

**UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS Y TÉCNICAS  
DEL AGUA Y DEL MEDIO AMBIENTE**

## **TESIS DOCTORAL**

**DESARROLLO E INTEGRACIÓN DE  
MODELOS NUMÉRICOS DE CALIDAD  
DEL AGUA EN UN SISTEMA DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**AUTORA**

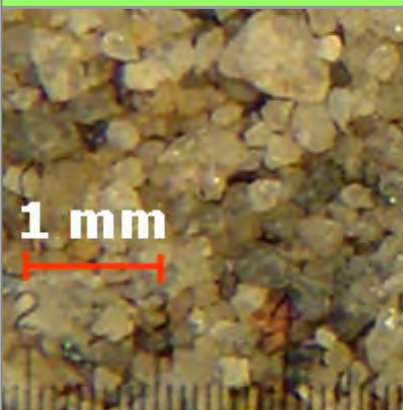
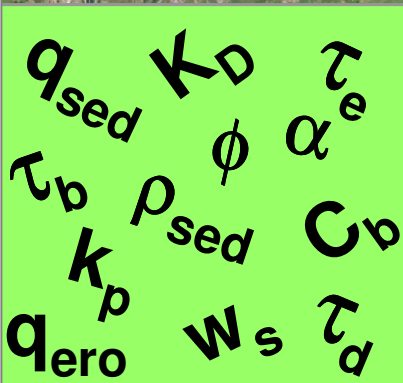
María Luisa Sámano Celorio

**DIRECTORES**

Andrés García Gómez

José Antonio Revilla Cortezón

Santander, 2011



## **4. PROCEDIMIENTOS METODOLÓGICOS PARA LA INTEGRACIÓN DEL MODELO DESARROLLADO EN UN ENTORNO SIG**

---

En este capítulo se describen y analizan, someramente, los aspectos más relevantes de la herramienta AQUALAB 2.0 como parte de los antecedentes con los que se cuenta en este campo. Asimismo, se resaltan las ventajas de la integración de modelos numéricos dentro de un entorno SIG de acuerdo con lo observado en experiencias previas y analiza la forma de agilizar la visualización de los resultados actualmente generados por esta herramienta.

No obstante, el aspecto fundamental de este capítulo se centra en la propuesta de metodologías para la adecuada integración de los resultados obtenidos del modelo numérico desarrollado para el análisis de la evolución de sustancias contaminantes considerando su interacción con los sólidos en suspensión dentro de un entorno SIG. Por tal motivo, comprende temáticas tales como gestión de mallas de cálculo incluyendo transformaciones entre distintos formatos (dentro y fuera del entorno SIG), procesos de modificación y visualización de mallas de cálculo, interpolación de datos puntuales para generación de mallas que contengan la información de algún parámetro determinado en campañas de campo, así como los procesos relativos a la visualización de los resultados generados.

Asimismo, pretende establecer un referente en términos de la utilización de los resultados de los modelos numéricos desde una perspectiva de gestión a fin de establecer una herramienta de uso general que facilite la toma de decisiones con respecto a las medidas que habrán de aplicarse para

prevenir o, cuando menos, controlar la contaminación que experimentan los estuarios en función de los vertidos que soportan. Tal es el caso, por ejemplo, del establecimiento de las zonas de mezcla en las inmediaciones de vertidos de fuentes puntuales. En estas zonas, la Directiva 2008/105/CE permite que las concentraciones de una o más sustancias prioritarias superen las normas de calidad ambiental correspondientes siempre que en el resto de la masa de agua se mantenga su cumplimiento. Su cálculo puede llevarse a cabo a través de un modelo numérico mientras que los resultados generados pueden ser representados de forma ágil y funcional introduciendo esta información en un entorno SIG.

Cabe comentar que, entre otras, las opciones de las que dispondría el usuario a través de dicha herramienta incluyen la gestión de hidrogramas y polutogramas de vertido, el análisis estadístico de los resultados por celda o por zona y la superposición de información de distinto tipo. Todo ello permitiría un adecuado establecimiento de puntos de control y muestreo así como la implantación de distintas estrategias de gestión de acuerdo con las condiciones particulares del entorno cercano a la zona afectada. En consecuencia, una herramienta como esta brindaría al gestor, además del apoyo técnico previamente mencionado, la posibilidad de reducir costes de forma significativa indicando, por ejemplo, las zonas en las que puede ser prescindible llevar a cabo campañas de campo y resaltando aquellas que requieren de un control más estricto con respecto a determinados parámetros, época del año, etc. de tal forma que los recursos necesarios para ello podrían ser optimizados.

## **4.1. ANTECEDENTES: AQUALAB 2.0**

---

---

Tal y como se ha comentado, los esfuerzos realizados por el Grupo de Emisarios Submarinos e Hidráulica Ambiental (GESHA) de la Universidad de Cantabria en esta línea de trabajo han conducido a una primera aproximación de la herramienta denominada como AQUALAB 2.0. Ésta se constituye con base en el Sistema de Información Geográfica ArcGIS 9 (ArcMap 9.2) y en ciertos modelos numéricos de calidad de agua desarrollados en FORTRAN (García et. al, 2007).

Esta herramienta actualmente es capaz de: generar ondas de marea basadas en una base de datos global de nivel del mar, corregir los niveles de referencia de las batimetrías, generar condiciones en los contornos abiertos, generar un régimen aleatorio de vientos en función de la

probabilidad de ocurrencia en cada región geográfica, ejecutar modelos hidrodinámicos bidimensionales (H2D) y cuasi - tridimensionales (H2DZ) que generan corrientes de marea y de viento, respectivamente y calcular los perfiles de viento correspondientes. Mediante esta herramienta también es posible visualizar y recortar los campos de corrientes obtenidos. Asimismo, permite ejecutar, visualizar y analizar un modelo tridimensional de transporte (AD3D) que actualmente ofrece la posibilidad de llevar a cabo estudios de sustancias conservativas, coliformes y oxígeno disuelto (Figura 4-1).

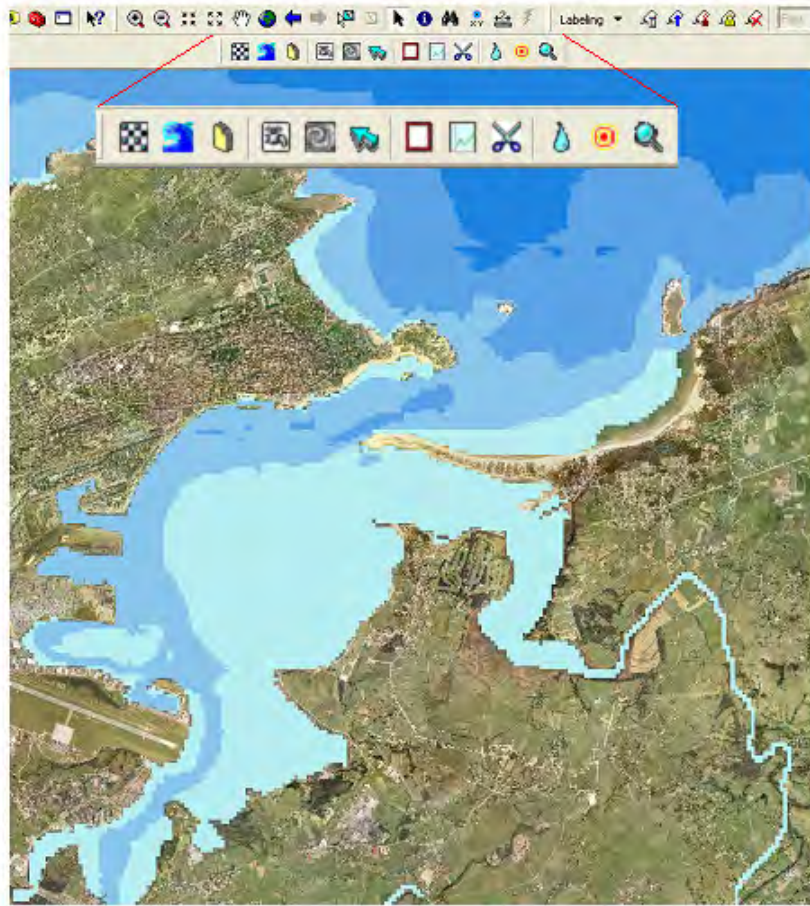
La integración de los modelos numéricos en ArcGIS 9 provee a AQUALAB 2.0 con los componentes básicos de este SIG: ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox. Por tal motivo, esta herramienta cuenta con una aplicación para entrada y salida de datos, así como de búsquedas estadísticas y geográficas gracias a ArcMap. Además, tiene la capacidad de organizar y documentar los datos geográficos a través de ArcCatalog. Por último, el componente ArcToolbox permite el geoprocesamiento, es decir la combinación de capas de información, manipulación de los datos de definición y la transformación de sistemas de coordenadas, entre otras muchas funciones de conversión y análisis que resultan esenciales para el adecuado aprovechamiento de toda la información disponible.

A pesar de que esta nueva herramienta se encuentra aún en una fase temprana de desarrollo y, por tanto, la representación de resultados todavía es poco ágil, ya ha demostrado ciertas ventajas en algunos casos de aplicación tales como:

- La posibilidad de visualizar la localización geográfica de la malla de estudio, y por lo tanto, la posibilidad de corregir la georreferenciación en caso de que sea necesario (Figura 4-2).
- La posibilidad de definir con mayor precisión los datos batimétricos de una malla superponiéndola directamente sobre la ortofoto de la zona, lo cual permite localizar, por ejemplo, las zonas de bajos mareales y las celdas que delimitan la línea de costa (Figura 4-3).
- La posibilidad de suprimir o añadir ciertas celdas a una malla con base en selecciones geográficas (Figura 4-4).
- La posibilidad de generar una interfaz de salida de resultados gráfica que puede ser localizada geográficamente mediante la superposición sobre la ortofoto de la zona y que además admite la integración de capas con información de zonas de interés. Así, por ejemplo, para mostrar los resultados de probabilidad de rechazo de una muestra de moluscos sometidos a la acumulación de algún contaminante, es posible, además de llevar a cabo la representación gráfica de estos resultados, superponer una capa que indique las zonas de protección de moluscos. Esto último permite lograr un mayor impacto y una mejor comprensión de los resultados obtenidos (Figura 4-5).

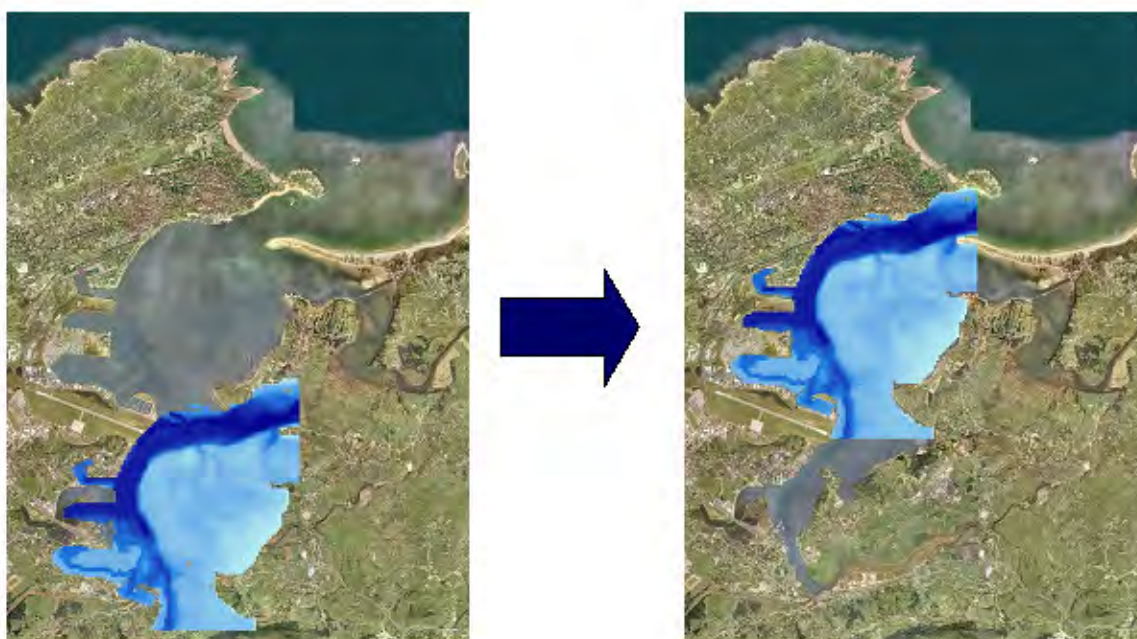
- La posibilidad de utilizar datos batimétricos en otros formatos referenciados a otros sistemas de coordenadas.

