

Crisis tectónicas cuaternarias en la cuenca de Madrid

Madrid basin Quaternary tectonic crisis

J. L. Giner (*), G. De Vicente (*), A. Pérez González (*), J.G. Sánchez Cabañero (***) y L. Pinilla

(*) Dpto. de Geodinámica, Facultad de CC. Geológicas, Univ. Complutense, 28040 Madrid
 (***) Consejo de Seguridad Nuclear, Justo Dorado nº11, 28040 Madrid

ABSTRACT

Quaternary sediment deformation structures of Madrid Basin have been analyzed. We get a high symmetry degree in deduced stress tensor trends, concluding that there are a regional stress field with NW-SE S_{max} trend. Local stress field (NE-SW) is also deduced. This deformational process has been active since Middle-Upper Miocene, and it is still active as can be seen from seismological data. Largest deformation structures occur in the centre of the basin, where gypsum outcrops appear. It seems that halokynetics processes potentiated this tectonic deformation. Analyzed areas and ages of deformed quaternary sediments, leads us to the conclusion that intense faulting occurred in Lower-Middle Pleistocene. Related paleoseismic structures appear.

Key Words: Madrid Basin. Neotectonics. Fault populational analysis. Paleoseismicity. Quaternary.

Geogaceta, 20 (4) (1996), 842-845
 ISSN: 0213683X

Introducción

En la Cuenca sedimentaria Terciaria de Madrid, se observan numerosas estructuras de deformación que afectan a materiales recientes (Mioceno superior-Cuaternario).

Tradicionalmente, gran parte de estas estructuras se han atribuido a procesos halocinéticos (Martín-Escorza, 1979). No obstante, la relación entre estas deformaciones y los grandes lineamientos de la cuenca con fallas de primer orden, que afectan a toda la corteza superior, ya fue puesta de manifiesto por los trabajos clásicos de Alía y colaboradores (Alía, 1960).

En este estudio se analizarán las pautas geométricas y dinámicas, origen y edad de las deformaciones presentes en la Cuenca de Madrid. Con todos estos datos se intentará describir el marco neotectónico que afectó a la Cuenca de Madrid durante el Cuaternario.

Situación geológica

En la Cuenca intracratónica de Madrid, (Fig. 1) la sedimentación terciaria ha venido condicionada de forma directa por la actividad tectónica de los bordes de la cuenca (De Vicente *et al.*, 1996; Calvo *et al.*, 1996). Pueden distinguirse tres momentos de deformación principales (fases) que condicionan el relleno sedimentario (De Vicente *et al.*, 1996): *Fase Ibérica*, en relación a esfuerzos transmitidos desde el Pirineo. Su edad es Eoceno-Mioceno inferior. *Fase Altomira*, con un acortamiento máximo según N110°E. No es activa en el Mioceno medio. *Fase Guadarrama*

(Bética), es la responsable del levantamiento del Sistema Central durante el Mioceno medio-superior. La dirección de máximo acortamiento horizontal se sitúa en N155°E.

Los procesos de extensión radial, muy visibles desde la Cordillera Ibérica hasta el Mar Mediterráneo, son menos evidentes en la zona que nos ocupa. Este proceso estaría relacionado con la apertura del Golfo de Valencia y comenzaría ya en el Mioceno inferior-medio.

En la Cuenca de Madrid, la corteza superior aparece flexurada con un eje NE-SO, paralelo al Sistema Central, que se sitúa entre los cursos de los ríos Tajuña y Tajo Van Wees, (1994), donde las potencias de los rellenos sedimentarios son menores (Fig. 2).

La cuenca, que fue endorreica desde el Oligoceno hasta el Mioceno medio, cambia a exorreica en el Mioceno superior (Calvo *et al.*, 1996). Durante el Plioceno se aprecia un progresivo basculamiento hacia el OSO que queda puesto de manifiesto en la red fluvial cuaternaria. Este basculamiento aparece claramente ligado a la Cordillera Ibérica y podría estar relacionado con el proceso de "rifting" tardío en el golfo de Valencia. En cualquier caso esto se traduce en un levantamiento generalizado de la parte este peninsular durante el Plioceno (Janssen *et al.*, 1993).

