

LA SEDIMENTACIÓN DELTAICA ACTUAL EN EL EMBALSE DE CELLERS (RÍO NOGUERA PALLARESÀ, PROVINCIA DE LÉRIDA)

Linares Santiago, R.¹ y Padrós Piñol, M.²

¹ Unidad de Geodinámica Externa e Hidrogeología. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.

² Unidad de Estratigrafía. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona. 08193 Bellaterra.

RESUMEN

Condicionados por diversos factores, dependientes principalmente de las características morfodinámicas de la zona y del régimen de explotación, la sedimentación costera muestra un considerable desarrollo en el embalse de Cellers (río Noguera Pallaresa, provincia de Lérida).

A partir de datos geomorfológicos y sedimentológicos obtenidos en superficie, en este trabajo se aborda el estudio de los cuerpos sedimentarios originados.

Se describen sus características y el mecanismo de sedimentación. Por último, se incide en la previsible evolución de estos depósitos deltaicos ante hipotéticas variaciones del nivel de base.

Palabras clave: Aterramiento embalses, sedimentación deltaica, embalse de Cellers, río Noguera Pallaresa, Lérida.

ABSTRACT

The Cellers reservoir at the Noguera Pallaresa river (Lérida) shows a well-developed sedimentation along its shores, due to the regional dominant geomorphic processes and the exploitation regime.

Using geomorphological and sedimentological data, we describe the characteristics of the sedimentary bodies and their depositional mechanisms. We also discuss possible evolutionary trends of these deltaic deposits as a response to base level changes.

Key words: Reservoir infilling, deltaic sedimentation, Cellers reservoir, Noguera Pallaresa river, Lérida.

INTRODUCCION

Dentro de una concepción de aprovechamiento hidroeléctrico integral del río Noguera Pallaresa, el embalse de Cellers fue construido en el año 1935 con la finalidad de servir de regulación entre dos grandes presas: la de Sant Antoni de Talarn (228 hm³), al norte y aguas arriba, y la de Camarasa (146

hm³) al sur (figura 1).

Emplazado en el desfiladero de Terradets (sierra del Montsec), su capacidad inicial era de unos 33 hm³, abarcando una extensión de unos de 3 km² y 8 km de longitud (SÁNCHEZ, 1990). Por sus características de diseño es aparentemente estático todo el año, manteniendo prácticamente constante la altura de la lámina de agua embalsada. Las variaciones que experimenta en el nivel de sus aguas son, principalmente, subidas y bajadas diarias inferiores a 1 m, como consecuencia de la puesta en funcionamiento de la central hidroeléctrica.

Su cuenca hidrográfica, coincidente a grandes rasgos con la denominada depresión de Tremp-Conca Dellà, ocupa una extensión de 394 km² y está soportada principalmente por las litologías arcillosas y margosas de las facies Garumnienses y del Eoceno inferior. Los niveles de calcarenitas, calizas y conglomerados, comparativamente minoritarios, conforman los altos y unidades de relieve principales (figura 1).

Los principales cursos fluviales que drenan este tramo del río Noguera Pallaresa (de unos 12 km de longitud) se desarrollan en su margen izquierda y corresponden a los ríos Abella y Conques. Por su incidencia directa en el embalse destacan los barrancos de Barcedana y de Cellers, situados a ambos márgenes del mismo en su sector meridional.

Las características morfodinámicas de este territorio determinan que un 38% de nuestra cuenca se encuentre sometida a la actuación de procesos denudativos (LINARES y TRILLA, 1996), cifra ésta suficientemente significativa del considerable grado de erosión que caracteriza nuestra región. Es de destacar que las áreas de actuación de modalidades erosivas tipo movimientos en masa activos ocupan una extensión de unos 39 km², localizándose principalmente en el sector meridional de la cuenca, es decir, en las proximidades del embalse.

En condiciones naturales, el material erosionado iba a parar al río Noguera Pallaresa, como colector principal del sistema; a partir de éste y durante períodos de crecida, era transportado fuera de la cuenca.

La construcción del embalse ha provocado, lógicamente, una modificación de la dinámica hidráulica inducida por la elevación del nivel de base del río principal, siendo uno de los principales efectos derivados la acumulación de su carga sólida en el vaso del embalse.

Es objeto de este trabajo el estudio de los cuerpos sedimentarios costeros originados, basándonos para ello en datos geomorfológicos y sedimentológicos obtenidos en superficie.

