

**Estudios recientes (2000-2002) en Geomorfología. Patrimonio, montaña y
dinámica territorial.**

Referencia bibliográfica:

ISBN: 607-5465-0

I. E. Serrano, A. García de Celis, J.C. Guerra, C. Morales y T. Ortega (Editores). II. Sociedad Española de Geomorfología. VII Reunión Nacional. III. Departamento de Geografía. Universidad de Valladolid.

1. Geomorfología. 2. Península Ibérica, 3. Congresos.

©2002. Departamento de Geografía-Universidad de Valladolid. Sociedad española de Geomorfología

ISBN: 607-5465-0

Depósito Legal: VA-745-2002

Imprime: Mata Digital S.L. Plaza Universidad, 2. 47002 Valladolid.

INDICE

PRESENTACIÓN	11
GEOMORPHOLOGY APPLIED TO CULTURAL HERITAGE PANIZZA, M.	13
1. Acción antrópica, procesos geomorfológicos y dinámica territorial	
PROCESOS DE DESBORDAMIENTO EN LA FLECHA LITORAL DE SANCTI-PETRI (BAHÍA DE CÁDIZ): RIESGOS ASOCIADOS. BENAVENTE, J.; MARTÍNEZ, J.A.; GRACIA, F.J.; REYES, J.L. y DEL RÍO, L.....	23
CARATERIZACIÓN DE RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS EN LA CORNISA ORIENTAL DE EL ALJARAFE (SEVILLA). ASPECTOS METODOLÓGICOS BORJA BARRERA, C., BORJA BARRERA, F., CHAMBER PÉREZ, E., TRIVIÑO TARRADAS, P. y VARELA, L.....	33
EXPORTACIÓN DE SEDIMENTOS DESPUÉS DE INCENDIOS EN CAMPOS ABANDONADOS. RESULTADOS DE LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL "VALLE DE AÍSA". PIRINEOS. CERDÀ, A. y LASANTA, T.....	43
GEOMORFOLOGÍA Y RESTAURACIÓN DUNAR FERNÁNDEZ, E. y GARROTE, J.....	53
IMPACTOS ANTRÓPICOS Y EVOLUCIÓN GEOMORFOLÓGICA RECIENTE (SIGLOS XIX-XX) EN EL PARQUE NATURAL DE LAS DUNAS DE LIENCRES (ESTUARIO DEL RÍO PAS-CANTABRIA) ARTEAGA, C. y GONZÁLEZ MARTÍN, J.A.....	67
GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL Y RESTAURACION AMBIENTAL: EL EJEMPLO DEL RIO GUADAMAR EN LA ZONA DE ENTREMUROS (PARQUE NATURAL DE DOÑANA). GUERRERO, I y BAÉNA, R.....	79
EROSIÓN DE SUELOS EN LOS TRÓPICOS: APLICACIÓN DE LA RUSLE A LA CUENCA DEL RÍO NANDU (ISLA DE HAINAN, CHINA). GUERRO, G., URIBELARREA DEL VAL, D., PÉREZ-GONZÁLEZ, A y BENITO, G.....	91
GESTIÓN DEL RIESGO DE ALUDES: METODOLOGÍA DE ANÁLISIS, PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y APLICACIÓN A L'ARMIANA DE CANILLO (ANDORRA) JANERAS, M y FURDADA, G.....	99

- FOMENTO (1890-1897): Expedientes para la Desecación de las Marismas de: "Mogro", "Piélagos" y "la Unquera". Dirección General de Puertos. Legajos: 15.404 y 15.427.
- I.G.M.E (1976). Mapa Geológico 1/50.000. Torrelavega (Hoja 34).
- INM (1995): Valores normales y estadísticos de estaciones principales (1961-1990). Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid. 56 pp.
- Madoz, P. (1847): Diccionario Geográfico-Estadístico Histórico de España. Tomo XIII. Madrid. Pag. 279.
- Moñino, M (1986): Establecimiento y cartografía de los niveles de rasa litoral existentes en Cantabria. Universidad de Cantabria. Inédito

GEOMORFOLOGIA FLUVIAL Y RESTAURACION AMBIENTAL: EL EJEMPLO DEL RIO GUADIAMAR EN LA ZONA DE ENTREMUROS (PARQUE NATURAL DE DOÑANA).

GUERRERO AMADOR, I y BAENA ESCUDERO, R

Departamento de Geografía Física y A.G.R, Universidad de Sevilla.

RESUMEN: Se presenta el modelo de restauración fluvial del tramo bajo del río Guadamar en la zona de Entremuros tras el vertido minero de Boliden-Apirsa. Este proyecto de restauración está fundamentado en concepciones de la Geomorfología Fluvial (cuenca fluvial como unidad integral y sistémica) así como en los diferentes elementos morfohidrológicos (vetas, humedales, banco laterales,..) presentes en la llanura de inundación de este río, previas a las modificaciones antrópicas llevadas a cabo a partir de los años 50 y su evolución hasta la actualidad. Finalmente, el seguimiento de las actuaciones ejecutadas en relación a la dinámica hídrica de los años 2000-2001 pone de manifiesto la validez de la restauración pese a que su ejecución ha sido parcial y de carácter ingenieril.

Palabras clave: Geomorfología Fluvial, Restauración Ambiental Pasiva, Guadamar, Entremuros, Parque Natural de Doñana.

ABSTRACT. Fluvial geomorphology and environmental restoration: an example of the Guadamar River in the Entremuros area (Natural Park of Doñana).