Análisis de la fracturación reciente

Se han estudiado las deformaciones presentes en materiales de edad Mioceno superior-Cuaternario de la Cuenca de Madrid, aunque cabe destacar que las edades de las deformaciones ob-

servadas en materiales cuaternarios parecen corresponder, en su mayor parte, al tránsito Pleistoceno inferior-medio, en el río Tajo; y a la mitad del Pleistoceno medio en el río Jarama.

El análisis realizado ha consistido, fundamentalmente, en la determinación de estados de paleoesfuerzos, utilizando distintos métodos de Análisis Poblacional de Fallas (*Modelo de Deslizamiento*, Reches, 1983 y De Vicente, 1988; *Método de Inversión de Esfuerzos*, Reches *et al.*, 1992; *Método de Etchecopar*, Etchecopar *et al.*, 1991; y *Método de los Diedros Rectos*, Angelier y Mechler, 1977).

Para ello, se han establecido 36 puntos de control estructural, en los que se han realizado 30 estaciones de análisis microestructural, con un total de 681 datos, de los que 491 corresponden a planos de falla con estrías. Los resultados obtenidos del análisis mediante los diferentes métodos de análisis poblacional de fallas, indican dos modas muy constantes en la dirección de máximo acortamiento horizontal (Dey): una con un acortamiento N140°±11° (moda 1), y otra N53°±13° (moda 2) (Fig. 2).

Considerando la aleatoriedad y variedad en la situación geográfica, litológica y estructural de las estaciones de análisis, la actividad tectónica es el único proceso que puede explicar la homogeneidad a escala regional observada en los resultados. No obstante, cabe destacar que en muchos casos la deformación puede aparecer potenciada por la presencia de procesos halocinéticos.

La orientación de máximo acortamiento horizontal deducida para la moda 1, es asimilable al campo de esfuerzos Guadarrama (Capote *et al.*,

1991. De Vicente *et al.*, 1996), de edad Mioceno medio-superior. Así mismo, del análisis de la sismicidad actual en la Cuenca de Madrid (Giner, 1996), se deduce un campo de esfuerzos regional con una dirección de máximo acortamiento paralela a la determinada en el análisis microestructural para la moda 1. De la relación ortogonal entre las dos modas establecidas en el análisis microestructural y su presencia en materiales de cualquier edad; se puede inferir que la moda 2, es el resultado de la permutación de los ejes de esfuerzo principales del campo de esfuerzos regional definido por la moda 1. Esta situación se ha observado también en zonas próximas (Rincón, 1995; Medina, 1995).

Por lo tanto, se deduce que el régimen de esfuerzos en la Cuenca de Madrid es constante desde el Mioceno medio hasta la actualidad, y está caracterizado por un tensor de esfuerzos de tipo direccional, con una dirección de máximo acortamiento horizontal según $N140^{\circ}-150^{\circ}E$ (De Vicente *et al.*, 1996).

Los depósitos cuaternarios de la Cuenca de Madrid

Una característica principal de los valles fluviales de la Cuenca de Madrid es el elevado número de terrazas construidas durante el Cuaternario. Estas terrazas, con geometrías escalonadas en sección cuando los ríos drenan los detríticos terciarios, cambia a dispositivos aluviales hundidos con terrazas encajadas e invertidas cuando los ríos discurren por las facies químicas de la cuenca. Estos modelos de control primario litológico-estructural están bien representados en los cursos bajos de los ríos Manzanares y Jarama, y en el Tajo desde Aranjuez hacia aguas arriba. Fenómenos de karst subyacente controlan estas geometrías aluviales subsidentes, que llegan a alcanzar espesores de hasta 100 o más metros en las cercanías de Fuentidueña de Tajo (Pinilla *et al.*, 1995).

La terraza "+15-20 m." de edad Pleistoceno medio (Pérez-González, 1971, Pérez González *et al.*, 1980), forma una secuencia subsidente e invertida, de la misma manera que en el valle del Tajo el nivel a +60 (Pinilla *et al.*, 1995) (Fig.3), de cronología Pleistoceno inferior-medio, ha estado sujeto a procesos de hundimiento sinsedimentario en la parte central de la cuenca. Las variaciones que han influenciado estos procesos son junto con la tectónica, la litología yesífera del sustrato y el clima.