LA SEDIMENTACIÓN COSTERA

Por sus características distinguiremos dos tipologías principales: el delta principal, construido por el río Noguera Pallaresa, y los deltas de Barcedana y Cellers, situados en la desembocadura de los torrentes del mismo nombre.

EL DELTA PRINCIPAL

En su desembocadura en el embalse, el canal del río Noguera Pallaresa funciona de manera muy similar a un canal distributivo de un delta dominado por la acción fluvial. En él se reconocen los siguientes subambientes sedimentarios: el canal del río, los *lévéés*, las bahías interdistributivas y la barra frontal (figura 2).

- El canal. Corresponde a un conducto de transporte en el cual la mayoría de los sedimentos realizan un by pass y los únicos depósitos que se encuentran son residuales o de fondo (lag deposits).

- *Lévéés*. Son los márgenes que delimitan el canal del río construidos con materiales de desbordamiento del canal principal. Una parte es subaérea y otra subacuática; esta última es prolongación de la primera bajo el agua del embalse.

La subaérea, poblada por cañizales (*Phragmites communis* TRIN.), está formada por materiales finos en su mayoría, y en los cuales las típicas estructuras de climbing ripples están borradas por la intensa bioturbación que les afecta. La parte subacuática a medida que va ganando en profundidad se va alargando y perdiendo dimensiones, hasta desaparecer.

- Bahías interdistributivas. Se desarrollan a ambos lados de los *lévéés*, entre los márgenes del embalse y éstos. Son dos bahías, más o menos alargadas, abiertas hacia el embalse que se van colmatando desde la parte proximal a la distal, al mismo tiempo que en este sentido se van convirtiendo en un verdadero pantano. Los materiales que se reconocen son finos, pelíticos, y se encuentran completamente bioturbados, en la parte proximal de la bahía por la acción de los vegetales y en la parte más distal por organismos. Se identifican pequeños canales que en los momentos de bajada del nivel de las aguas drenan la bahía con un funcionamiento similar a verdaderos tidal creeks.

Este subambiente sedimentario, con una dinámica muy parecida a la de una llanura de fango de un sistema mareal, se extiende hacia el interior del embalse hasta zonas que durante la mayor parte del año se encuentran inundadas. Allí se desarrolla intensamente el bivalvo *Anodonta* (*Anodonta*) *cygnea* (LINNAEUS).

El transporte y sedimentación de estos materiales finos es, en primer lugar, consecuencia del desbordamiento del canal principal y, en segundo lugar, del movimiento de subida y bajada del nivel de las aguas del embalse (al igual que en una llanura mareal) provocadas por el funcionamiento de la central eléctrica. El desbordamiento del canal principal queda registrado en la bahía por la presencia de pequeños abanicos de sedimentos poblados de vegetación. Estas formaciones corresponden a abanicos de crevasse (*crevasse splays*).

Aquí, aparte del movimiento de subida y bajada del nivel de las aguas (de poco rango ya como se ha indicado prácticamente nunca alcanza valores de 1 m), influye el régimen de olas. Tienen una cierta importancia las de dirección N y S, ya que el viento en las otras direcciones no tiene espacio abierto suficiente como para poder generar olas que tengan capacidad de incidir en el proceso de erosión-sedimentación. El viento del S es el que origina las olas con más actividad geológica, ya que en la zona más costera lava los sedimentos de los bordes, provocando que el material pelítico se ponga en suspensión y de esta

manera se desplace hacia el interior del embalse.

- Barra frontal. Es el depósito formado por la sedimentación del río al desembocar en el embalse, aflorando cuando disminuye el nivel del agua. Muestra una forma de media luna asimétrica y se desarrolla delante del canal principal.

Si bien su estructura interna, composición litológica y volumetría no se han podido determinar, basándonos en su posicionamiento respecto al canal principal y en su geometría, puede compararse con una típica barra de desembocadura de un canal distributivo de un delta dominado por la acción fluvial (*stream mouth bar*). Por este motivo, es previsible que prograda hacia zonas más distales.

En conjunto, el ejemplo que más se aproxima a nuestro modelo es el de un canal distributivo del delta del río Mississippi (descrito, entre otros, por GOULD, 1970; MORGAN, 1970; COLEMAN, 1981 y ADAMS y ROBERTS, 1993), teniendo en cuenta, por un lado, que este caso las bahías interdistributivas no limitan con otro canal distributivo sino con el borde del embalse, y, por otro, el efecto que provocan en la morfología de los subambientes descritos los procesos externos allí actuantes: flujos y conos de deyección, principalmente. Efectos, estos últimos, bien documentados en los trabajos de SCHMIDT y RUBIN, 1995; y GRANT y SWANSON, 1995 (figura 3).