We report on the fluvial restoration of the low reach of the River Guadamar in the Entremuros area after the miner spilling by Boliden- Apirsa. This project is based on several fluvial geomorphology concepts like a fluvial basin as a comprehensive and systematic unity and a transverse and longitudinal morphological continuum of the river, as well as a restoration of the different morphohydrological elements (levee, lateral banks, ...) in the floodplain before man-made changes in the 1950s. The studies validate the restoration action according to the water dynamics between 2000 and 2001 although it was partly carried out.

Keywords: Fluvial geomorphology, passive enviromental restoration, the River Guadamar, the Entremuros area, the Natural Park of Doñana.

1. INTRODUCCIÓN

El río Guadamar, con una longitud de 120 km y una cuenca hidrográfica de 1285 km² de extensión, se encuentra enmarcado entre las estribaciones de Sierra Morena al norte y la Depresión del Guadalquivir al sur, representando el último afluente por la margen derecha del Guadalquivir (Fig. 1), en el cual desemboca tras atravesar las marismas protegidas bajo las figuras de Parque Nacional y Natural de Doñana. Con unos modestos caudales medios anuales de 5,48 m³/s, destaca su extrema torrencialidad, caudales mínimos estivales de 1,15 m³/s y máximos de crecida extraordinaria entre 500 y 700 m³/s. Junto a ello la dilatada extensión de su

tramo de transferencia (prácticamente la mitad de los 120 km de la longitud total) con un amplio valle fluvial de escaso gradiente (menos de 0.01%), hace que el aporte sedimentario procedente de su cabecera que alcanza el tramo de las marismas esté

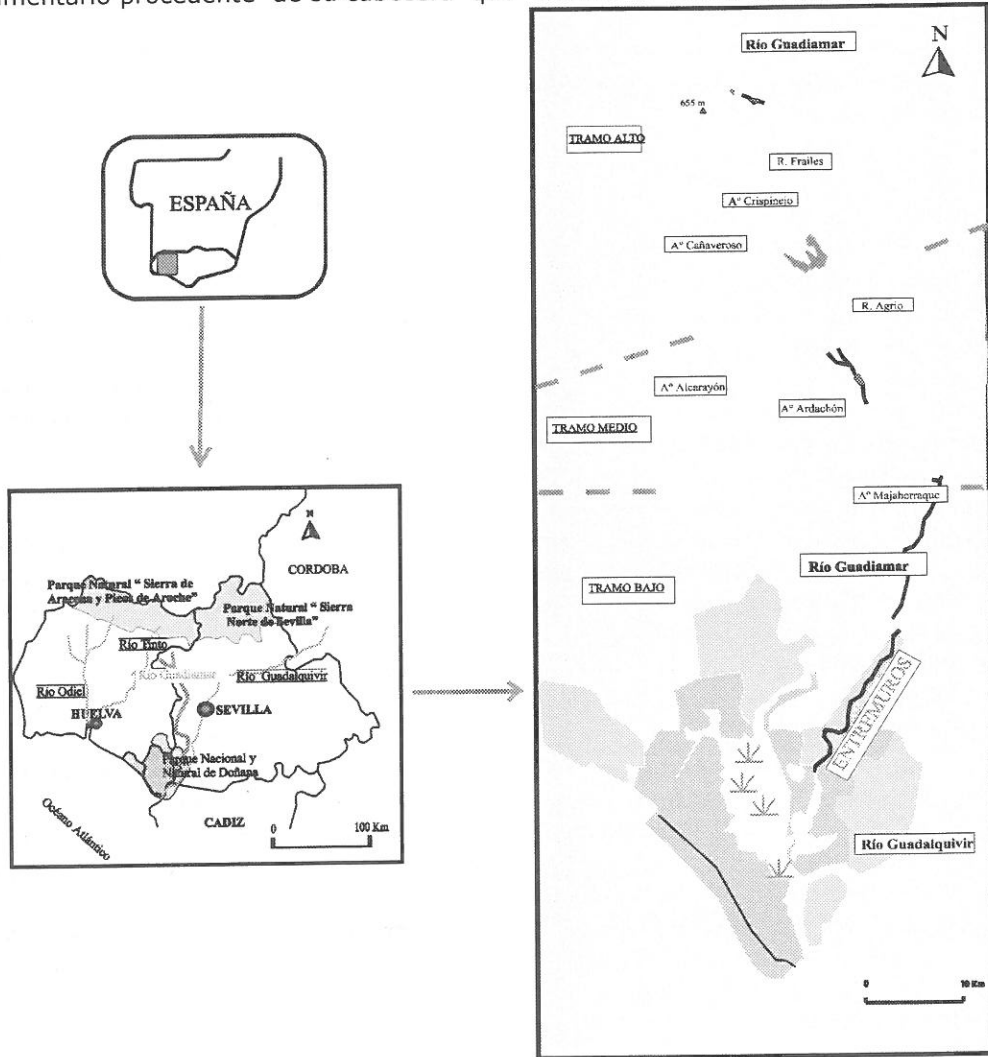


Figura 1. Localización del río Guadamar y ubicación de la zona de Entremuros en su cuenca hidrográfica.

integrado, exclusivamente, por materiales finos y muy finos (limos y arcillas). Por sus peculiares características físicas, este último tramo del río ha sufrido importantes presiones antrópicas que lo han ido secularmente transformando hasta alcanzar su culmen durante los siglos XIX y XX, con la rectificación del cauce del Guadalquivir para su navegación, la construcción de cortas y embalses de regulación en su cuenca

así como la desecación del tramo mareal para usos agrícolas (Ministerio de Medio Ambiente, 2001). Sin embargo, la obra que mayores consecuencias ha tenido sobre la dinámica hídrica de este área, fue la desviación y posterior canalización en 1950 de las aguas del río Guadamar desde el término municipal de Villamanrique de la Condesa hasta el Brazo de la Torre. Esta obra consistió en un encauzamiento denominado "canal de aguas mínimas" de 3-4 m de anchura, limitado en sus márgenes por sendos muros de tierra de 2 m de altura y separados 1 Km de distancia. Con ello se impuso una importante restricción a la funcionalidad hidrológica de la marisma por cuanto las aguas confinadas entre los muros no podían inundarla durante los momentos de crecida, mientras que en los caudales ordinarios el nuevo cauce representa el único drenaje de la zona que evacua las aguas al Guadalquivir a la altura del meandro denominado "el Matochal".