Por tal motivo, a la vista de las mejoras que se han obtenido mediante el uso de AQUALAB 2.0 y, tomando en cuenta el tipo de resultados que se generan a través de la utilización del modelo desarrollado, se considera sumamente oportuno detallar las metodologías propias de integración de este nuevo modelo en un entorno SIG para que, en caso de que en un futuro se juzgara oportuno actualizar esta herramienta, las posteriores versiones de AQUALAB posean una mayor versatilidad y una representación de resultados más ágil con respecto a las funciones actualmente disponibles.



**Figura 4-1. Barra de herramientas de AQUALAB 2.0.**

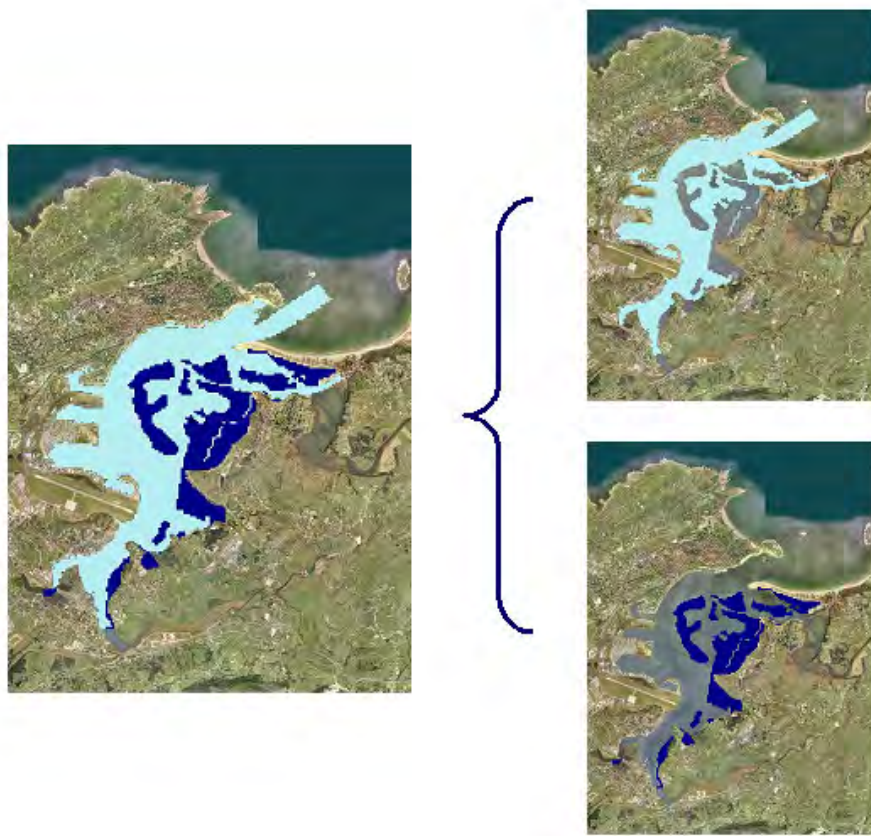




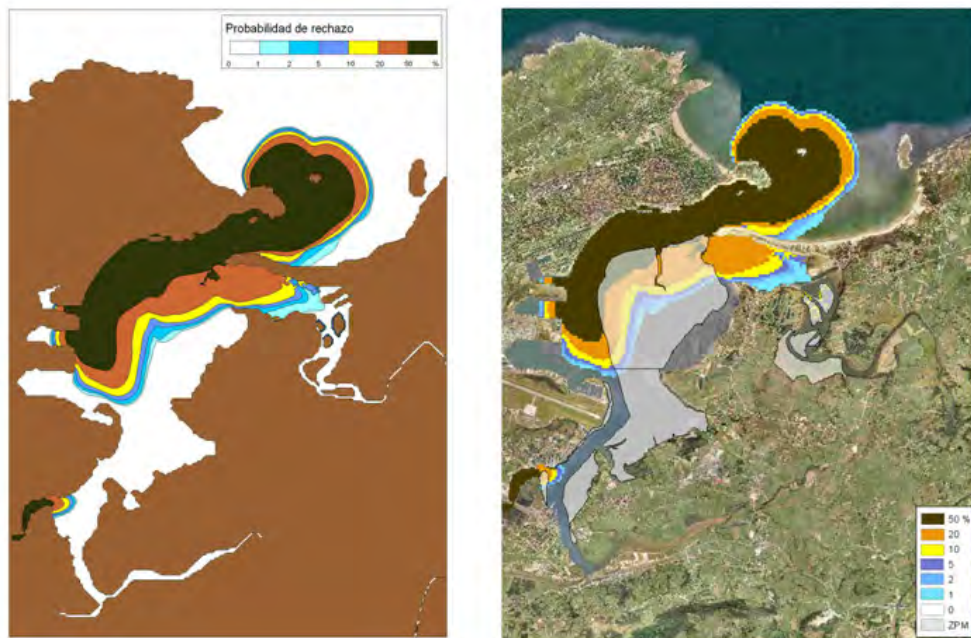
**Figura 4-2.** Malla mal georeferenciada (izq). Malla con la georeferenciación correcta (dcha.)



**Figura 4-3.** Datos batimétricos sin tratar (izq.). Datos batimétricos tratados utilizando la propia ortofoto como guía.



**Figura 4-4. Malla con regiones de inundación-secado (izq.). Selección geográfica de las regiones que permanecen inundadas (arriba dcha.) y las que pueden secarse (abajo dcha.).**



**Figura 4-5. Representación de resultados a través de software convencional (izq.). Representación lograda con AQUALAB 2.0 (dcha.).**

## **4.2. PROCEDIMIENTOS DE INTEGRACIÓN DEL MODELO DESARROLLADO CON EL ENTORNO SIG**

---

---

A la luz de las potencialidades que ofrece un entorno SIG, puede advertirse tanto la conveniencia, como la necesidad del establecimiento de procedimientos capaces de integrar los resultados obtenidos a través de la ejecución del modelo desarrollado con un entorno de este tipo. Por tal motivo, a continuación se detallan todos los procedimientos de manejo e integración de la información requerida y/o generada por el modelo desarrollado a fin de poder complementarlo con las opciones que ofrece esta herramienta geográfica.

En todo caso, independientemente del tipo de operaciones que vayan a realizarse dentro del proyecto SIG, se recomienda establecer rutas relativas a las fuentes de datos para evitar que la información se pierda si es que el proyecto se copiara a un dispositivo externo o cambiara de localización dentro del mismo ordenador. Para ello basta con activar el campo "*Store relative path names to data sources*" tras dar seguimiento a la secuencia que a continuación se describe: File/Document Properties/Data Source Options.

### **4.2.1. Generación de mallas de cálculo dentro de un entorno SIG**

La generación de una malla de cálculo utilizando un entorno SIG ofrece, principalmente, dos grandes ventajas:

- La primera es que la información batimétrica suele estar referida en formato .XYZ o .DXF (transformable a XYZ), es decir, en ficheros en los que cada par de coordenadas se corresponde con un valor de profundidad. Al utilizar otro tipo de entornos para la generación de la malla, el problema suele presentarse cuando dicha información está contenida en más de un fichero (por ejemplo cuando la zona de estudio queda comprendida entre dos cartas náuticas) o cuando los ficheros provienen de distintas fuentes por lo que pueden estar referidos a distintos sistemas de coordenadas. Al respecto, el uso de un entorno SIG permite la integración directa de toda la información disponible con independencia del sistema de coordenadas al que se encuentre referida.
- Por otro lado, el generar una malla directamente dentro de un entorno SIG permite superponerla con la ortofoto de la zona de estudio desde su creación, con lo cual, el incremento obtenido en



términos de precisión en cuanto a definición de la malla se refiere, resulta considerable.

Así pues, a continuación se presenta el procedimiento metodológico desarrollado para la generación de una malla en formato .TXT utilizando un entorno SIG.

1. Abrir cada uno de los ficheros de información y guardarlos con formato .TXT. A pesar de que no importa el sistema de coordenadas en el que se encuentre referenciado cada fichero, resulta imprescindible conocer esta información puesto que en etapas posteriores del procedimiento deberá especificarse dicho sistema a fin de lograr la homogeneización de la totalidad de la información.
2. Cargar cada uno de los ficheros .XYZ a un proyecto SIG utilizando la herramienta "ASCII 3D to Feature Class" (ArcToolbox/3D Analyst Tools/ Conversions/From File/ASCII 3D to Feature Class) indicando "Multipoint" para el tipo de capa y seleccionando el sistema de coordenadas al que se encuentra referido. Para esto último es necesario pulsar el botón "Select" y escoger el sistema apropiado (Figura 4-6). Cabe mencionar que si se cuenta con varios ficheros referidos al mismo sistema de coordenadas pueden cargarse en una misma operación agregando cada uno de ellos con ayuda del buscador.
3. La operación anterior sitúa la información obtenida de los ficheros .XYZ en un mismo sistema de coordenadas, adoptando el sistema de referenciación del proyecto en el que se está cargando dicha información. Esta reubicación espacial, aunque correcta, puede adquirir mayor precisión si las capas generadas en el paso 2 se proyectan. Para ello, a través de la herramienta "Project" (ArcToolbox/Data Management Tools/ Projections and Transformations/Feature/Project) debe indicarse el sistema de coordenadas en que se está trabajando. Nótese que en el cuadro de diálogo desplegado por esta herramienta puede visualizarse el sistema de referenciación que originalmente posee la información a proyectar (Figura 4-7).
4. Fragmentar en puntos individuales la información contenida en las capas de puntos generadas puesto que se encuentra almacenada

como "Multipoint", lo que significa que la totalidad de la información ha quedado grabada en unos pocos puntos. Para ello, es preciso utilizar la herramienta "Multipart To Singlepart" (ArcToolbox/Data Management Tools/Features/Multipart To Singlepart) para cada una de las capas de información (Figura 4-8).