LOS DELTAS DE BARCEDANA Y DE CELLERS

Estos deltas, localizados en la desembocadura de los barrancos del mismo nombre en el sector meridional del embalse, constituyen los otros dos cuerpos sedimentarios de mayor funcionalidad actual.

Con motivo de la importante bajada del nivel de las aguas que sufrió el embalse en 1990, se constató que la estructuración interna de los materiales está formada por grandes láminas progradantes, de pendiente relativamente fuerte hacia el embalse, dando lugar a un único cuerpo de materiales de granulometría muy gruesa en la parte proximal y cuerpos de similar tamaño de grano separados por depósitos finos hacia la parte distal. En los materiales finos sedimentados en los momentos de relativa calma se instalan fácilmente cañizales y, por tanto, se origina una intensa bioturbación.

Superficialmente muestran un canal muy poco desarrollado, ya que durante las avenidas queda totalmente inundado.

La acreción y funcionamiento son muy parecidas a las de un delta Gilbert (deltas que se forman típicamente en ambientes lacustres o de aguas poco profundas y que GILBERT describió en 1885). La mayor parte de las características de esta tipología de deltas, descritas por Le Blanc, 1975, se reconocen en los deltas de Barcedana y de Cellers (figura 3).

En concordancia a la extensión y características litológicas de su cuenca hidrográfica, la sedimentación resultante que muestran estos deltas presenta ciertas especificidades. Así, en el caso del delta de Barcedana, el de mayor desarrollo espacial, es muy abundante la sedimentación gruesa, cosa que no sucede en el delta de Cellers. En este último, los depósitos pelíticos son dominantes.

Por último, y al igual que sucede en otras regiones de montaña (FUJITA

et al. 1991), destacaremos que el rápido crecimiento que experimentan estos deltas es consecuencia de los anómalos volúmenes de material erosionado generados en las cabeceras de sus cuencas hidrográficas por procesos gravitatorios.

SINTESIS DEL MECANISMO DE LA SEDIMENTACION

El proceso de sedimentación en el embalse de Cellers, equivalente al modelo tipificado en la literatura, pasa por tres estadios diferentes pero sincrónicos y por tanto interdependientes: el primero, y como consecuencia de la actuación de diferentes agentes de transporte-sedimentación, consiste en la construcción de cuerpos sedimentarios a partir del aporte de sedimentos a la cuenca; el segundo es el retrabajamiento y posterior distribución de estos sedimentos por los agentes del lago, en función de la granulometría del depósito original y de la energía de éstos; y el tercero, la resedimentación de estos depósitos en áreas profundas.

El primer estadio de sedimentación de los materiales es el estadio deltaico. Su funcionamiento, como se ha visto, es muy parecido al marino o al lacustre propiamente dicho.

Una vez en el embalse, parte de estos cuerpos sedimentarios deltaicos son retrabajados por los agentes que actúan en él: el oleaje y las corrientes de marea. En nuestro caso, se constata, que las olas sólo pueden actuar con una cierta intensidad en aquellos márgenes que se encuentran expuestos a los vientos del N o del S, ya que éstos son los únicos que tienen suficiente espacio para generar el movimiento de la superficie del agua. Cuando estos vientos actúan provocan la suspensión del material fino de las áreas costeras y su transporte hacia áreas alejadas de la línea de costa. En los momentos de calma, el material fino decanta.

Asimismo, influyen sedimentológicamente las variaciones del nivel del agua del embalse, no por un efecto de aportes de agua estacionales, ya que, en nuestro caso prácticamente esto no sucede nunca, sino por su régimen de explotación. Habitualmente esto pasa, la mayor parte del año, una vez al día: baja el nivel (prácticamente nunca llega a 1 m) y posteriormente se recupera de nuevo poco a poco. Estas pequeñas variaciones originan en las zonas llanas costeras un pequeño flujo (comparable a una corriente de marea de pequeño rango; régimen micromareal) que es el causante de la distribución de los materiales más finos, tal y como sucede en la parte proximal de una llanura mareal, la denominada llanura de fango.

Tanto las corrientes fluviales, cargadas de material fino en suspensión, como los sedimentos puestos en suspensión por las olas en momentos de temporal, originan corrientes de turbidez muy diluidas que decantan, finalmente, en las partes más profundas del embalse.