Se produce así una importante disminución de las condiciones de "naturalidad" (Bradley, 1997) en el funcionamiento hidrológico del río Guadamar y de su llanura de inundación, pasando a una situación de "artificialidad" que con posterioridad se ha mostrado responsable de los numerosos problemas de tipo sedimentario, hidrológico y geomorfológico que padece la zona (Baena y Guerrero, 2002). Pero también ha tenido ventajas indudables de cara a mantener a salvo de las inundaciones los extensos cultivos de arroz o evitar la entrada de aguas contaminadas procedentes del Guadamar en el Parque Nacional de Doñana. Esta última función, quedó puesta de manifiesto durante el vertido minero de la empresa Boliden-Apirsa en abril de 1998, el cual representó por magnitud (más de 5 mill. de m³ de residuos tóxicos entre lodos y aguas ácidas) y extensión (aprox. 4300 has) uno de los mayores desastres ecológicos de los últimos años en España (Coopers & Lybrand, 1998; Guerrero y Baena, 2000). Fue entonces cuando Entremuros actuó como una gran balsa de retención de las aguas ácidas impidiendo que éstas alcanzasen el Parque Nacional de Doñana. Esto supuso, una vez más, una alteración de su fisiografía, por cuanto tras ser tratadas estas aguas para su evacuación al Guadalquivir, hubo que proceder a la retirada de la capa superior del terreno contaminado. Ante esta realidad, la administración autónoma se planteó llevar a cabo una restauración ambiental urgente del sector de Entremuros que, ante la falta de experiencia en la materia y la inexistencia de morfologías naturales en la llanura que permitiesen comprender su funcionamiento hidrodinámico, necesitaba de un estudio retrospectivo que pusiese de manifiesto los elementos morfohidrológicos que lo caracterizaban con anterioridad a las intervenciones humanas de los años 50. Se daban así unas condiciones para ensayar nuevas formas de restauración fluvial alejadas de las más tradicionales llevadas a cabo en España hasta la fecha y basadas, fundamentalmente, en el "acondicionamiento ambiental" con la aplicación de técnicas de carácter bioingenieril (Schmidt y Otaola-Urrutxi, 1999). Por el contrario, se trataba ahora de apostar por concepciones ecodinámicas (Díaz del Olmo y Baena, 1999), ya ensayadas en algunos ríos europeos (Rhin-Alemania, Danubio-Austria, Loira-Francia) (Dister, 1999), y cuyas bases conceptuales, métodos y herramientas de análisis proceden fundamentalmente de la Geomorfología Fluvial (Pardé, 1951; Tricart, 1961; Thornes, 1980; Lewin 1983). Estos presupuestos se basan fundamentalmente en la concepción de la cuenca y el cauce

fluvial como unidad de funcionamiento integral y sistémico (Schum, 1977; Richards, 1982) en la cual se desarrolla un "continuum morfológico" (cauce y riberas) al mismo tiempo que se constituye como un sistema abierto de proceso-respuesta (llanura aluvial). O lo que es lo mismo, se trata de controlar la dimensión temporal y espacial del sistema para, en primer lugar definir la dinámica hídrica y sedimentaria; y en segundo, establecer una jerarquía escalar en la cuenca (sectores, tramos, segmentos, unidades fluviales,...) que proporcione los fundamentos necesarios para plantear el esquema de restauración.

En base a esto se ha intentado restablecer unas condiciones de funcionamiento del sistema fluvial del Guadiamar, mediante la potenciación de tres ideas principales: la integridad ecológica del sistema aluvial y sus formaciones geomorfológicas asociadas (Díaz del Olmo y Baena, 1999); la potenciación de la dinámica fluvial (flujos hídricos y sedimentos) tanto longitudinal como transversal seriamente restringida por numerosos obstáculos (graveras, diques, vados, vertidos sólidos, ets.) y el avance de los cultivos; y por último, la formalización de una "restauración pasiva" de los principales elementos morfohidrológicos (Díaz del Olmo y Baena, 2000) respetando el "espacio de libertad fluvial" que el río necesita (Dister, 1999).

Este artículo que da a conocer el método empleado en la restauración, presenta las principales unidades y elementos morfohidrológicos del sector en los años 50 y la evolución de su dinámica, plantea la propuesta de restauración y por último, analiza, críticamente, las actuaciones llevadas a cabo por parte de la empresa pública encargada de su ejecución.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada ha consistido en el análisis fisiográfico de la situación de los años 50, mediante la realización de una cartografía geomorfológica detallada a escala 1:10.000 del sector de Entremuros comprendido entre la confluencia del Aº de la Cigüeña con el Guadiamar y el meandro de la Vuelta de la Arena (Fig.2) a partir de los fotogramas del vuelo americano de 1956 a escala 1: 30.000. Estas fotografías, a pesar del ligero desfase temporal con las primeras actuaciones antrópicas (años 50), han permitido delimitar los elementos morfohidrológicos fundamentales en la dinámica hídrica de este tramo fluvial para la fecha, dado que aunque se había construido el nuevo cauce y el muro de levante, aún el grado de colmatación de la marisma por sedimentos continentales era muy incipiente y los cultivos de arroz sólo afectaban a la margen derecha. De igual modo, también han sido analizadas e interpretadas las ortofotos digitales de enero de 1998 a escala 1:8000 y las del año 2001 correspondientes al vuelo realizado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, cuya información se ha completado con diversos reconocimientos de campo. Además se han levantado tres secciones transversales (Fig. 3) correspondientes a un mismo lugar de referencia (Vado de Los Vaqueros) durante los años mencionados de cara a plasmar los cambios más importantes acaecidos en la zona hasta el estado actual de la restauración ambiental.