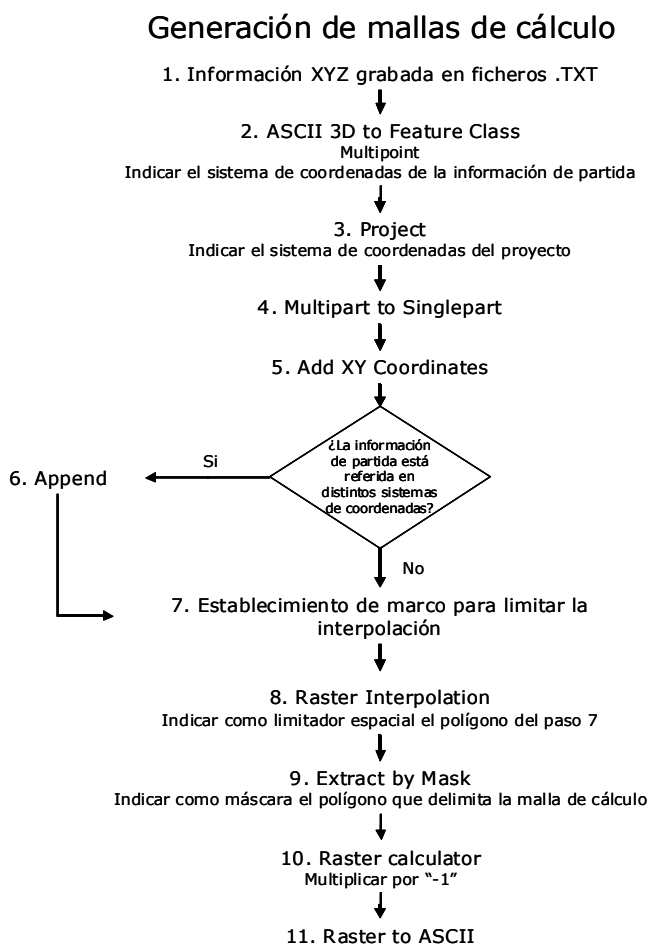
5. Aunque la información XYZ se encuentra almacenada en cada punto, no es posible visualizarla. Por tanto, para desplegar dicha información, es necesario aplicar a cada una de las capas generadas la herramienta "Add XY Coordinates" (ArcToolbox/Data Management Tools/Features/Add XY Coordinates) (Figura 4-9).
  
6. Si en el paso 2 no fue posible cargar todos los ficheros en una misma operación debido a la diferencia de sistemas de referenciación de coordenadas, es necesario unificar todas las capas generadas en una sola utilizando la herramienta "Append". Esta herramienta toma como base una de las capas a unificar y en ella adiciona la información de las demás capas. Por tal motivo, es preciso indicar qué capa se desea establecer como dicha capa base (*Target Dataset*) y cuales son las capas que contienen la información que desea añadirse a ésta (*Input Datasets*) (Figura 4-10).
  
7. Por otro lado, es preciso generar un polígono que cubra generosamente la zona de interés a fin de establecerlo como un marco límite en donde habrá de efectuarse la interpolación de la información contenida en la capa obtenida en el paso anterior. Para delimitar la extensión de dicho polígono, habrá de tenerse en cuenta un margen de holgura suficiente con respecto a la zona concreta de interés ya que, si posteriormente fuera preciso llevar a cabo modificaciones en términos de las dimensiones de la malla, la reducción no supondría ningún problema, en cambio, la realización de ampliaciones no sería posible (Figura 4-11).
  
8. Seleccionar el tipo de interpolación que se quiere llevar a cabo (IDW, Spline, Kriging, Natural Neighbor, etc.) utilizando la herramienta "Raster Interpolation" (ArcToolbox/3D Analyst Tools/Raster Interpolation) indicando el parámetro que debe ser

interpolado (en este caso Point\_Z) y el tamaño de celda que se quiere para la malla. Es preciso, asimismo, indicar que los cálculos se limiten únicamente a la extensión que ocupa el polígono generado previamente. Para ello, es preciso pulsar el botón de "Environments" y establecer dentro de "General Settings" el marco de interpolación obtenido en el paso 7 en el campo denominado "Extent" (Figura 4-11).

9. Generar un polígono que delimite exactamente la extensión y orientación de la malla de cálculo para poder extraerlo del raster previamente interpolado. Dicha extracción puede llevarse a cabo a través de la herramienta "Extract by Mask" (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Extraction/Extract by Mask) seleccionando en el primer campo el raster interpolado y en el segundo, el polígono que delimita la malla (Figura 4-12).
  
10. Dentro del entorno SIG las profundidades son entendidas como valores negativos, es decir, a mayor profundidad el valor numérico es menor o más negativo. Puesto que en esta etapa se cuenta con un raster procedente de la interpolación de líneas batimétricas que contienen la información en términos positivos, es preciso multiplicar dicho raster por "-1" a fin de estandarizarlo con respecto al convenio de signos adoptado por el SIG. Para ello, basta con utilizar la opción "Raster Calculator" de la extensión "Spatial Analyst" indicando la multiplicación previamente descrita (Figura 4-13).
  
11. Finalmente, convertir el raster obtenido a un fichero ASCII de formato .TXT utilizando la herramienta "Raster to ASCII" (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to ASCII) (Figura 4-15) indicando el raster que posee la información ya modificada (Input Raster) así como un nombre y localización para el fichero de texto de salida que contendrá los datos batimétricos ya modificados en formato .TXT (Output ASCII).

A modo de resumen, en el Esquema 4-1 se sintetiza la secuencia de pasos que deben ser ejecutados para poder generar una malla de cálculo dentro de un entorno SIG. No obstante, cabe mencionar que el fichero generado

contendrá la información tal y como resulta de la interpolación, por tal motivo, será necesario precisarla y detallarla con ayuda de la ortofoto para eliminar aquellos puntos localizados sobre tierra o playas. Asimismo, prácticamente en la totalidad de los casos, resultará necesario modificar los valores de algunas celdas a fin de evitar saltos bruscos de profundidad de una celda a otra en la batimetría de la zona ya que esto genera problemas cuando la malla de cálculo se introduce a los modelos numéricos. Todas estas operaciones de modificación de mallas dentro de un entorno SIG se encuentran descritas ampliamente en el Epígrafe 4.2.2.2 relativo a la gestión de mallas dentro del entorno SIG.



**Esquema 4-1. Procedimiento para la generación de mallas de cálculo.**



## 4.2.2. Gestión de mallas de cálculo

Fuera del entorno SIG el modelo desarrollado trabaja con mallas en formato .AGD, las cuales, se encuentran referenciadas en coordenadas geográficas. En contrapartida, dentro de dicho entorno, el modelo trabaja con mallas en formato .TXT cuya referenciación espacial se corresponde con el sistema de coordenadas UTM. Debido a que ambos formatos pueden resultar de utilidad en función de la aplicación concreta que se quiera dar al modelo, es necesario conocer las distintas herramientas y posibilidades de transformación de la información en diferentes formatos.

### 4.2.2.1. Transformación .AGD → .TXT

La generación y perfeccionamiento de una malla de cálculo es siempre tarea ardua y laboriosa que condiciona, en gran medida, los resultados de la modelación posterior. Por tal motivo, cuando se cuenta con mallas en otros formatos resulta altamente recomendable su transformación para poder así lograr su aprovechamiento.

El formato .AGD es el que tradicionalmente ha sido utilizado por los modelos hidrodinámicos (H2D y H2DZ) y de transporte (RENOVA, EMITE, AD2D, etc.) desarrollados por la Universidad de Cantabria. Este formato contiene la información batimétrica en una configuración matricial encabezada por 4 líneas que indican: las dimensiones de la malla, la longitud – latitud del punto de origen, las dimensiones de la celda y el ángulo de inclinación.

Por su parte, el formato .TXT es el formato adecuado para ser introducido en el entorno SIG. Al igual que en el caso anterior, este formato contiene la información batimétrica en una configuración matricial, pero encabezada por 6 líneas que indican: el número de columnas, el número de filas, la coordenada UTMX de origen, coordenada UTM Y de origen, el tamaño de celda y el valor asignado a las celdas que no contienen información, es decir, a las celdas de tierra.

La transformación de formato .AGD a .TXT se lleva a cabo mediante la utilización del ejecutable "*agd\_gis.exe*" (disponible en el DVD adjunto) que requiere la siguiente información: nombre del fichero .AGD, nombre del fichero transformado .TXT y coordenadas UTM del origen de la malla.

#### 4. Procedimientos metodológicos para la integración del modelo desarrollado en un entorno SIG

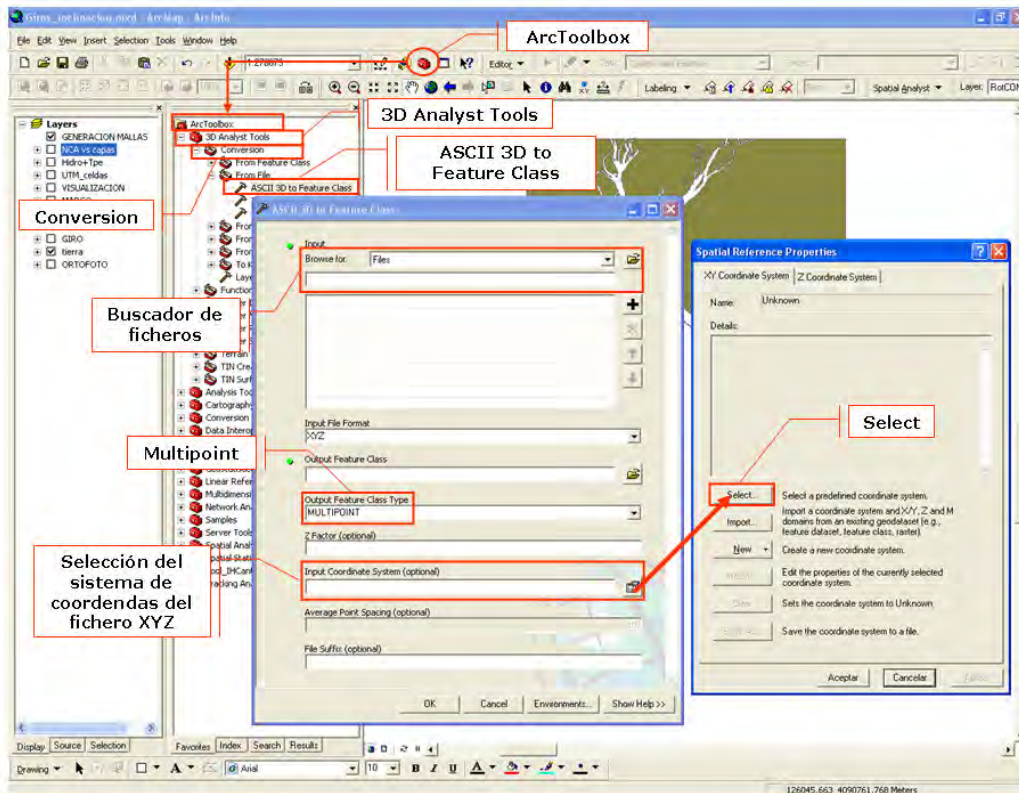


Figura 4-6. Incorporación de la información XYZ al SIG.