En relación a esta sedimentación profunda es de destacar la tendencia que muestra el delta principal a desarrollar las denominadas corrientes fluviales de dispersión predominantemente por su margen derecho. Esta tendencia, manifiesta ya en fotogramas aéreos y observada durante la realización de este trabajo, es probable que se deba al efecto de la fuerza de Coriolis, bien documentado en numerosos embalses, (véase por ejemplo PHARO y CARMACK, 1979).

HIPOTETICA EVOLUCION ANTE DESCENSOS IMPORTANTES DEL NIVEL DEL AGUA

Si bien, tal y como hemos visto, las peculiaridades de nuestro embalse motivan que, por lo común, tales variaciones no se den, consideramos oportuno plantearnos, a título hipotético, el efecto que podrían tener en los cuerpos sedimentarios estudiados. Para ello, y utilizando el símil estratigráfico (ROSELL, 1988 y 1991) consideraremos dos casos extremos: cuando el descenso sea rápido y cuando se produzca lentamente (figura 4).

En el primero de los supuestos, si el descenso es rápido, la modificación del nivel base del embalse provoca un encajamiento de los cursos fluviales (erosión subaérea), es decir, una incisión en aquellas partes de los aparatos deltaicos que antes estaban sumergidas. Esto provoca la erosión de las mismas y sedimentación en zonas más profundas.

Por otro lado, los taludes del frente deltaico quedan al descubierto, su perfil de equilibrio es inestable y evolucionan mediante movimientos gravitacionales hasta conseguir una nueva situación de estabilidad (erosión subacuática). Estos movimientos evolucionan mediante corrientes de turbidez y transportan el material inestabilizado hacia las partes profundas del embalse, donde se sedimentan en forma de capas turbidíticas.

Si al contrario, la bajada del nivel del agua es lenta, la erosión resultante es tan sólo subaérea (POSAMENTIER *et al.* 1988). El material erosionado, sobre todo de las partes más proximales de los deltas, se acumula por encima de las partes más distales de los mismos. Se disponen según un contacto concordante, siguiendo una acreción por progradación. La superficie de erosión es tan sólo subaérea, como hemos indicado, y equivale temporalmente al paquete de sedimentos situados sobre el prodelta antiguo.

CONCLUSIONES

Al igual que sucede en otras áreas de montaña, la sedimentación que se desarrolla en pequeños embalses como el aquí estudiado es un tanto peculiar y está condicionada por la actuación, de manera concomitante, de una considerable diversidad factores. En nuestro caso, la acción de factores dependientes del régimen de explotación del embalse y determinadas características morfodinámicas de la región cobran especial relevancia:

- Por sus características de uso (embalse de regulación) es aparentemente estático todo el año, manteniendo prácticamente constante la altura de la lámina de agua embalsada. Las variaciones que experimenta en el nivel de sus aguas son principalmente, subidas y bajadas diarias inferiores a 1 m, como consecuencia de la puesta en funcionamiento de la central hidroeléctrica.

- De entre los aportes que recibe el embalse, consecuencia de la actuación de la dinámica fluvio-torrencial allí existente, destacan aquellos que vienen facilitados en origen por movimientos en masa. Los considerables volúmenes aportados por estos procesos gravitatorios son especialmente significativos en el caso de los torrentes incidentes directamente en el vaso del embalse.

Ambos tipos de factores, antrópicos y propios de la dinámica del medio, determinan un mayor desarrollo de la sedimentación costera (deltaica) en

detrimento de la sedimentación profunda (turbidítica), comparativamente de menor extensión.

Por sus características estratigráficas y morfológicas, los principales cuerpos sedimentarios son asimilables a deltas del tipo Gilbert (caso de los denominados como Barcedana y Cellers) y a un canal distributivo del delta del río Mississippi (caso del delta principal).

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo manifiestan su agradecimiento al Dr. Joan Rosell Sanuy, del Departamento de Geología de la Universidad Autónoma de Barcelona, por los comentarios y críticas constructivas realizadas.