Evidencias de paleosismicidad cuaternaria en la Cuenca de Madrid

En los alrededores de Arganda, al SE de Madrid, los sedimentos que forman las terrazas hundidas a "+15-20m" del río Jarama, Arganda I y II (mitad del Pleistoceno medio) aparecen fuertemente deformados, con discordancias angulares generalizadas entre estos materiales y los su-

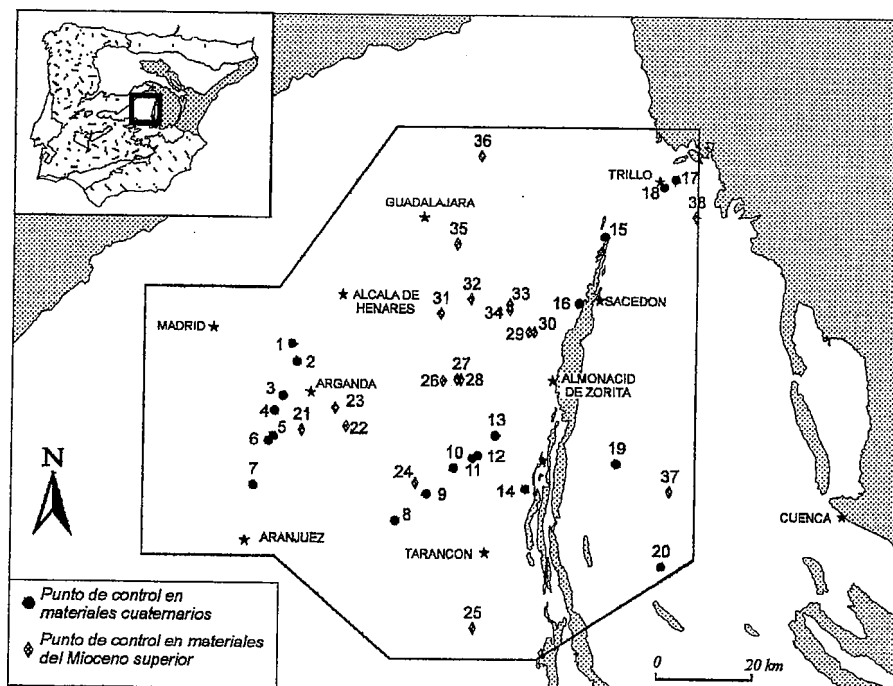


Fig. 1.- Situación geográfica y geológica del área de estudio. Localización de los puntos de control estructural. En blanco, sedimentos terciarios y cuaternarios. En gris, Paleozoico y Mesozoico.

Fig. 1.- Analyzed area geographical and geological sketch. Structural analysis sites. Tertiary and Quaternary, white. Mesozoic and Paleozoic, grey.

prayacentes, Arganda III y IV, subhorizontales (Pérez González, 1971). Las evidencias paleosísmicas se sitúan en Arganda I, consistiendo en volcanes de arena asociados a fallas normales. Estas fallas están incluidas en las poblaciones de datos utilizadas en la determinación de los tensores de esfuerzo realizada en el análisis estructural. Estos sedimentos muestran alternancias de arenas y limos que, tanto estructural, como composicionalmente son susceptibles de licuefacción. Las estructuras y morfologías observadas son análogas a las estructuras paleosísmicas descritas por Ringrose (1988). En la costa noreste de Venezuela, Audemaerd y de Santis (1991), describen estructuras de licuefacción similares producidas por dos terremotos de magnitudes 5.0 y 5.7. El grado de fracturación observado junto a los volcanes de arena en Arganda I, podrían indicar paleoterremotos de magnitudes algo superiores.

Sismicidad actual en la Cuenca de Madrid

La Cuenca de Madrid, considerada como una zona intraplaca de baja sismicidad, presenta una densidad de sismos muy superior a la observada en áreas adyacentes. Además, cabe destacar que, en esta zona se localizan los sismos que presentan valores más altos de magnitud y profundidad de la zona centro-occidental de la península.

Esta sismicidad parece concentrarse en el área comprendida entre los ríos Jarama y Tajo, coincidiendo, a grandes rasgos, con la superficie de afloramiento de la serie denominada *Caliza*

del Páramo (Mioceno superior).

En el borde sur del Sistema Central, se localizan varios sismos ocurridos en los últimos 15 años, de magnitudes comprendidas entre 2.8 y 3.4. Esto indica una actividad sísmica moderada en la falla del borde sur del Sistema Central.