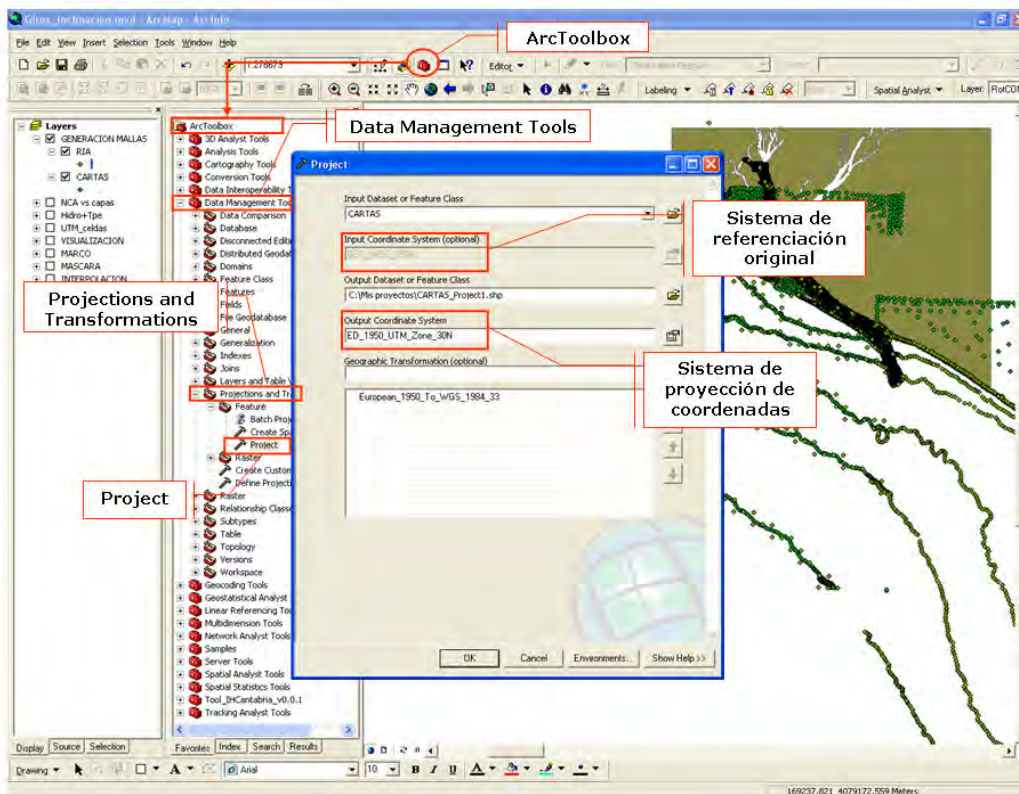
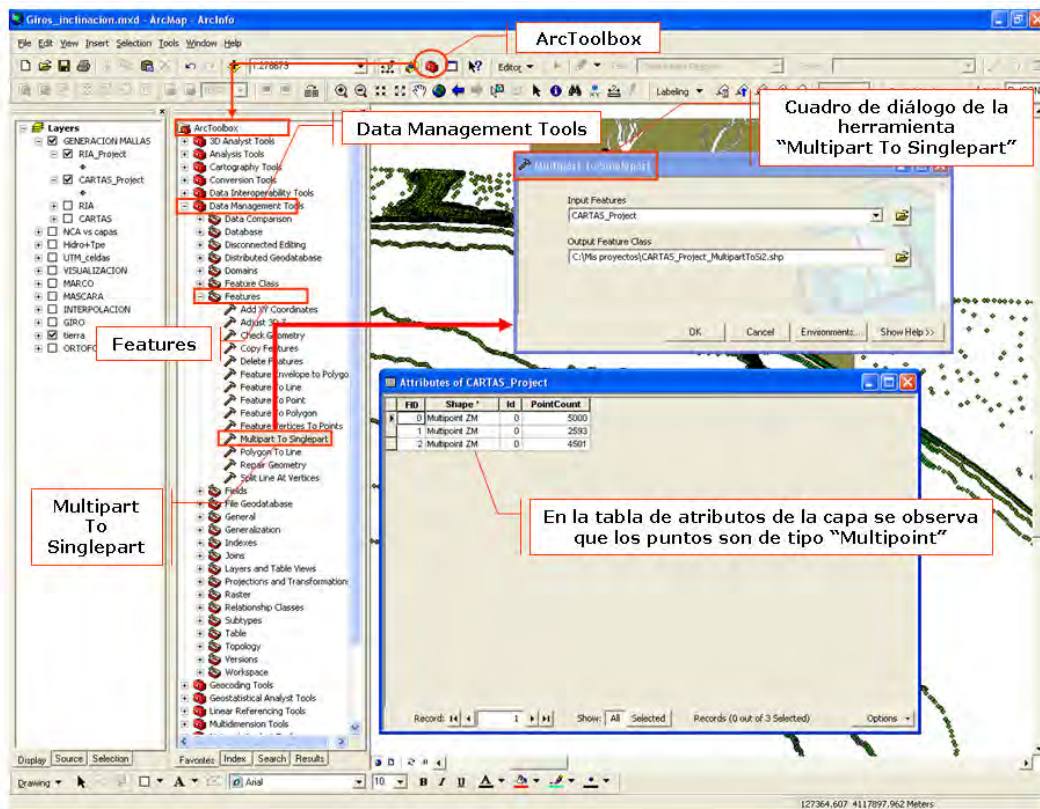


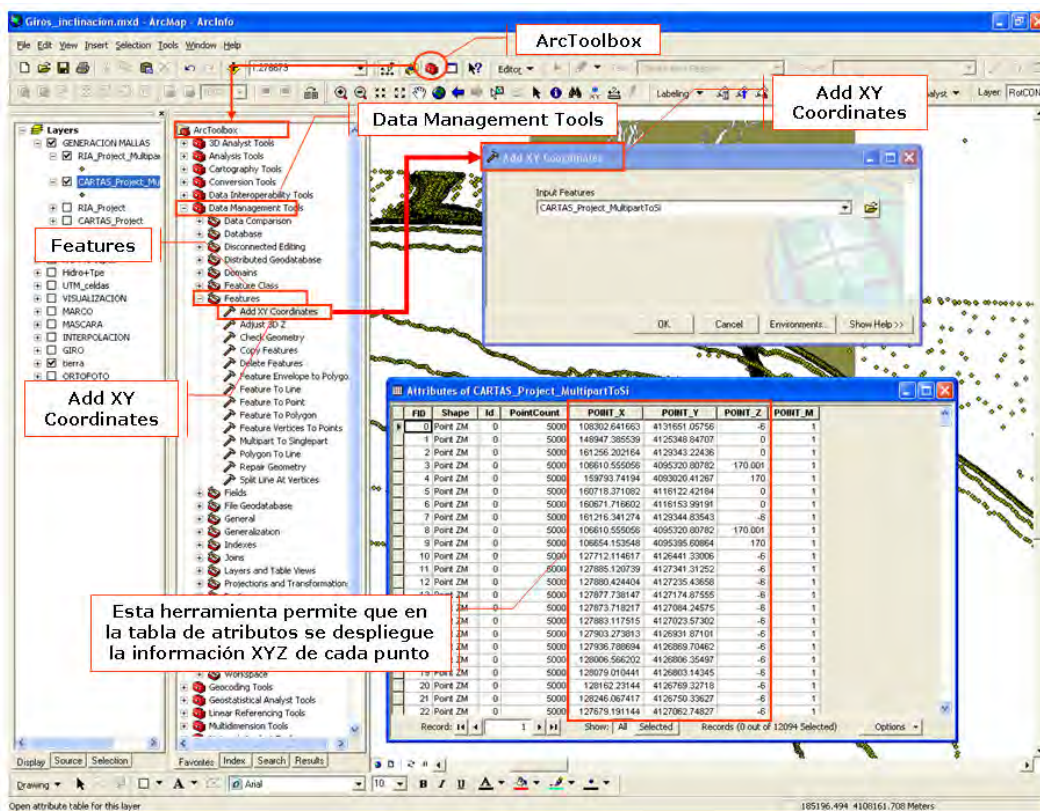
Figura 4-7. Proyección de coordenadas ("Project").



#### 4. Procedimientos metodológicos para la integración del modelo desarrollado en un entorno SIG



**Figura 4-8. Fragmentación de los puntos compuestos en elementos simples ("Multipart to Singlepart").**



**Figura 4-9. Despliegue de propiedades XYZ a cada punto ("Add XY Coordinates").**

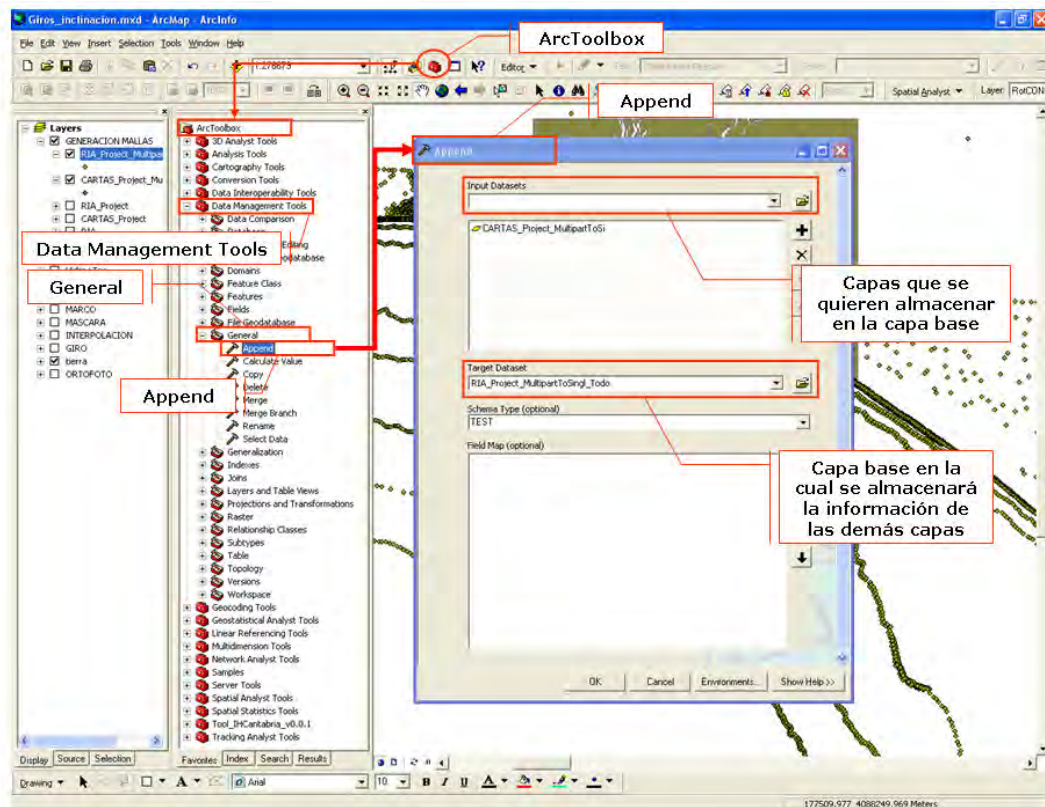


Figura 4-10. Unificación de la información en una única capa ("Append").

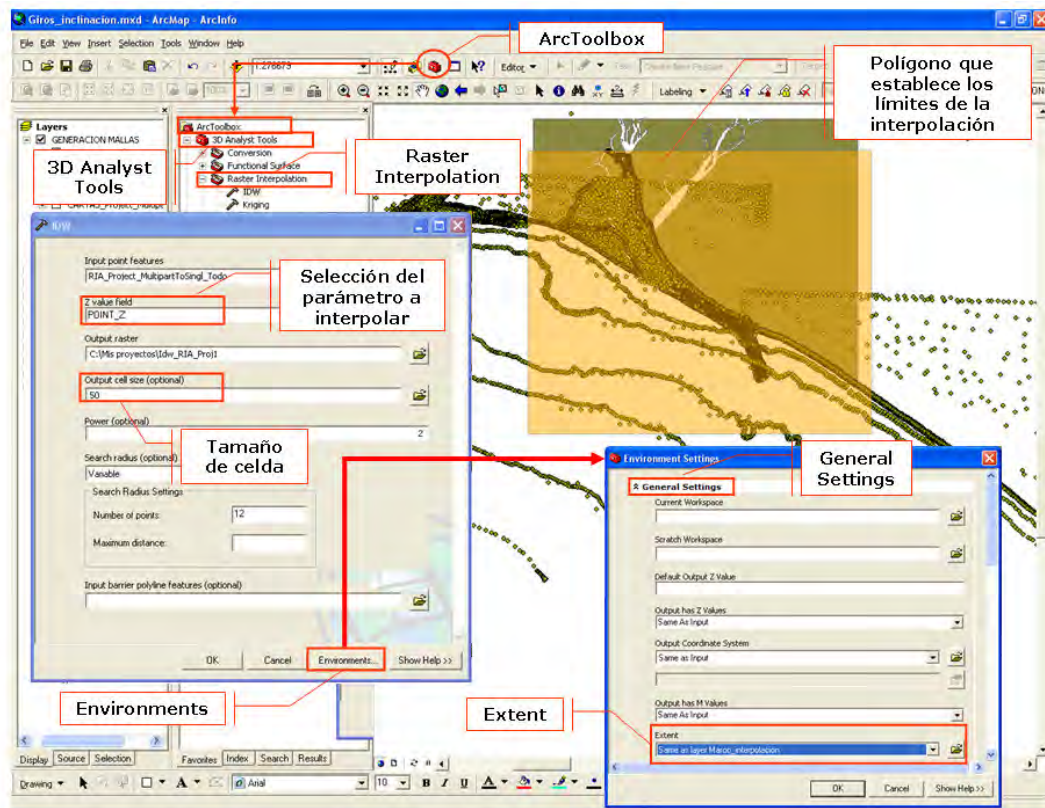


Figura 4-11. Interpolación de líneas batimétricas ("Raster Interpolation").