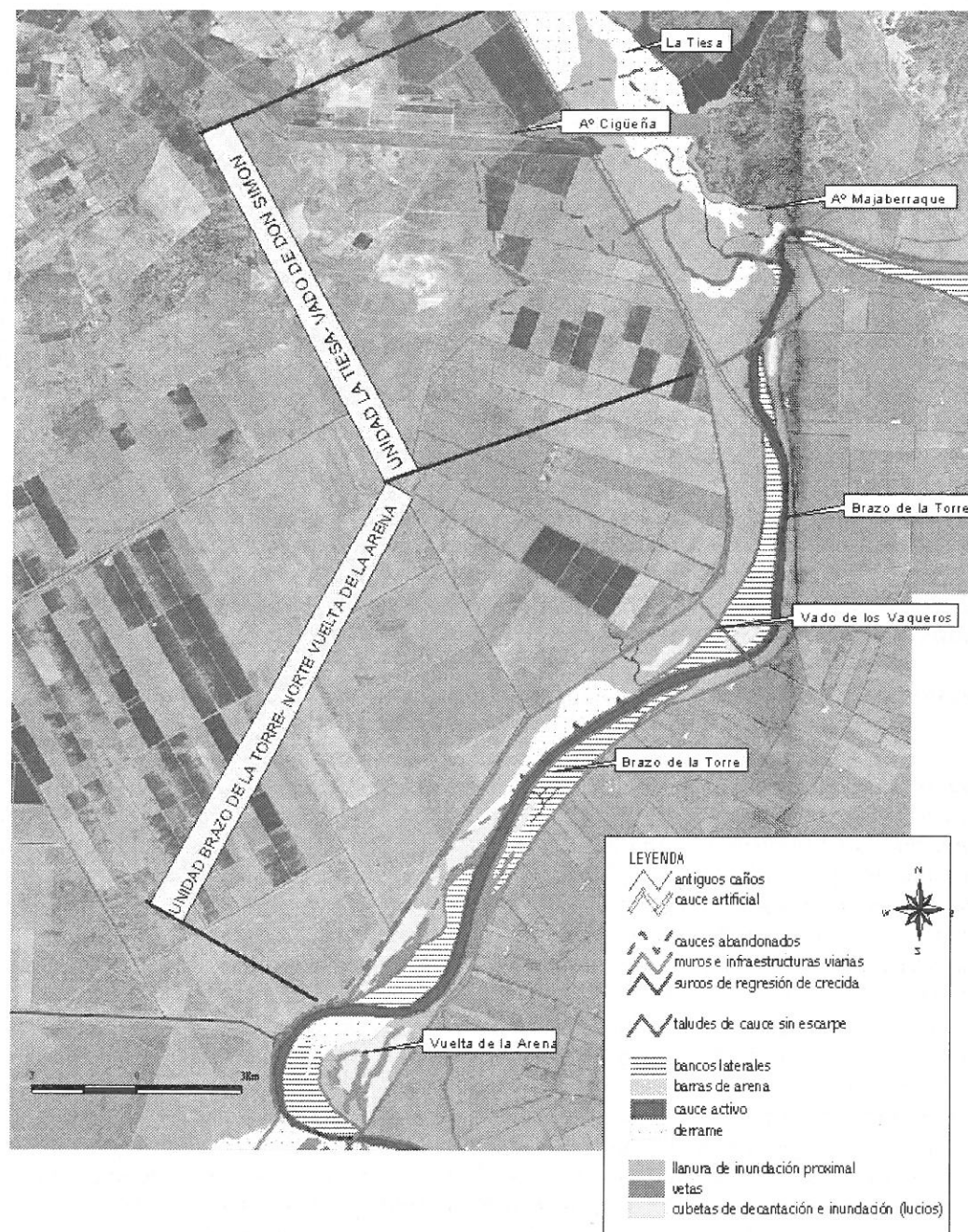


Fig. 2. Principales unidades y elementos morfohidrológicos de Entremuros en 1956.

3. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y DINÁMICA DE ENTREMUROS EN 1956

La cartografía geomorfológica levantada al efecto (Fig.2), pone de manifiesto la existencia en el sector de estudio de dos unidades morfohidrológicas de variado comportamiento dinámico en los años 50.

Unidades y elementos morfohidrológicos.