El campo de esfuerzos actual presenta una dirección de máximo acortamiento horizontal coincidente con la moda 1. No obstante, hay un pequeño número de terremotos que indican una extensión NO-SE, similar a la moda 2 (Giner, 1996). La simultaneidad en la actuación de las dos modas hoy en día, nos indica que este proceso ha podido ocurrir a lo largo de todo el Cuaternario.

Discusión y conclusiones

Los resultados deducidos en los distintos análisis realizados en la Cuenca de Madrid, permiten establecer que la actividad tectónica en este área ha sido constante durante todo el Cuaternario. No obstante se pueden determinar dos períodos de mayor actividad tectónica o crisis tectónicas durante este período de tiempo: una en el tránsito Pleistoceno inferior-medio y otra a mitad del Pleistoceno medio.

Los argumentos más relevantes para establecer estas crisis han sido:

a) La edad de los materiales cuaternarios formados en los sistemas fluviales de los ríos Tajo y Jarama, o bien son del Pleistoceno inferior-medio, o bien del Pleistoceno medio. Aunque, cabe destacar que las deformaciones mayores presentes en los materiales pertenecientes al

A) MODELO DE DESLIZAMIENTO
(Reches, 1983; De Vicente, 1988)

B) MÉTODO DE INVERSIÓN DE ESFUERZOS
(Reches et al., 1992)

mitad del Pleistoceno medio en el caso del río Jarama (Pinilla et al., 1995).

d) Silva (1988) y Silva et al. (1988), aplicando índices geomorfológicos indicadores de neotectónica, en la zona del río Jarama, establecen un período de mayor actividad tectónica en el tránsito Pleistoceno inferior-medio.

e) Torres et al. (1995) determinan, mediante el análisis de la evolución del sistema fluvial Jarama-Lozoya-Guadalix, situado sobre la traza de la falla del borde sur del Sistema Central, dos períodos de máxima actividad neotectónica en la zona de Torrelaguna-El Vellón: uno hacia el final del Pleistoceno inferior (con indicios de actividad paleosísmica), y el otro a finales del Pleistoceno medio.

La Figura 5 resume las evidencias de actividad tectónica cuaternaria en la Cuenca de Madrid. La ausencia de datos en zonas sin sedimentación cuaternaria, no excluye la presencia de deformaciones recientes en toda la cuenca. Es lógico pensar que la actividad sísmica moderada ha estado presente en esta zona durante todo el Cuaternario, aunque debió ser especialmente intensa en el Pleistoceno inferior-medio.

Agradecimientos

Este trabajo se ha financiado con una beca del Consejo de Seguridad Nuclear concedida al primer autor y con el contrato de colaboración ENRESA/ITGE dentro del Proyecto: CEC Contract F1 "W-CT91-0075.

Referencias

Alfía, M. (1960). Not. Y Com. Inst. Geol. y Min. De España, 58, pp. 125-162
 Angelier, J. y Mechler, P. (1977). *Bull. Soc. Geol. Fr.*, 7 (19): 1309-1318.
 Audemar, F.A. y de Santis, F. (1991). *Bull. Assoc. Int. Géologie de l'ingénieur*, nº 44. Paris, pp.; Alonso Zarza, A.M.; García del Cura, M.A.; Ordoñez, S.; Rodríguez Aranda, J.P. y Sanz Montoro, M.E. (...)
 Calvo, J.P. et al., (1996) En: *Tertiary basins of Spain*. Eds: P.Friend y C.Dabrio Univ. Cambridge Press. Cambridge, pp. 272-277
 Capote, R.; De Vicente G. y González Casado J.M. (1991) *Tecnophysica*, 191: 399-409
 De Vicente (1988) *Tesis Doctoral*. Fac. CC. Geológicas, U.C.M., Madrid, 200 pp.
 De Vicente, G.; González Casado, J.M.; Muñoz-Martín, A.; Giner, J.L. y Rodríguez Pascua, M.A. (1996) En: *Tertiary basins of Spain*. Univ. Eds: P.Friend y C.Dabrio Univ. Cambridge Press. Cambridge, pp. 255-259.
 Etchecopar, A.; Vasseur, G. y Daignières, M. (1981) *Journal of Structural Geology*, vol 3: 51-65.
 Giner, J.L. (1996) *Tesis Doctoral*. Fac. CC. Geológicas, U.C.M., Madrid, 200 pp.
 I.G.N. (1994) Petición datos del banco de datos de sismicidad (09-02-94)