4. Procedimientos metodológicos para la integración del modelo desarrollado en un entorno SIG

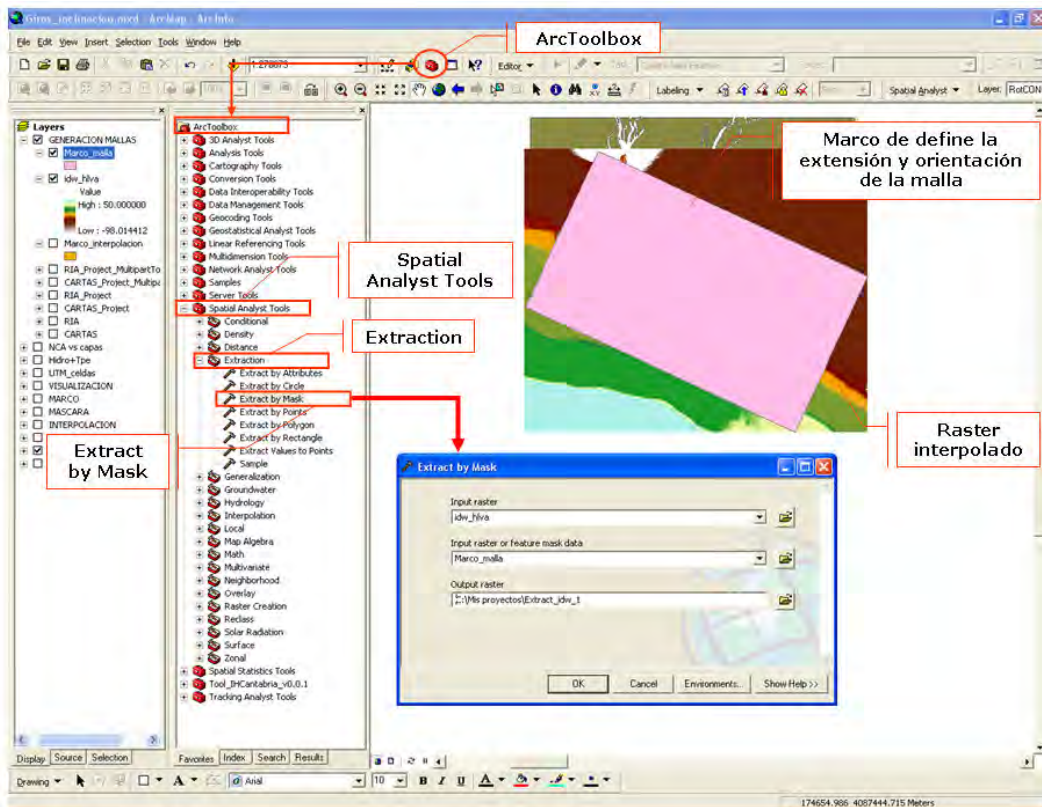


Figura 4-12. Delimitación de la malla de cálculo ("Extract by Mask").

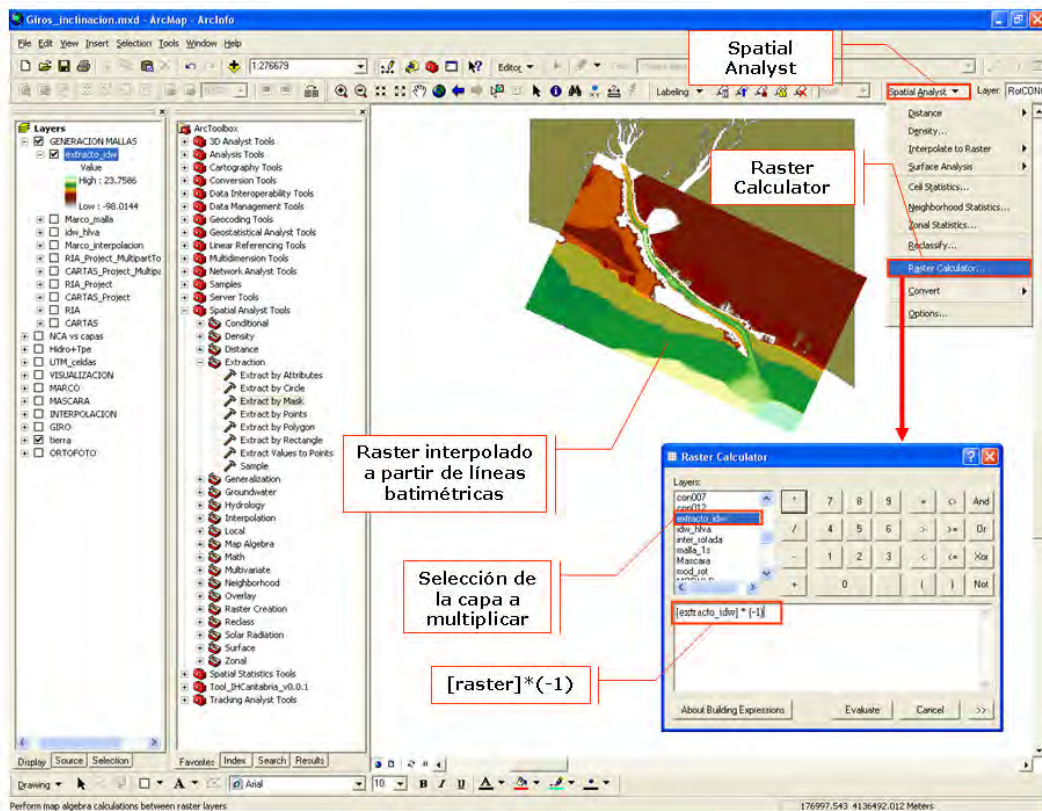


Figura 4-13. Operaciones aplicables a un raster ("Raster Calculator").

#### 4.2.2.2. Gestión de mallas .TXT dentro del entorno SIG

##### **Generación de rasters**

Una vez que la malla se encuentra en formato .TXT debe crearse el raster correspondiente para poder gestionarlo a través del SIG utilizando la herramienta "ASCII to Raster" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster) indicando el fichero que contiene la información batimétrica en formato .TXT (*Input ASCII raster file*), el nombre y localización de almacenamiento para el raster generado (*Output raster*) y "FLOAT" (*Output data type*) puesto que la fracción decimal de los datos batimétricos resulta significativa (Figura 4-16).

Debe tenerse presente que el SIG por defecto interpreta que el punto de origen que se introduce a través del fichero .TXT se corresponde con la esquina inferior izquierda de una malla rectangular de inclinación 0° con respecto al norte. Por tal motivo, si la malla presentara cierto ángulo de inclinación es necesario modificar las coordenadas que definen su origen para que al ser procesada a través del SIG se ajuste a la realidad física. Para ello, deben modificarse las líneas del fichero .TXT que indican las coordenadas UTMX y UTM Y de origen para crear posteriormente un raster tal y como se ha indicado en el párrafo anterior.

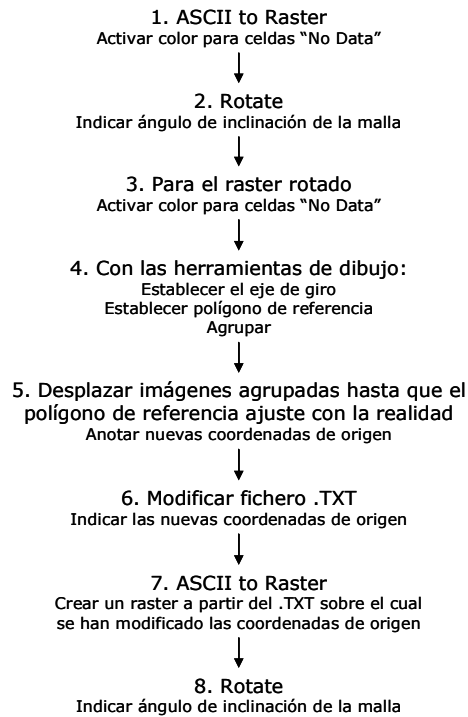
Aunque la modificación de las coordenadas de origen puede llevarse a cabo mediante aproximaciones sucesivas por prueba y error, resulta un procedimiento largo, tedioso y no exento de imprecisiones. Por ello, se propone la siguiente metodología para establecer un nuevo origen que permita ajustar la malla.

1. Crear un raster a partir del fichero .TXT utilizando la herramienta "ASCII to Raster" tal y como se ha indicado anteriormente (figura 4-16). Activar un color para las celdas "No Data" dentro de la pestaña "Symbology" del menú "Properties" del raster. Este último se despliega al hacer click con el botón derecho del ratón sobre la capa que se corresponde con el raster generado (Figura 4-17).
2. Utilizar la herramienta "Rotate" (ArcToolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations/Raster/Rotate) mediante la introducción del raster previamente creado (*Input raster*), del nombre y localización de almacenamiento para el raster generado (*Output raster*) y del ángulo de inclinación de la malla (*Angle*). Los campos correspondientes a "Pivot point" y "Resampling technique" deben permanecer tal y como aparecen por defecto (Figura 4-18).

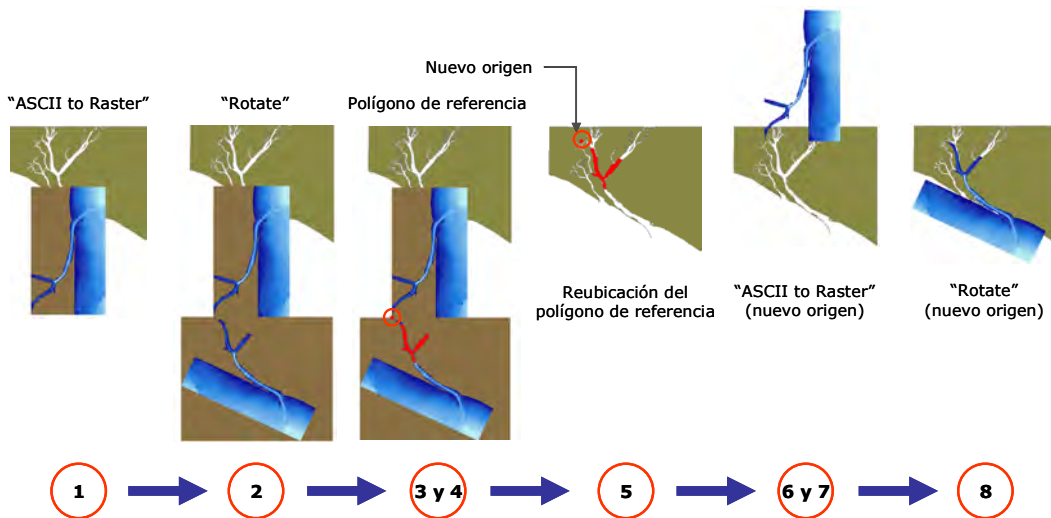
3. Al igual que en el paso 1, para este nuevo raster activar un color para las celdas "No Data" dentro de la pestaña "Symbology" del menú "Properties" del raster (Figura 4-19).
4. Identificar el eje de giro que establece el SIG y dibujar un punto sobre éste utilizando la herramienta de dibujo correspondiente. Adicionalmente, trazar un pequeño polígono sobre una zona del raster que pueda servir como referencia utilizando la herramienta de dibujo correspondiente. Agrupar los dos dibujos anteriores seleccionando ambos trazos y dando click en la opción "Group" que se despliega con el botón derecho del ratón (Figura 4-20).
5. Desplazar ambos dibujos agrupados hasta que el polígono de referencia ajuste con la línea de costa y observar en la barra inferior las coordenadas UTMX y UTMY que se corresponden con el punto previamente dibujado (Figura 4-21) posicionando el cursor del ratón sobre dicho punto. Estas coordenadas se corresponden con el nuevo origen de la malla.
6. Modificar las líneas del fichero .TXT que indican las coordenadas UTMX y UTMY de origen sustituyéndolas por el nuevo punto de origen localizado. Crear un raster a partir del fichero .TXT modificado tal y como se indica en el punto 1. Por último desactivar el color de las celdas "No Data" (Figura 4-22).
7. Rotar el raster creado en el paso 5 tal y como se indica en el paso 2 y desactivar el color de las celdas "No Data" (Figura 4-23).