REFERENCIAS

- ADAMS, Jr., C.E. & ROBERTS, H.H. (1993).- A model of the effects of sedimentation rate on the stability of Mississippi delta sediments. *Geo-Marine letters*, 13, 17-23.
- COLEMAN, J.M. (1981).- *Deltas processes of deposition and models for exploration*. Burgess Publ. Co., 2nd. ed., 124.
- FUJITA, M., MICHIVE, M. & ASHIDA, K. (1991).- Simulation of Reservoir in Mountain Regions. *Fluvial Hydraulics of Mountain Regions*. Lecture Notes in Earth Sciences. Vol. 37. Ed. Armani & Di Silvo. 209-222.
- GOULD, H.R. (1970).- The Mississippi Delta Complex. *Sedimentation modern and ancient*. Ed. J.P. Morgan. Tulsa, special publication nº15, 87-98.
- GRANT, G.E. & SWANSON, F.L. (1995).- Morphology and Processes of Valley Floors in Mountain Streams, Western Cascades, Oregon. *Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology*. Geophysical Monograph 89. Ed. American Geophysical Union. 83-102.
- LE BLANC, R.J. (1975).- Significant studies of Modern and Ancient Deltaic Sediments. *Deltas: Models for Exploration*. Ed. Broussard. Houston Geol. Soc. 13-86
- LINARES, R. & TRILLA, J. (1996).- Acciones fluvio-torrenciales en la depresión de Tremp-Conca Dellà (Provincia de Lérida). *Sexto Congreso Nacional y Conferencia Internacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Vol. III, 43-57.
- MORGAN, J.P. (1970).- Depositional processes and products in the deltaic environment. *Sedimentation modern and ancient*. Ed. J.P. Morgan. Tulsa, Special publication nº15, 31-47.
- PHARO, C.H. & CARMACK, E.C. (1979).- Sedimentation processes in a short residence-time intermontane lake, Kamloops Lake, British Columbia. *Sedimentology*, nº 26, 523-541.
- ROSELL, J. (1988).- Ensayo de síntesis del Eoceno Sudpirenaico: el fenómeno turbidítico. *Rev. Soc. Geol. España*, Nº1 (3-4), 357-365.
- ROSELL, J. (1991).- La fossilització de la variable temps. *Facultat de Ciències, Universitat Autònoma de Barcelona*, 40 p.
- SÁNCHEZ, LI. (1990).- La Canadencia. Un fenomen econòmic-social que transformà el Pallars. *Història i cultura del Pallars*, 258 p.
- SAXENA, R.S. & FERM, J.C. (1976).- Lower deltaic Sand Bodies. Exploration models and Recognition criteri. *Sedimentari environments and Hydrocarbors*. *Anual AAPG/SEPM Convention*. New Orleans, 22-59.
- SCHMIDT, J.C. & RUBIN, D. M. (1995).- Regulated Streamflow, Fine-Grained Deposit, and Effective Discharge in Canyons with Abundant Debris Fans. *Natural and Anthropogenic Influences in Fluvial Geomorphology*. Geophysical Monograph 89. Ed. American Geophysical Union, 177-196.