- *La Tiesa-Vado de Don Simón*

Se extiende desde la confluencia del río Guadiamar con los arroyos de la Cigüeña y Cañada Honda hasta la confluencia de la Madre Vieja del Guadiamar con el arroyo Majaberraque. Se caracterizaba entonces, por una serie de cauces anastomosados con alta sinuosidad de conjunto y por depósitos areno-limosos (derrames o *crevasse splay*) generados durante momentos de inundación en manto por los cauces que progresivamente se colmataban y cambiaban de trazado. Como elemento morfohidrológico más representativo, junto a las formas de desbordamiento ya mencionadas, resaltaremos la existencia de una amplia llanura de inundación proximal parcialmente limitada por diques artificiales (aún no se había construido el Muro de Poniente) y afectada por el funcionamiento de las crecidas ordinarias (agua y sedimento), constituyendo la marisma mareal de la zona. Aguas abajo la unidad enlazaba con el Brazo de la Torre como lecho único de carácter calibrado y características morfométricas claramente diferentes de las del cauce natural del río Guadiamar debido a su anterior pertenencia al trazado del Guadalquivir y por tanto a un funcionamiento hidráulico de características superiores a las del Guadiamar.

- *Brazo de la Torre-Norte de la Vuelta de la Arena.*

Integrada por el antiguo brazo del Oeste del Guadalquivir y sus márgenes. En ella, cuatro tipos de elementos morfohidrológicos definían, desde el cauce hacia las riberas, la funcionalidad de este sector: bancos laterales, llanura de inundación proximal, vetas y lucios-humedales. Los primeros representaban morfologías planas ubicadas en las márgenes convexas del cauce y topográficamente por debajo del nivel general de la marisma de la que quedaban separados mediante un escarpe neto de claro desarrollo longitudinal siendo sus sedimentos finos y originados por desbordamientos de sobrecanal (*bank-full*). Por otra parte, la llanura de inundación era la prolongación de la presentada en la unidad anterior, estando expuesta en toda su magnitud a los procesos biológicos, biofísicos, de meteorización y de colmatación, provocados por las crecidas ordinarias y que han terminado sepultando la antigua marisma mareal. Sobre estas dos grandes morfologías, se desarrollaban otros dos elementos morfohidrológicos de importancia: vetas y lucios-humedales. Las primeras como elevaciones de pequeña entidad (menos de 50 cm de altura) de formas alargadas y suaves pendientes, integradas por sedimentos limosos depositados en forma de levée. Los segundos representaban someras depresiones que recogían agua tanto de lluvia como de origen fluvial y que funcionaban como humedales estacionales de indudable valor geo-hidroecológico.

Funcionamiento hidrodinámico.

El análisis de los anteriores elementos permite interpretar un variado comportamiento hidrodinámico de Entremuros en los años 50, relacionado, evidentemente, con la cantidad de caudal y carga procedentes del dominio continental (ríos Guadiamar, Guadalquivir y arroyos colindantes) y su interacción con los flujos y reflujos mareales dentro del Brazo de la Torre. Por otra parte, su consideración en cuanto a la dinámica de flujos nos sugiere una doble componente espacial en el funcionamiento del sistema, vinculada en unas ocasiones, a los cauces y los bancos laterales como delimitadores del espacio mínimo de **libertad fluvial**; y en otras a la llanura de inundación, donde los diferentes elementos morfohidrológicos marcaban las componentes direccionales y el ritmo de permanencia de la lámina de agua. Dos momentos serían claves en el funcionamiento hidrodinámico de la zona. A saber:

- *En aguas bajas continentales.*

El funcionamiento hídrico del sistema estaba definido por los caudales ordinarios del Guadiamar y sus afluentes dentro de los cauces activos, donde la altura de la lámina de agua fluctuaba en función de la situación de la marea. Así, en situaciones de entrada de flujo mareal, se originaba el estancamiento de las aguas continentales y la deposición de sedimentos finos por decantación y floculación. Por el contrario, acompañando al reflujo mareal, se producía la evacuación de los caudales acelerándose la corriente en el cauce y generando colapsos y deslizamientos rotacionales de márgenes.

- *En aguas medias-altas continentales*

Correspondía a los momentos de crecida, con dos situaciones diferenciadas: a) las originadas durante inundaciones de menor magnitud, cuyos efectos dependían de la situación mareal que frenaba la evacuación hídrica y provocaba los desbordamientos rápidos y enérgicos sobre los bancos laterales. En estos casos, el reflujo de las aguas en el cauce principal tras el momento álgido de la crecida generaba, a su vez, pequeños canales de arroyada concentrada (surcos de regresión de crecida) que vaciaban estos bancos y algunos sectores de la llanura, o bien alimentaban los lucios que actuaban a modo de cubetas de decantación. b) las generadas durante las crecidas extraordinarias (más de 500 m³/s), que producían inundaciones "en manto" de sentido N-S sobre la llanura de inundación, una vez se desbordaba el agua de los cauces activos y los bancos laterales. Era en estos casos cuando vetas y derrames, desempeñaban un papel fundamental en la distribución de flujos y en la descarga sedimentaria.

4. EVOLUCIÓN DE LA ZONA DE ENTREMUROS ENTRE 1956 Y 1998

Desde que se produce la intervención antrópica hasta el año del accidente minero, la dinámica de este sector ha estado, fundamentalmente, condicionada por la interrupción de la influencia estuarina al quedar su conexión con el Brazo de la Torre cortada por el Muro de Levante en la Vuelta de la Arena. Como consecuencia, desaparece la interacción flujos continentales-mareales dentro de la sección del cauce, perdiendo éste sus parámetros de calibración y calado por colmatación