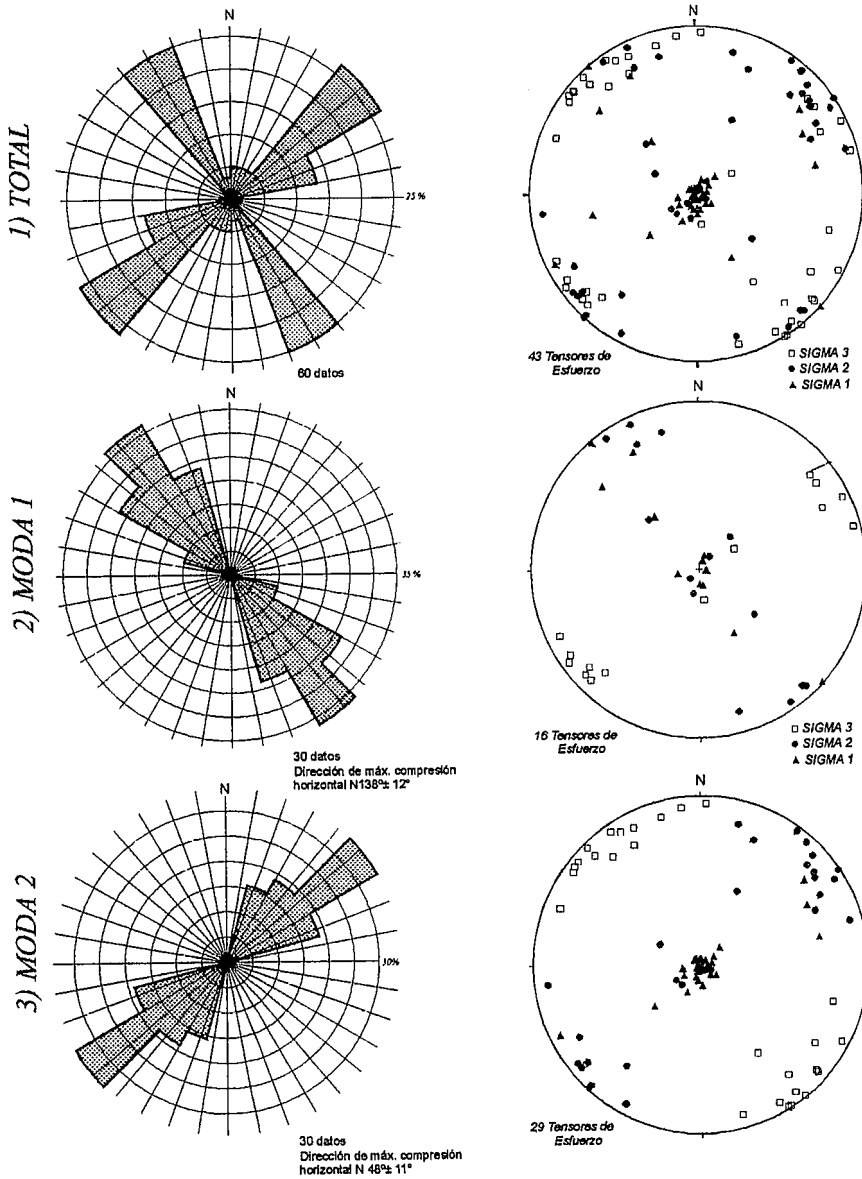


Fig. 2.- Resultados del análisis microestructural de: (1) total de los datos obtenidos, (2) de los datos que ajustan a la moda 1; y para la moda 2(3). A) Rosa de orientaciones de máxima compresión horizontal (Dey) deducidas en cada una de las estaciones de análisis microestructural (Modelo de Deslizamiento; Reches, 1983; De Vicente, 1988). B) Proyección de los ejes principales de los tensores de esfuerzo obtenidos en cada una de las estaciones de análisis (Método de Inversión de Esfuerzos; Reches et al., 1991).

