamientos anómalos de la Uncastillo en algunos sondeos (S-13; S-14) (ver fichas de sondeos del Informe del CEDEX y comparar buzamientos con mapa geológico).

- El supuesto mas favorable, que se apuntó en alguna de las reuniones del Proyecto por Joan Escuer, consistiría en suponer una génesis del coluvión por caída y reptación

de grandes bloques según el modelo de formación de mallos de Benito (1986). Para explicar el espesor del coluvión sería necesaria una erosión previa por parte del río con gran meandro bajo los mallos de Murillo en un momento de la historia pleistocena con el nivel del río mucho mas alto que el actual. Este modelo permitiría suponer un coluvión antiguo colgado sobre el nivel actual del río y en cuya génesis solamente habría intervenido caída de bloques y reptación superficial (sin deslizamientos rotacionales). El mayor inconveniente de este modelo es la ausencia de depósitos fluviales, fácilmente preservables bajo un manto de bloques caídos (no se han identificado ni en superficie ni en sondeos), y la falta de regulación que presenta la ladera que parece indicar su inestabilidad con posterioridad a la formación del depósito.

En cualquiera de los supuestos el modelo geológico es bastante claro en cuanto a la definición del depósito y su caracterización en superficie. La investigación futura para mejorar el conocimiento del modelo geológico, con incidencia en la evaluación de riesgo, debe dirigirse a:

- definir mejor el límite entre coluvión y sustrato terciario que permita la descripción de la misma, despejar posibles dudas sobre el origen del coluvión y la ubicación del mismo.

- resolver el origen de la deformación que presenta la Fm Uncastillo en alguno de los sondeos.

Otro de los déficits en el conocimiento geológico, que no es fácil de resolver, es la ausencia de dataciones que permitan dar respuesta a estas cuestiones importantes: a) si el depósito principal responde a un deslizamiento, ¿cuándo se produjo?, b) ¿en que fecha se produjo el deslizamiento del extremo meridional de la masa principal?. Para la primera pregunta no hay ahora mismo una respuesta consensuada ni siquiera sobre si es o no un gran deslizamiento. En este sentido la posible datación va unida a establecer, en caso afirmativo, ¿cual fue el mecanismo? ¿un colapso rotacional brusco o una reptación gravitacional lenta y perdurable en el tiempo?. En todo caso es antiguo, desligado del cauce actual que está mas incidido, aunque probablemente posterior a la génesis de la terraza T4 (datada aproximadamente de 35.000 a 40.000 años BP, Sancho, comunicación personal) dada la ausencia de restos de la misma en la ladera.

A partir del conocimiento geológico obtenido con este Estudio se pueden realizar las siguientes recomendaciones encaminadas al estudio de riesgo geológico:

- obtener un mejor conocimiento del comportamiento actual de la ladera, aspecto que debe ser aportado por los inclinómetros que han sido instalados. Es muy importante dada la falta de regulación que presenta y la inestabilidad detectada en sus extremos.

- Establecer en que condiciones puede desestabilizarse el sustrato de la Fm Uncastillo tal y como ocurrió en el deslizamiento reciente situado en el extremo meridional de la masa coluvional.
  
- Establecer como puede comportarse la ladera con los cambios introducidos, en sus condiciones físicas, por las modificaciones asociadas a las actuaciones previstas, especialmente en las variaciones de los niveles freáticos.