progresiva (1,5- 2 m de profundidad en 1956 a menos de 1 m en la actualidad). Por otra parte la implantación, a lo largo de los años posteriores, de estructuras transversales de todo tipo (caminos, vados, puentes, canales de riego y drenaje, etc) dentro de Entremuros ha determinado una importante retención de sedimentos en los bancos laterales y en la llanura de inundación (Fig. 3A), alterándose el perfil longitudinal existente en 1956. Así entre esta fecha y 1998, la colmatación del Brazo de la Torre y su reducción de anchura (de 120 m a 50 m en la actualidad) junto a la desaparición de los bancos laterales y de la propia llanura de inundación, han propiciado una inversión de la topografía longitudinal de la zona que conlleva, en momentos de crecida, el retroceso de los flujos hídricos desde Vuelta de la Arena hacia la cabecera de Entremuros produciendo un flujo de resaca, aguas arriba, una vez disipada la onda de energía de la avenida. Por su parte, la puesta en cultivo del interior de Entremuros con las consiguientes operaciones de nivelación y gradeado del terreno ha contribuido a la desaparición de todos los elementos morfohidrológicos ya mencionados (Fig. 3B), lo que acrecienta aún más la nueva función de esta zona como gran cubeta de decantación del río Guadamar. En este contexto se produce el accidente minero de Boliden-Apirsa con las posteriores tareas de limpieza y retirada de suelos y sedimentos contaminados, que nuevamente alteran la topografía y obliga a establecer unas actuaciones de restauración acordes con la nueva realidad ambiental.

5. PROPUESTAS DE RESTAURACIÓN

Partiendo de lo anterior, la restauración de Entremuros pasaba ineludiblemente, por recuperar la especificidad morfohidrológica de este sistema fluvial así como la distribución de procesos y sedimentos correspondiente a su anterior dinámica hidrológica. Para ello, se propuso llevar a cabo una restauración pasiva, o sea, provocar que el sistema fluvial volviera a sus propias condiciones de funcionamiento, una vez recuperados ciertos elementos morfohidrológicos y teniendo en cuenta que momentáneamente no estaba previsto ni el desmantelamiento de los muros, ni la recuperación de la conexión del Brazo de la Torre ni tampoco el aterramiento del canal de aguas mínimas por pertenecer las competencias a la administración central (Confederación Hidrográfica, Ministerio de Medio Ambiente). Con estos condicionantes, se propusieron las siguientes actuaciones: a) dragado y acondicionamiento del Brazo de la Torre según los parámetros de los años 50 (Fig. 3C), b) levantamiento de todas las infraestructuras de fábrica (puentes, vados, canales de riego y drenaje, etc), c) marcado de la ruptura de pendiente de los bancos laterales para definir el espacio mínimo de libertad fluvial en la llanura de inundación, d) construcción de vetas de 20-30 cm de altura ubicadas en la llanura de inundación proximal y conformación de lucios recuperando el trazado de las cubetas de inundación presentes en 1956 y la situación de los levées y derrames más importantes.