Fig. 2.- Microstructural analysis results. (1) All data. (2) mode 1 adjusted data. (3) Mode 2 adjusted data. A) Maximum horizontal shortening trends rosegram from individual microstructural analysis sites (Slip model: Reches, 1983; De Vicente, 1988). B) Principal stress tensor axis projections from individual analysis sites (Stress Method; Reches et al., 1991).

sistema deposicional del río Jarama se desarrollan, fundamentalmente en materiales de mitad del Pleistoceno medio; mientras que las deformaciones observadas en los sedimentos del río Tajo se localizan, en su mayor parte, en materiales de edad Pleistoceno inferior-medio (Pérez-González et al., 1980).

b) la presencia de estructuras indicadoras de paleosismicidad en materiales del sistema depo-

sional del río Jarama de mitad del Pleistoceno medio.

c) Los cambios en la dinámica fluvial, tanto del río Tajo como del Tajuña, están muy restringidos en el tiempo. Estos períodos de inestabilidad están bien definidos en el registro sedimentario, quedando patentes por el aumento anómalo de la potencia de terrazas del tránsito del Pleistoceno inferior-medio, en el río Tajo, o de

Fig. 3.- Perfiles de equilibrio del cauce del río Tajo y las terrazas definidas en el área suroccidental de la Cuenca del Tajo (Pinilla et al., 1995). (1) perfil longitudinal actual del río Tajo; (2) perfil longitudinal y altitud relativa de las terrazas escalonadas; (3) perfil longitudinal y geometría de la terraza TF5, (60-65 m); (4) facies detríticas miocenas (facies de borde de la Sierra de Altomira); (5) facies evaporíticas miocenas de centro de cuenca.

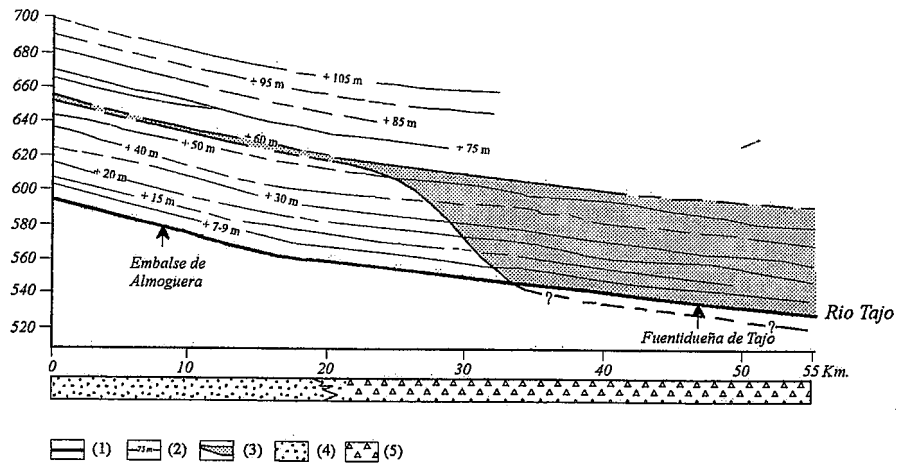
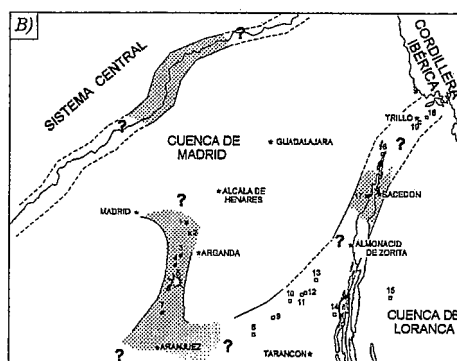
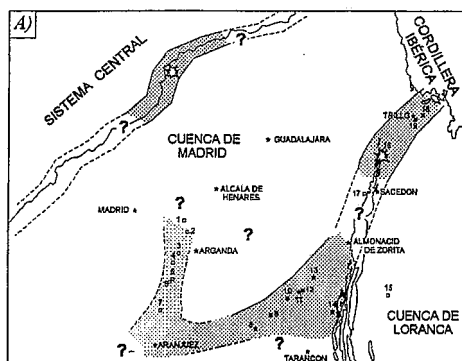


Fig 3.- Tajo river equilibrium profiles and defined terraces in Tajo Basin southwestern area (Pinilla et al., 1995). (1) Current Tajo river longitudinal profile; (2) longitudinal profile and relative terrace heights; (3) longitudinal profile and TF5 terrace geometry, (60-65 m); (4) miocene clastic facies (Altomira Range border facies); (5) basin centre miocene evaporitic facies.