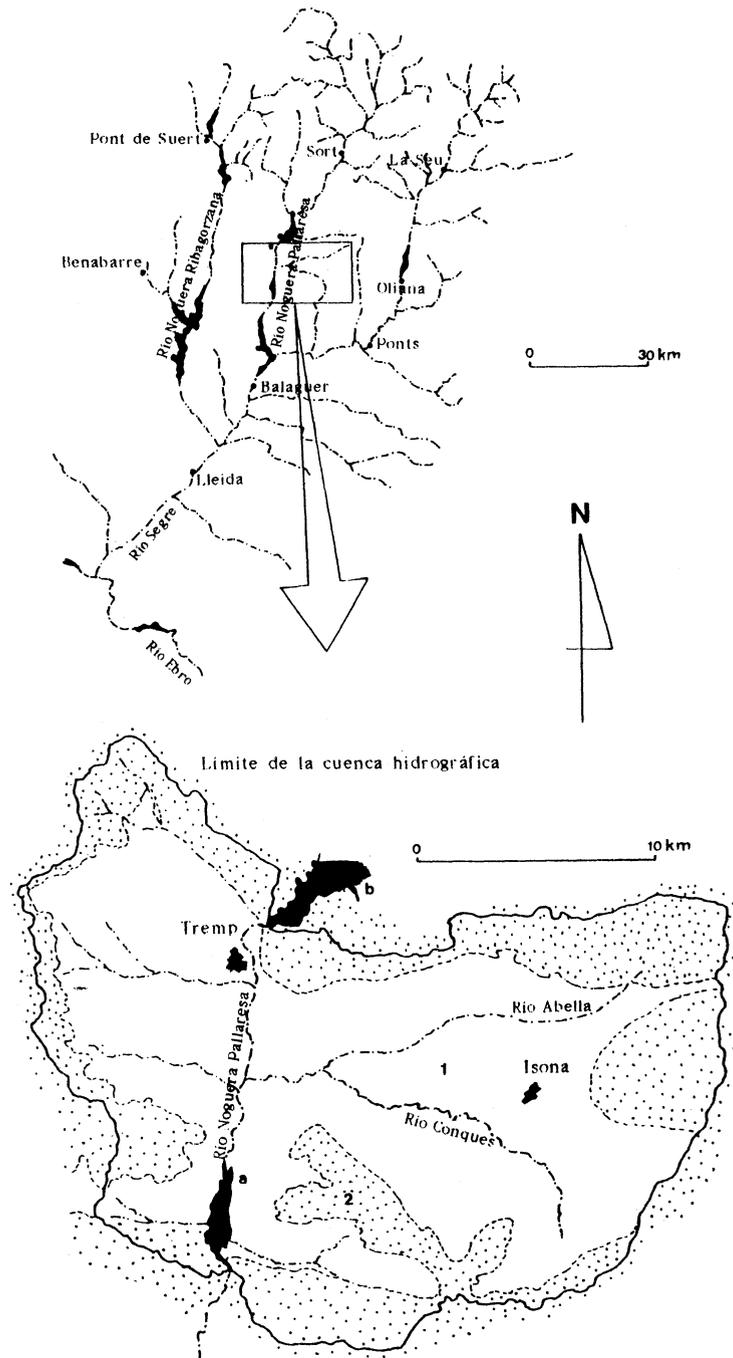


Figura 1. Situación de la zona estudiada en el contexto hidrológico. Cuenca vertiente en el embalse de Cellers: (1) Dominio de litologías arcillosas y margosas, (2) Dominio de litologías calcareníticas, carbonatadas y conglomeráticas. Referenciados como (a) embalse de Cellers y como (b) embalse de Sant Antoni de Talarn.