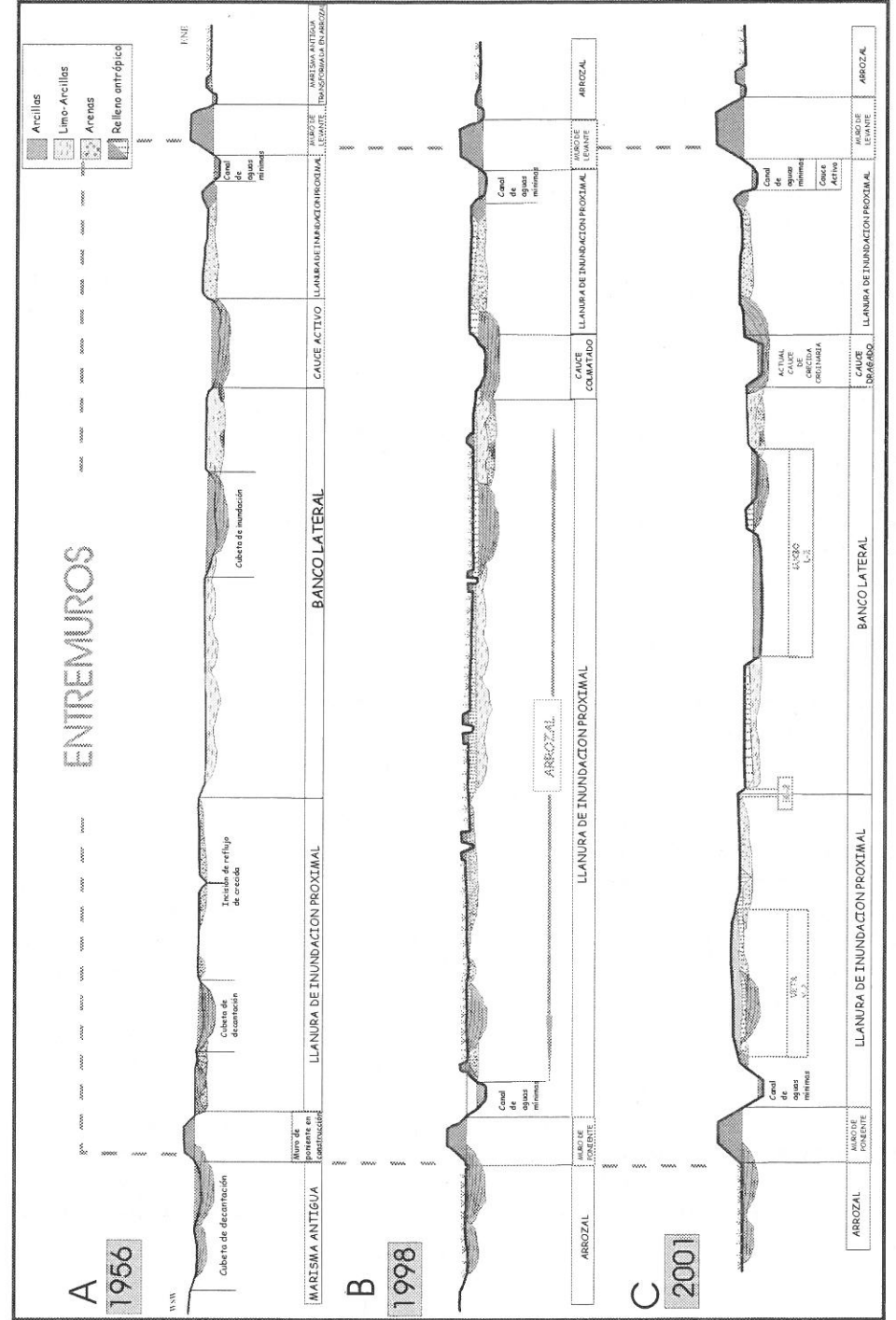


Fig.3 A, B, Y C: Secciones transversales del Vado de los Vaqueros en Entremuros desde el año 1956, con las primeras intervenciones antrópicas, hasta el 2001 con las actuaciones de restauración ejecutadas.

Sin embargo estas actuaciones no se llevaron a cabo tal y como aquí se indica, ya que los ingenieros encargados del proyecto acometieron las obras antes de la entrega del informe geomorfológico, realizando una extrapolación a esa zona de un modelo morfohidrológico local de "lucio-veta", propuesto por nosotros con anterioridad (Díaz del Olmo y Baena, 2000), para el meandro de Vuelta de la Arena.

Esto supuso que nuestra propuesta de restauración fuese mal ejecutada realizándose sólo de forma parcial algunas actuaciones (Fig. 3 C): el dragado del Brazo de la Torre hasta el Vado de los Vaqueros con unas dimensiones algo menores de lo aconsejado, la recuperación de un único tramo de banco lateral de los 5 propuestos, la conformación de vetas (V-2) en lugares donde según nuestra interpretación diacrónica lo que existía eran cubetas de decantación, y la implantación de lucios únicamente sobre el banco lateral del tramo correspondiente al Vado de los Vaqueros. Por tanto, la restauración efectiva ha reproducido, de nuevo, un modelo ingenieril "simplista", en este caso de construcción de vetas y lucios, totalmente alejado de la compleja realidad morfohidrológica presente en este tramo del río Guadiamar.

El resultado de esta actuación ha podido ser objeto de seguimiento por nuestra parte tras las inundaciones de los años 2000-2001, poniéndose de manifiesto el correcto funcionamiento de los lucios como trampas de sedimentos procedentes del cauce y como humedales de alto valor ecológico, así como el de los bancos laterales como llanura de inundación funcional. En cuanto al sistema de vetas, pese a no estar correctamente ubicadas, han desempeñado bien su función ecológica y morfohidrológica diversificando la dirección de los flujos de crecida procedentes del canal de aguas mínimas del muro de poniente. No obstante, la falta de adecuación del cauce del Brazo de la Torre desde el Vado de los Vaqueros ha sido la responsable de los principales problemas detectados. Por un lado al propiciar el funcionamiento en "manto" de las crecidas a partir de este punto con el consiguiente incremento en las tasas de deposición de sedimentos que circulaban en suspensión; y por otro, al producirse la retención de los flujos por la falta de conexión de Entremuros con el Brazo de La Torre como salida natural. Como hecho más singular queremos destacar la llegada, como consecuencia de las tareas de limpieza en el sector inmediato a la mina, de sedimentos gruesos (gravas y arenas) al sector anastomosado de Entremuros, los cuales, debido a la no ejecución de nuestras recomendaciones de construcción de una veta transversal que indujera la concentración de flujos hacia el cauce de la "madre" vieja del Guadiamar, han originado una avulsión sobre la llanura de inundación proximal, de granulometría totalmente desconocida hasta la fecha en la zona.

6. CONCLUSIONES

Tras el seguimiento de las crecidas del río Guadiamar en relación con las actuaciones de restauración ejecutadas en el mismo, podemos decir que los resultados obtenidos han sido parcialmente satisfactorios debido a los siguientes condicionantes: a) en la restauración fluvial han pesado más los aspectos técnicos y presupuestarios

que los científicos; b) la existencia de condicionantes insalvables, hasta el momento, como la falta de conexión del Brazo de la Torre y la falta de adecuación del mismo a los parámetros necesarios para un correcto funcionamiento como cauce ordinario; y c) a que en ningún modelo de restauración se puede pretender volver a situaciones pasadas sin que se permita el funcionamiento libre de la dinámica actual, como única forma de alcanzar un nuevo estado de equilibrio dinámico que conlleve la recuperación de unas nuevas condiciones ambientales lo más óptimas posibles para la zona.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es una contribución al Proyecto "Seguimiento de la dinámica geomorfológica en el río Guadiamar y sus márgenes para la restauración ecodinámica del cauce y su llanura aluvial" PICOVER, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía y al Grupo de Investigación HUM-679 "Geografía Física Aplicada y Patrimonio".