A modo de resumen del procedimiento propuesto, en el Esquema 4-2 se establece la secuencia de pasos que es necesario realizar para poder rotar adecuadamente una malla dentro del entorno SIG. Tras la finalización de dicho procedimiento, el resultado definitivo consiste en un raster que además de contener la información batimétrica, se ajusta a la realidad física de la zona de estudio. Asimismo, la Figura 4-14 presenta dicha secuencia en forma gráfica.

### Rotación de mallas de cálculo



**Esquema 4-2. Procedimiento para efectuar la rotación de mallas de cálculo.**



**Figura 4-14. Rotación de mallas con cierto ángulo de inclinación.**



## Generación y manejo de capas editables de puntos

Para poder llevar a cabo el perfeccionamiento o suavización de la batimetría, lo primero es poder visualizarla a través de un raster a partir del cual será posible obtener una capa editable. Para ello, utilizando la herramienta "Raster to Point" (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Point) se genera una capa de puntos que almacena la información batimétrica de cada celda en "unidades editables". Para ello, es preciso introducir el raster previamente generado (*Input Raster*) indicando el campo (*Field (optional)*) que sufrirá la transformación (por defecto toma "Value") y el nombre y localización en donde será almacenada la capa de puntos generada (*Output point features*) (Figura 4-24).

A partir de esta capa de puntos pueden llevarse a cabo tres tipos de tareas de edición: i) remover puntos erróneos (Figura 4-25), ii) añadir puntos que se hayan omitido (Figura 4-26) y iii) modificar la información de puntos existentes (Figura 4-27).

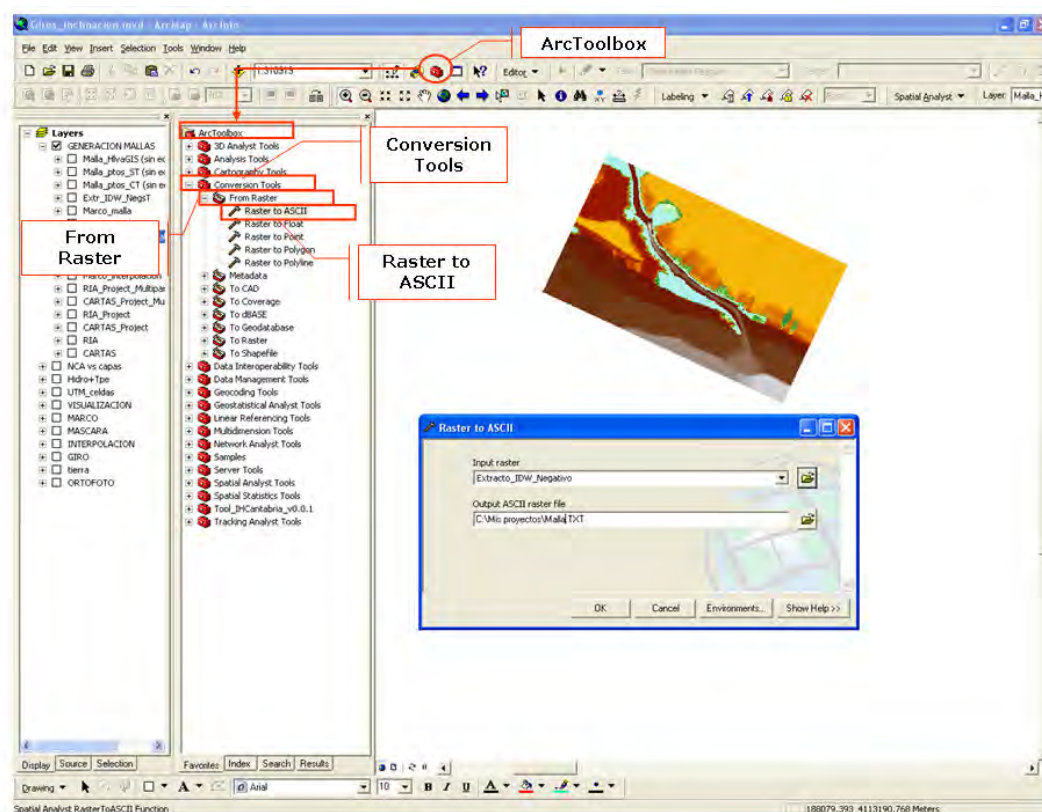


Figura 4-15. Conversión de un raster a formato .TXT ("Raster to ASCII").

#### 4. Procedimientos metodológicos para la integración del modelo desarrollado en un entorno SIG

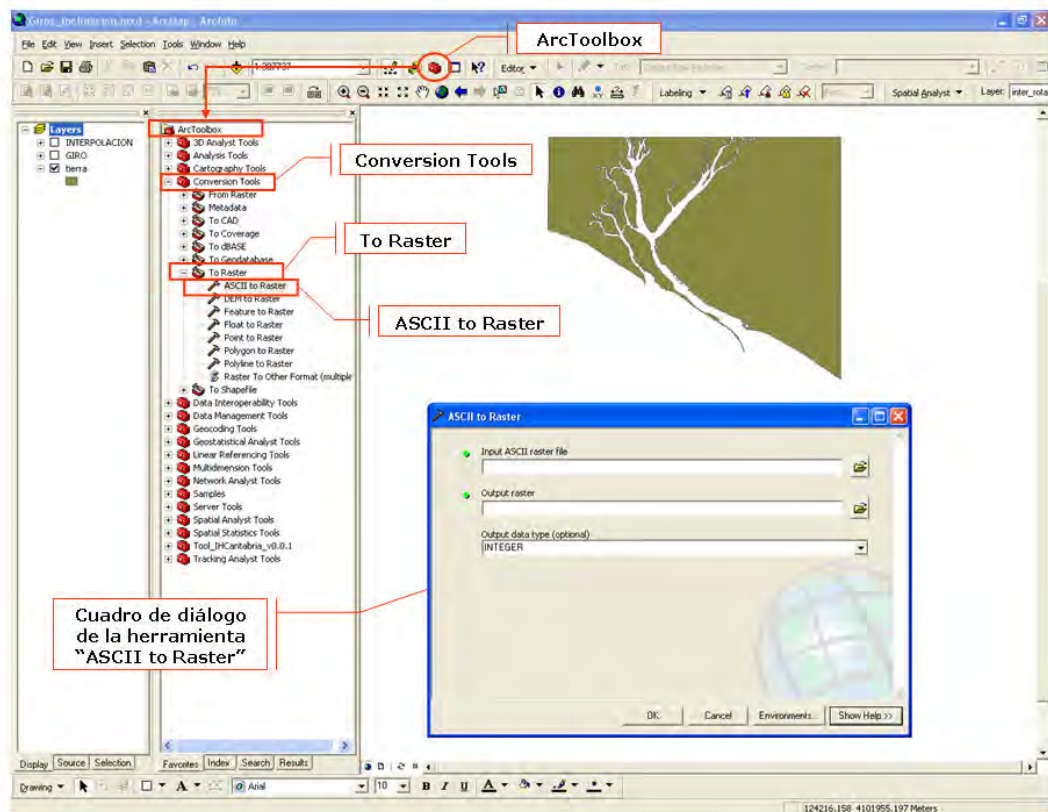


Figura 4-16. Conversión de formato .TXT a Raster ("ASCII to Raster").

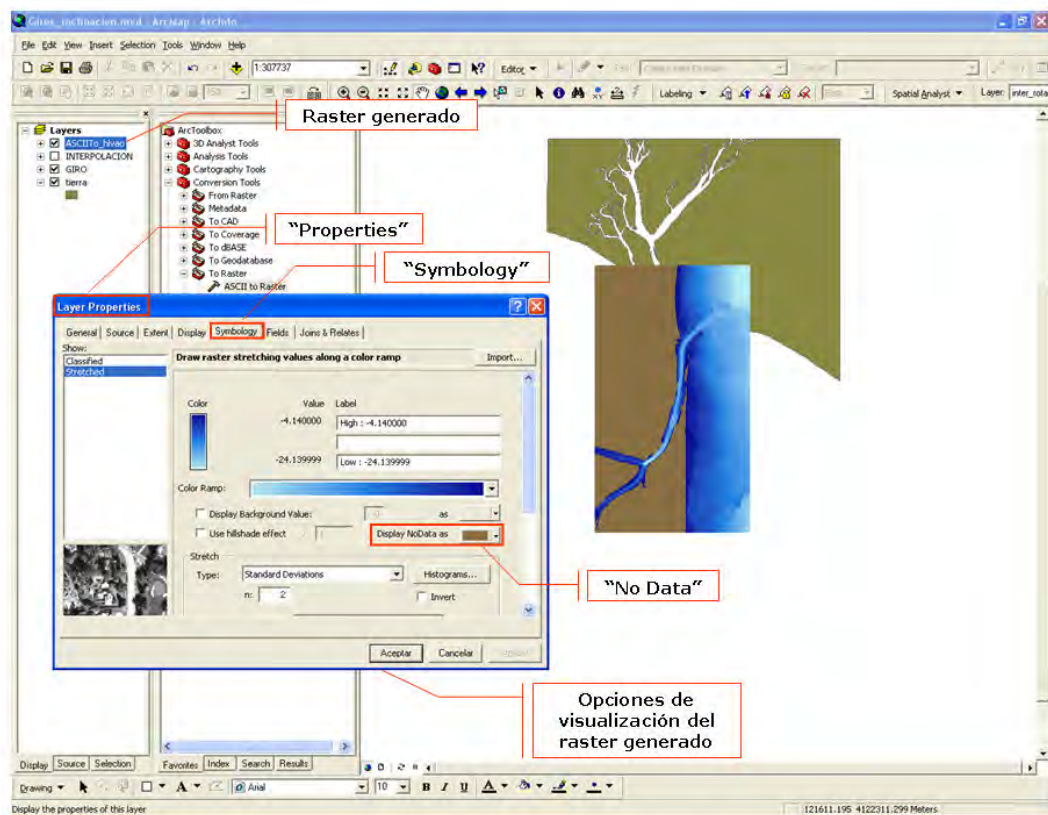


Figura 4-17. Establecimiento de las propiedades del raster generado.