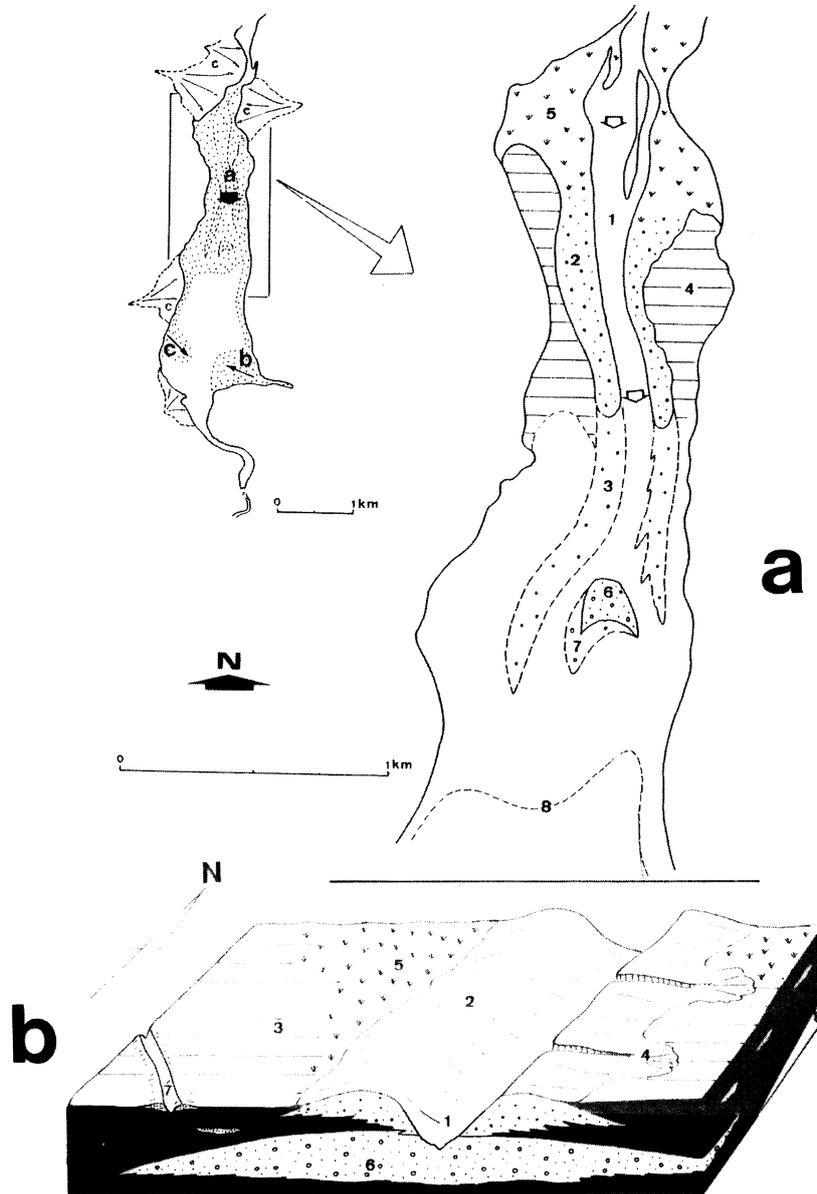


Figura 2.

a.- En el esquema de situación se muestra la distribución de los diferentes cuerpos estudiados: (a) delta principal, (b) delta de Barcedana y (c) delta de Cellers. En punteado dominio de la sedimentación costera (subacuática y subaérea) y como (c) conos de deyección.

En la zona ampliada presentamos la cartografía de los diferentes subambientes dentro del delta principal -(1) canal principal, (2) *lévée* subaéreo, (3) *lévée* subacuático, (4) bahía interdistributaria, (5) pantano, (6) barra de boca de canal subaérea, (7) barra de boca de canal subacuática y (8) límite aproximado del prodelta-

b.- Sección transversal idealizada del delta principal -(1) canal principal, (2) *lévée* subaéreo, (3) bahía interdistributaria, (4) *crevasses*, (5) pantano, (6) barra de boca de canal subacuática, (7) canal del barranco de Rodelló y (8) substrato.

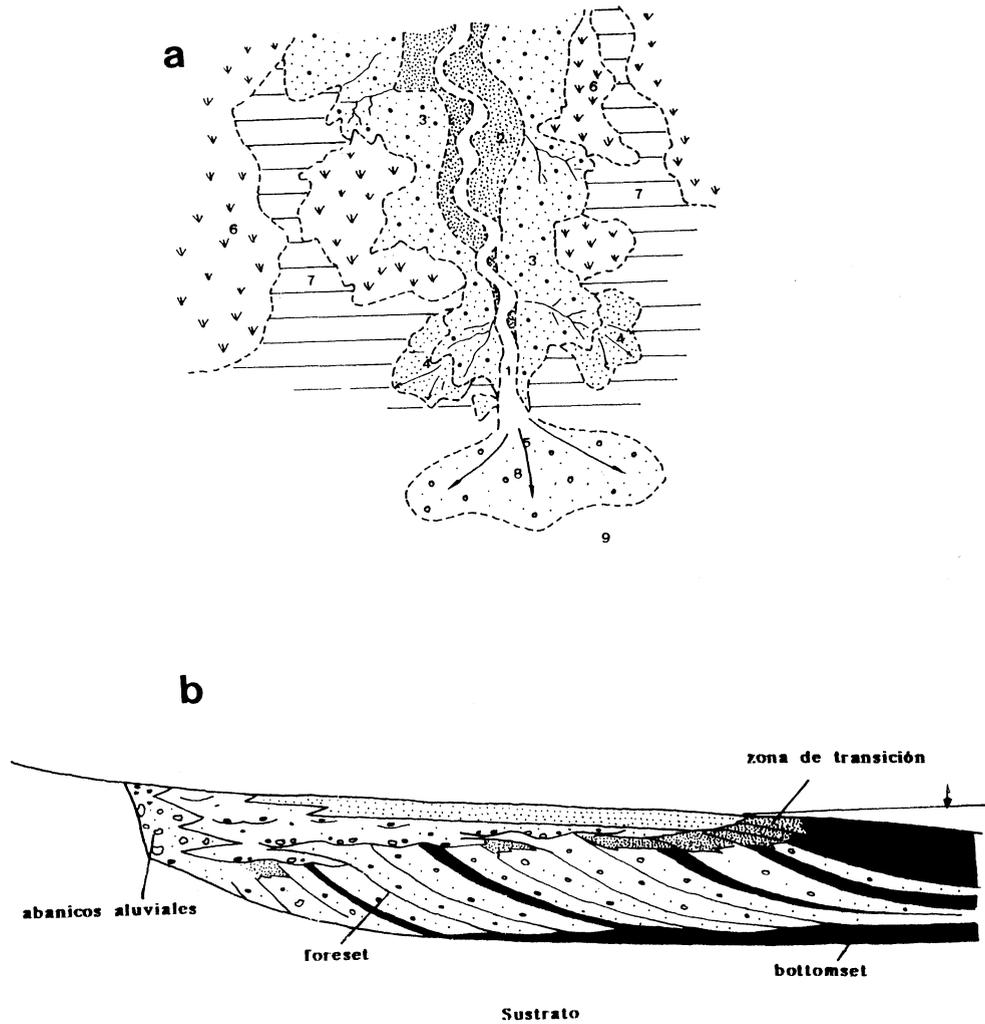


Figura 3.