- Zonas que presentan mats. cuaternarios deformados
- Punto de control estructural
- Indicis de paleosismicidad
- Localización epicentral
- Máximos deformacionales en el tiempo
- Sismicidad actual

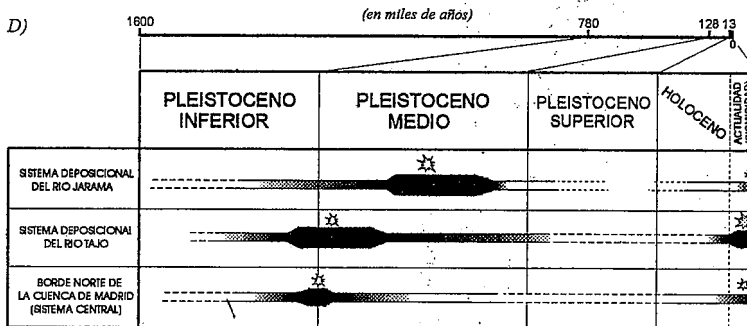
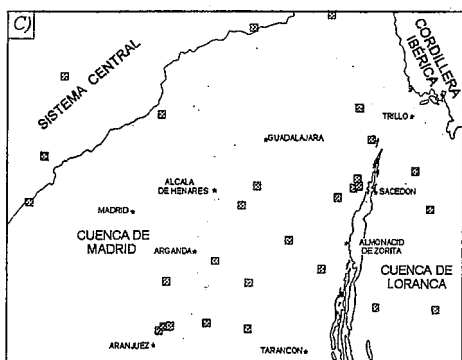


Fig. 4.- Localización de las áreas en las que se ha deducido una actividad tectónica para: A) Pleistoceno inferior-medio y B) Pleistoceno medio (datos de:Giner, 1996; Silva, 1988; Silva et al.,1988; y Torres et al., 1995). C) Sismicidad actual en la Cuenca de Madrid (I.G.N., 1994; Giner, 1996). D) Diagrama temporal en el que se representan las deformaciones observadas en la zona del río Jarama, en la del río Tajo y en el borde sur del Sistema Central.

Fig. 4.- Area locations where tectonic activity has deduced. A) Lower-Middle Pleistocene. B) Middle Pleistocene (from Giner, 1996, Silva, 1988; Silva et al., 1988 and Torres et al., 1995) C) Current seismicity of de Madrid Basin (I.G.N., 1994; Giner, 1996): D) Chronogram representing observed deformations in: Jarama river area, Tajo river area and Central System South border.

Janssen, M.E.; Tomé, M.; Cloetingh, S. y Banda, E. (1993) *Earth and Planetary Science Letters*, 119, pp. 585-597
 Martín-Escorza, C. (1979). *Estudios Geológicos*, n° 35, pp: 599-604.
 Medina, F. (1995). *J. Struct. Geol.*, vol 17, n° 7, 1035-1046
 Pinilla, L.; Pérez González, A.; Sopena, A. y Parés J.M. (1995) *Monografía n° 3 C.S.I.C.*. Eds: Alexandre Campos y Pérez-González, pp:125-139.

Pérez González, A. (1971) *Estudios Geológicos*, n° 27, pp.317-324.
 Pérez, A.; Lopez-Martínez, N. Y Santonja, M. (1980). *Arqueología y Paleocología I*. Eds: M.Santonja; N.López-Martínez y A. Pérez-González. Dip. Prov.Madrid, pp: 337-339.
 Reches, Z. (1983). *Tectonophysics*, 95: 133-156.
 Reches, Z.; Baer, G. y Hatzor, Y. (1992). *J.Geoph.Res.*, 97, B9, 12481-12493.
 Rincón, P. (1995) *Tesis de Licenciatura*. Fac.CC.Geológicas, U.C.M., Madrid, pp.300.

Ringrose, p. (1988) *Terranova*, 1, pp: 57-62
 Silva, P. (1988) *Tesis de Licenciatura*. Fac.CC.Geológicas, U.C.M., Madrid, pp.200.
 Silva, P.; Goy, J.L. y Zazo, C. (1988) *Estudios Geológicos*, n° 44: 415-427.
 Torres, T.; Cobo, R.; García-Alonso, R.; Grün, R.; Hoyos, M.; Juliá, R.; Llamas, J. y Soler, V. (1995). *Geogaceta*, n° 17: 46-48.
 Van Wees, S.A. (1994) *Tesis doctoral*. Fac. of Eart Sciences, Uvije Universiteit, Amsterdam, 164pp