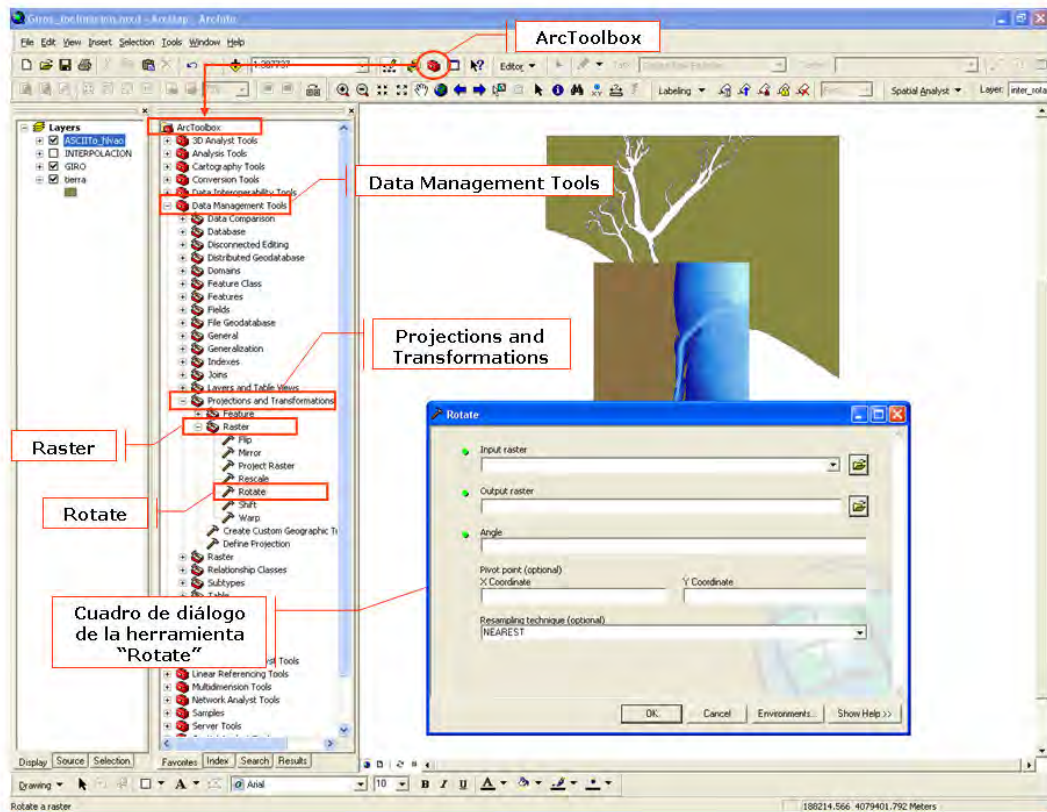


Figura 4-18. Rotación del raster generado ("Rotate").

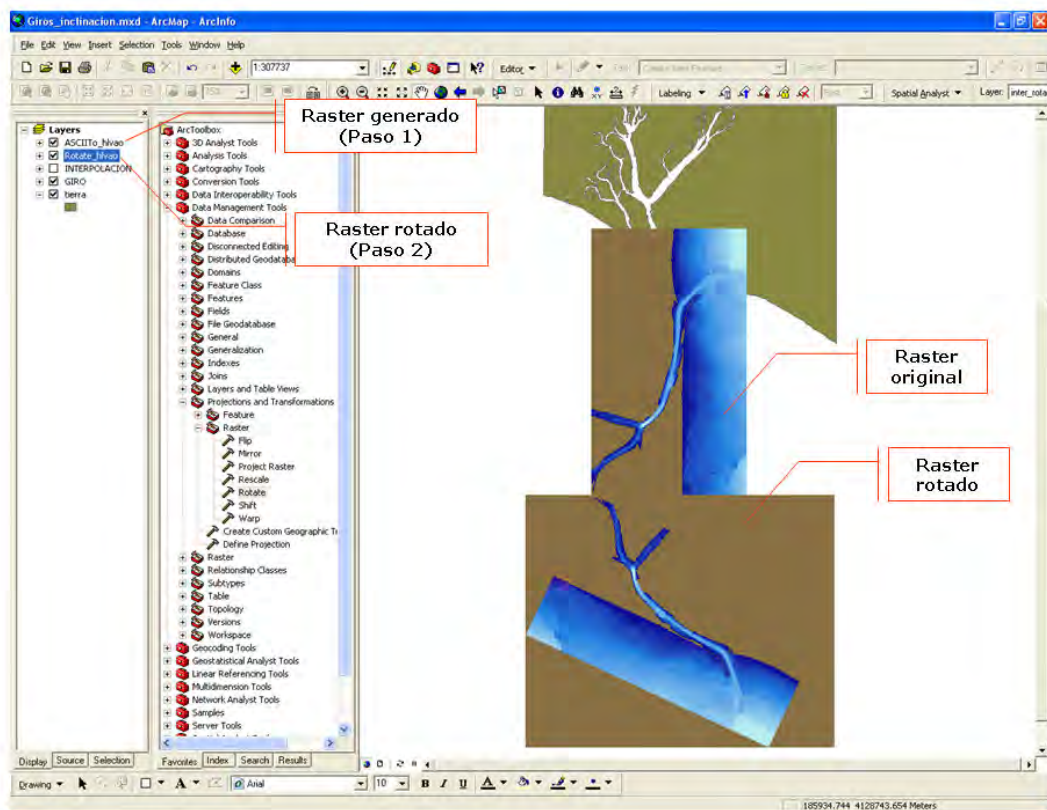


Figura 4-19. Aspecto del raster generado originalmente y del raster rotado.



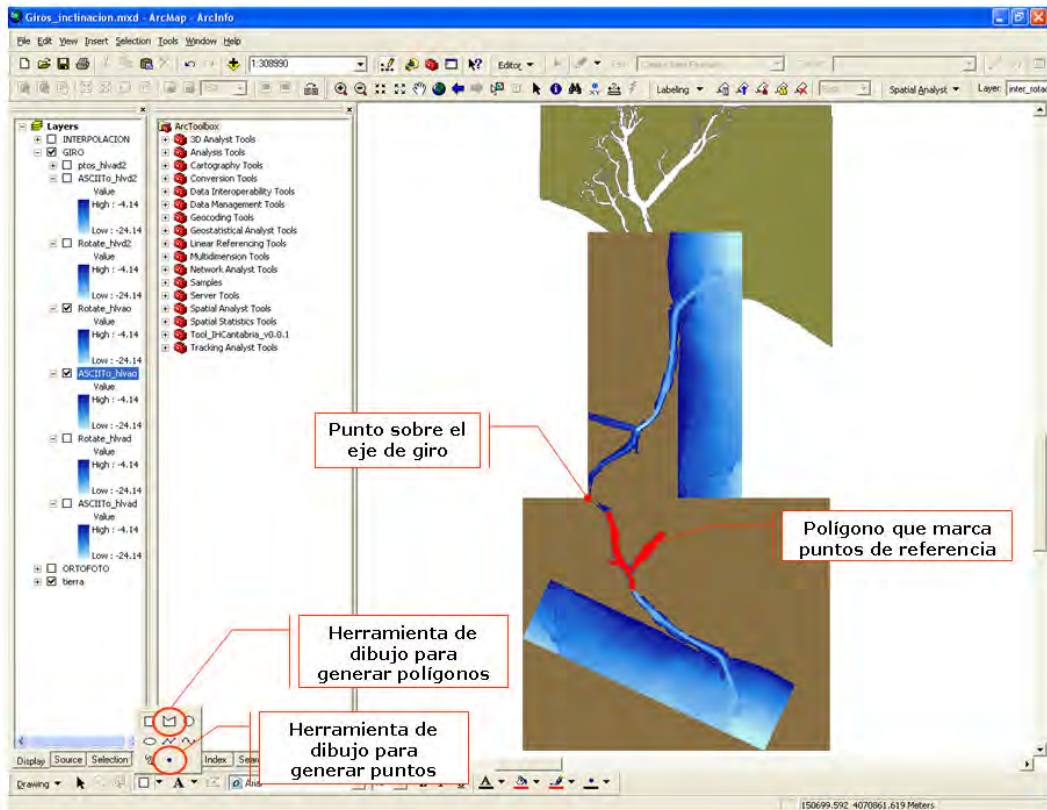


Figura 4-20. Identificación del eje de giro y trazado de un polígono de referencia.

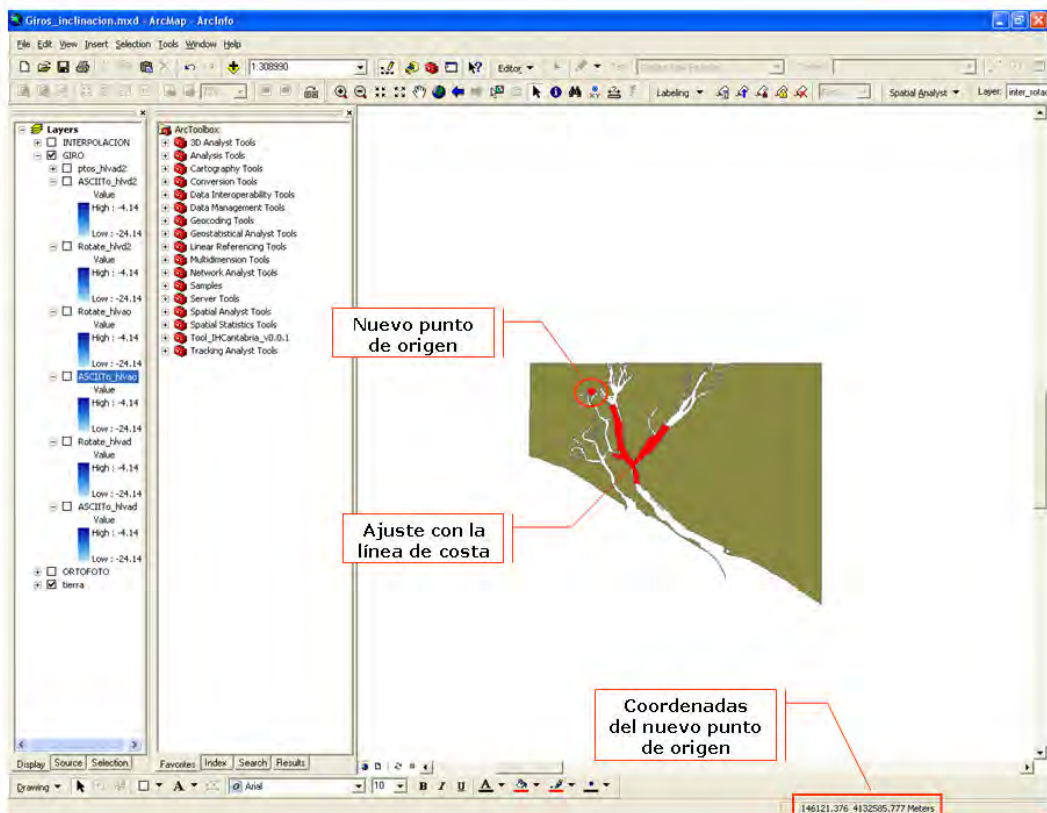


Figura 4-21. Establecimiento del nuevo punto de origen.

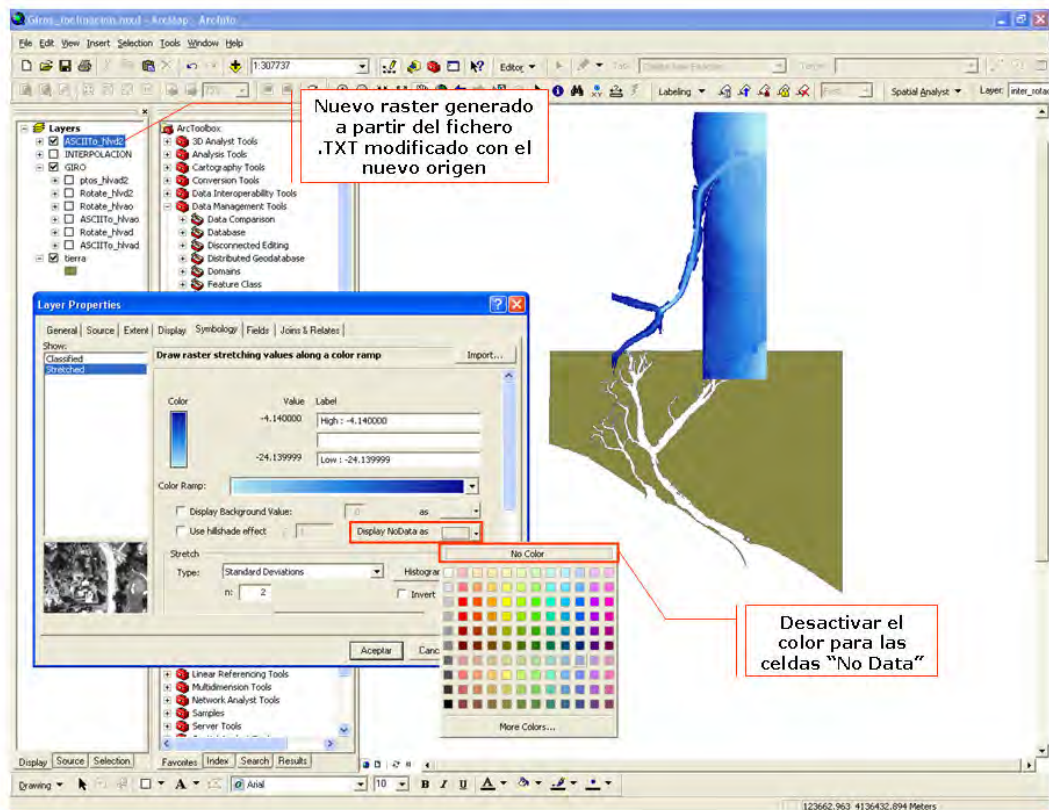


Figura 4-22. Generación de un nuevo raster modificando el punto de origen.