BIBLIOGRAFÍA

- Baena Escudero, R. y Guerrero Amador, I. (2002). Morphohydrological elements and unities from Entremuros (National Park of Doñana) to restore its original dynamics. En *Integrated assessment and management of the ecosystems affected by the Aznalcollar mining spill (SW, Spain)*. Del Valls, A. & Blasco, J. eds. IOC/ICAM/UNESCO Technical report, 115-120.
- Bradley, C. (1997). River and floodplain restoration: status and practice. En *Progress in Physical Geography*, 21-4, 605-610.
- Coopers & Lybrand (1998). *Informes sobre el seguimiento del accidente de Aznalcóllar*. Junta de Andalucía, Sevilla, 59.
- Díaz del Olmo, F. y Baena Escudero, R. (1999). La restauración geomorfológica del río Guadiamar. En *Seminario internacional sobre Corredores Ecológicos y Restauración de Ríos y Riberas. Aplicación a la Cuenca del río Guadiamar* (Consejería de Medio Ambiente, ed.). Junta de Andalucía, Sevilla, 40-41.
- Díaz del Olmo, F. y Baena Escudero, R. (2000). Seguimiento de la dinámica geomorfológica en el río Guadiamar y sus márgenes para la restauración ecodinámica del cauce y su llanura aluvial. En *Programa de Investigación del Corredor Verde del Guadiamar (PICOVER)* (Consejería de Medio Ambiente, ed) Junta de Andalucía, Sevilla, 192-194.
- Dister, E (1999). La experiencia de programas de restauración de ríos y riberas en Europa. En *Seminario internacional sobre Corredores Ecológicos y Restauración de Ríos y Riberas. Aplicación a la Cuenca del río Guadiamar*. (Consejería de Medio Ambiente, ed.). Junta de Andalucía, Sevilla, 36.
- Guerrero Amador, I. y Baena Escudero, R. (2000). La dialéctica explotación-conservación de los recursos naturales en el ámbito mediterráneo: el desastre del Guadiamar (Sevilla) y sus implicaciones sobre Doñana. En *Hacia un nuevo espacio mediterráneo*. (R, Jordá Borrell; J, Navarro Luna y J, Miranda Bonilla, eds) Barcelona, 27-35.
- Lewin, J. (1980). Changes of channels-patterns and floodplains. En *Background to Palaeohydrology* (Gregory, K.J., ed.). 221-233.

- Ministerio de Medio Ambiente (2001). *Regeneración hídrica de las cuencas y cauces vertientes a las marismas del Parque Nacional de Doñana. Documento Marco para el Desarrollo del Proyecto Doñana 2005*. Madrid, 201.
- Pardé, M. (1951). Sur le mécanisme des transports solides effectués par les rivières et sur l'altération consecutive des lits fluviaux. *Revue Géographique Alpine*. Nº 5-40, 289-315 et 757-788.
- Richards, K. (1982). *Rivers: form and processes in alluvial channels*. Methuen, London, 358.
- Schmidt, G y Otaola-Urrutxi, M (1999). La experiencia de programas de restauración de ríos y riberas en España. En *Seminario internacional sobre Corredores Ecológicos y Restauración de Ríos y Riberas. Aplicación a la Cuenca del río Guadamar*. (Consejería de Medio Ambiente, ed.). Junta de Andalucía. Sevilla, 37.
- Schum, W (1977). *The fluvial system*. Ed. J. Wiley & Sons, New York, 338 pp.
- Thornes, J.B. (1980). *Rivers channels*. Mac Millan, London, 46.
- Tricart, J. (1961). Los tipos de lechos fluviales. *Revista Geográfica*, vol. II, nº5-6, 7-19.

EROSIÓN DE SUELOS EN LOS TRÓPICOS: APLICACIÓN DE LA *RUSLE* A LA CUENCA DEL RÍO NANDU (ISLA DE HAINAN, CHINA).

GUERRO, G.¹; URIBELARREA DEL VAL, D.¹; PÉREZ-GONZÁLEZ, A.¹ y BENITO, G.²

¹ Departamento de Geodinámica. Facultad de Geológicas. Universidad Complutense de Madrid. ² CSIC-Centro de Ciencias Medioambientales.

RESUMEN: El propósito de este estudio es la evaluación de la pérdida de suelo actual por erosión hídrica, tanto anual como para las estaciones seca y húmeda, en una zona tropical monzónica como es la cuenca del río Nandu en la Isla de Hainan, (Mar del Sur de China). De acuerdo con los datos disponibles para la cuenca, se ha adaptado el modelo de erosión de la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo Revisada - R.U.S.L.E.- integrándolo en un Sistema de Información Geográfica *Idrisi 32*. Este método permite diferenciar áreas de mayor erosión por prácticas actuales inadecuadas de manejo de los suelos, lo que puede ayudar a planificar un desarrollo sostenible para la cuenca del río Nandu y por extensión a la isla de Hainan.

Palabras Clave: Erosión hídrica, *RUSLE*, Suelos tropicales, cuenca del río Nandu, Isla de Hainan, China.

ABSTRACT: "Erosion Soils in the Tropics: Adapting the *RUSLE* to the Nandu River Catchment(Hainan Island, China)."

The purpose of this study is the estimating the real soil loss by water erosion in a tropical climatic regime within of the Nandu river catchment in Hainan Island, (South China Sea). In agreement with the available data for the catchment, one has adapted the model of erosion of the Revised Universal Soil Loss Equation - R.U.S.L.E. - it integrating in a Geographical Information System, *Idrisi 32*. This method allows to differentiate areas of major erosion for current inadequate practices of management of the soils, which can help to plan a sustainable development for the Nandu river catchment and for extension to Hainan island.

Keywords: Water erosion, *RUSLE*, Tropical soils, Nandu river catchment, Hainan island, China

1. INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura en los medios tropicales para obtener una mayor producción de alimentos, tiene como consecuencia la sustitución del medio natural original (*Tropical Rain forest*) por un medio de vegetación secundaria y cultivos que altera el horizonte superficial del suelo (*topsoil*), quedando unos horizontes profundos (*subsoil*) poco productivos, Lal (1990). Estas zonas tropicales debido a sus características climáticas, topográficas, litológicas y edáficas, son muy susceptibles a los procesos erosivos ya que la sobreexplotación y mal uso de sus recursos pueden incrementar drásticamente el riesgo de erosión.