a.- Modelo de la llanura deltaica del río Mississippi según SAXENA *et.al.*1976. -(1) canal, (2) barra de meandro, (3) *lévéé*, (4) *crevasses*, (5) canal distributario, (6) pantano, (7) bahía interdistributaria, (8) barra de boca de canal y (9) prodelta-.

b.- Modelo estratigráfico de un delta tipo Gilbert con dominio fluvial (modificado de COLELLA, 1988).

Secciones N-S

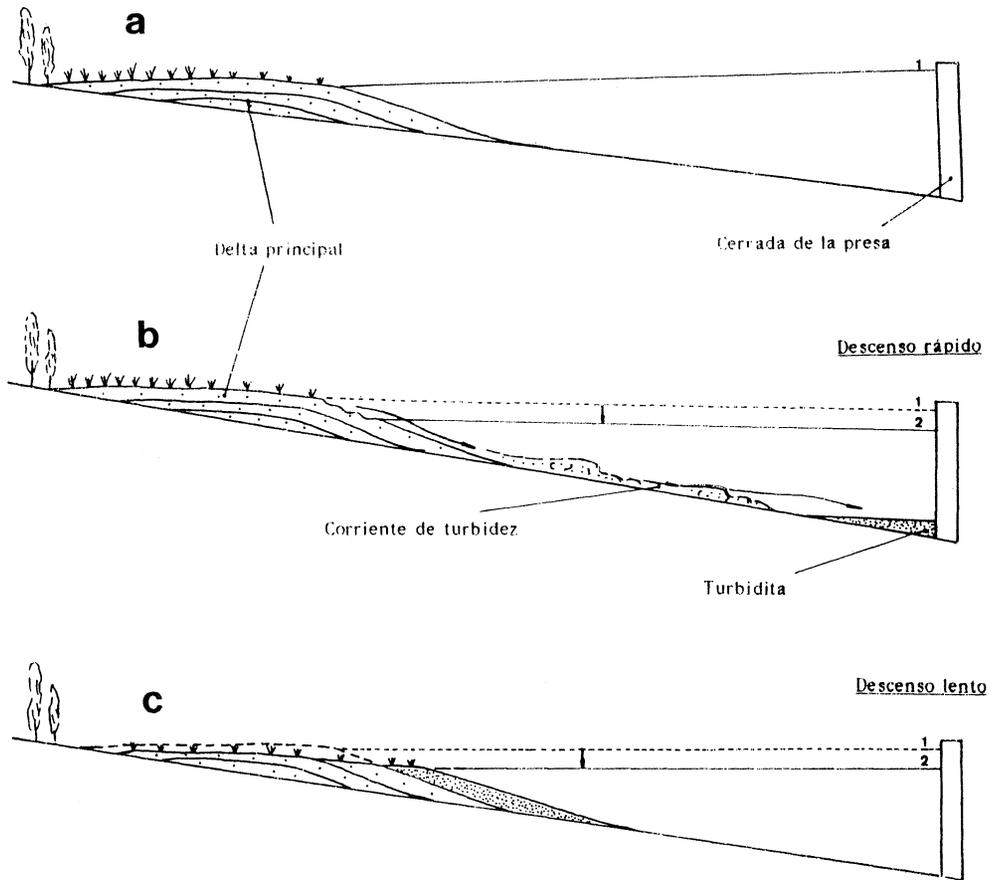


Figura 4. Hipotética evolución de la sedimentación deltaica ante descensos importantes del nivel del agua (modificado de ROSELL, 1991). Secciones idealizadas: (a) construcción del delta principal, (b) Bajada rápida del nivel de las aguas. Erosión subaérea y subacuática, y resedimentación de los materiales en forma de turbiditas, y (c) Bajada lenta del nivel de las aguas. Erosión subaérea y resedimentación de los materiales en la parte frontal del aparato deltaico.