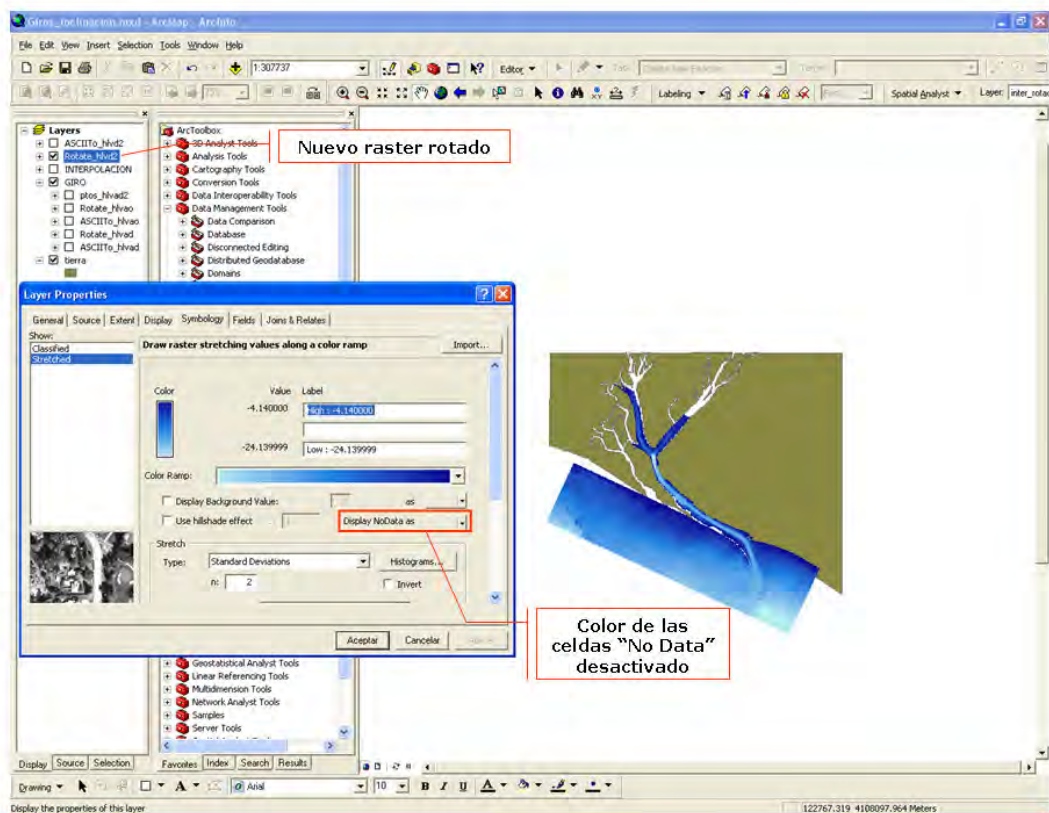
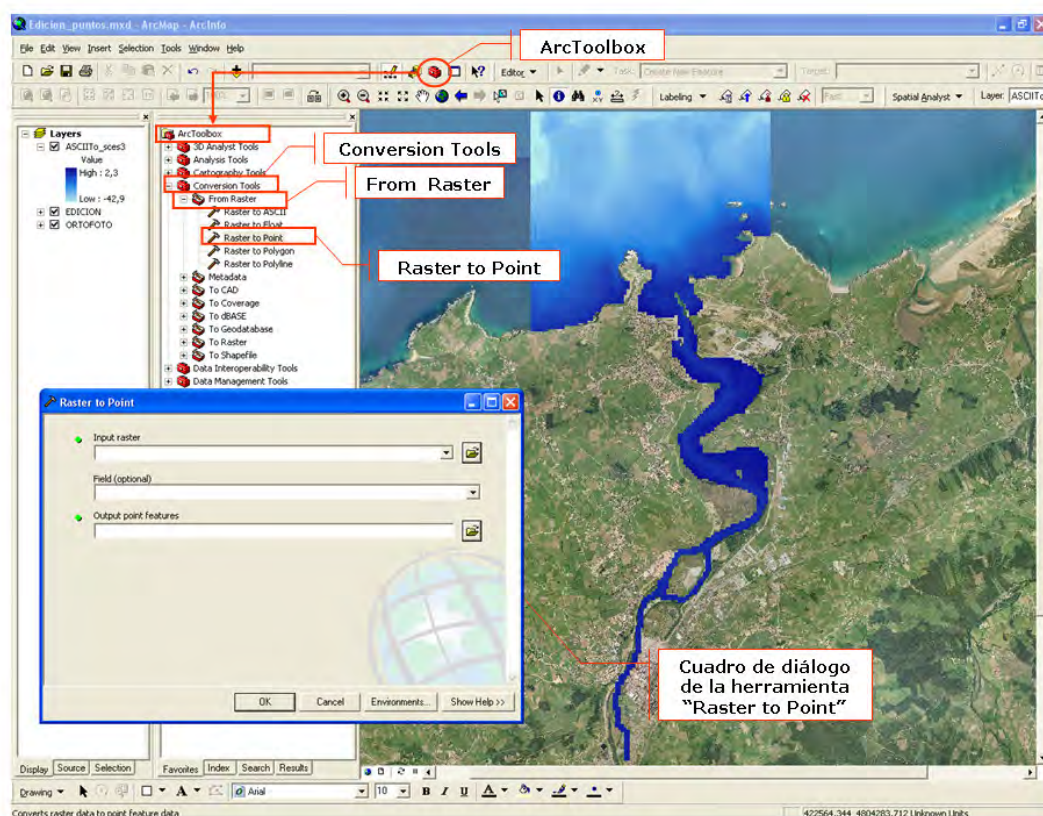


Figura 4-23. Raster definitivo.





**Figura 4-24. Generación de una capa editable de puntos a partir de un raster ("Raster to Point").**

#### i) Remoción de puntos erróneos:

Al superponer una capa sobre una ortofoto pueden detectarse discrepancias entre la información generada y la geometría real (por ejemplo puntos localizados sobre tierra). Por tal motivo, a fin de hacer más preciso el ajuste entre los datos batimétricos y la realidad física, es necesario remover dichos puntos completando la siguiente secuencia. En primer lugar, pulsar sobre el botón "Editor" y al desplegarse el menú seleccionar "Start Editing". Estando ya en modo de edición, seleccionar la capa de puntos que se desea editar y asegurarse que en los campos "Task" y "Target" aparecen las opciones "Modify Feature" y el nombre de la capa de puntos, respectivamente (Figura 4-25 a).

Posteriormente, con la herramienta de edición (*Edit Tool*) se deben seleccionar todos aquellos elementos que se desea remover. Esta tarea se puede llevar a cabo haciendo click en cada punto individualmente o seleccionando áreas con el ratón mientras se mantiene presionada la tecla SHIFT. Cuando se hayan seleccionado todos los puntos de interés, se debe desplegar la tabla de atributos de la capa de puntos presionando sobre ésta con el botón derecho del ratón y seleccionando "Open Attribute Table" (Figura 4-25 b).



Una vez desplegada esta tabla, pulsar la tecla SUPR y los elementos seleccionados (resaltados en azul) desaparecerán. Cuando se haya completado esta operación, volver al botón "Editor", seleccionar "Stop Editing" y confirmar que se desea guardar los cambios. Finalmente, cerrar la tabla de atributos (Figura 4-25 c).

ii) Adición de puntos omitidos:

En contrapartida, al superponer esta capa sobre la ortofoto puede observarse la carencia de algunos puntos. En tal caso, a fin de perfeccionar la información batimétrica, es preciso añadir los puntos que faltan a través de la siguiente secuencia. En primer lugar, pulsar sobre el botón "Editor" y al desplegarse el menú seleccionar "Start Editing". Estando ya en modo de edición, seleccionar la capa de puntos que se desea editar y asegurarse que en los campos "Task" y "Target" aparecen las opciones "Create New Feature" y el nombre de la capa de puntos, respectivamente (Figura 4-26 a).

A continuación, con la herramienta de bosquejo (*Sketch Tool*) se debe ir dando un click con el ratón sobre cada una de las celdas que cubren la porción de agua que requiere nuevos puntos cuidando que dichos puntos queden centrados con respecto a la cuadrícula que sigue la malla. A fin de facilitar el trazado de estos nuevos puntos, se sugiere generar una capa de puntos guía mediante el siguiente procedimiento: Sobre una copia del fichero de batimetría .TXT aplicar el ejecutable "no\_data\_por\_dato.py" (disponible en el DVD adjunto), con el objetivo de asignar un dato a todas y cada una de las celdas de la malla. Posteriormente, debe generarse un raster a partir de este nuevo fichero .TXT utilizando la herramienta "ASCII to Raster" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster). A continuación, este raster debe ser convertido a una capa de puntos mediante la herramienta "Raster to Point" (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Point). Una vez generada la capa de puntos, deben ajustarse sus propiedades seleccionando un color que se distinga fácilmente sobre la ortofoto, un símbolo (por ejemplo, un cuadrado) que permita diferenciarla de la capa de puntos que se va a editar y un tamaño adecuado de símbolo con respecto al tamaño de los puntos de la capa que se va a editar. Finalmente, puede eliminarse el raster del paso anterior (Figura 4-26 b).

Al crear estos nuevos puntos aparecerán en la tabla de atributos los registros correspondientes a cada uno de ellos con un valor de cero, por lo tanto, es necesario modificar el campo "Grid Code" de acuerdo con la información batimétrica de las celdas vecinas. Para conocer la información contenida en los puntos cercanos puede utilizarse la herramienta "Identify".

Cuando se haya completado esta operación, volver al botón "Editor", seleccionar "Stop Editing" y confirmar que se desea guardar los cambios (Figura 4-26 c).

iii) Modificación de puntos:

Por último, si la información contenida en los puntos requiere una modificación bien por tratarse de nuevos puntos creados por el usuario o bien debido a que la información batimétrica contenida en los puntos existentes fuera incorrecta, las herramientas presentes en el SIG permiten llevar a cabo esta tarea de forma muy sencilla.

Para un conjunto de puntos al que pueda asignarse el mismo valor, es decir, para puntos que posean la misma profundidad, es necesario completar la siguiente secuencia. En primer lugar, pulsar sobre el botón "Editor" y al desplegarse el menú seleccionar "Start Editing". Estando ya en modo de edición, seleccionar la capa de puntos que se desea editar y asegurarse que en los campos "Task" y "Target" aparecen las opciones "Modify Feature" y el nombre de la capa de puntos, respectivamente. Posteriormente con la herramienta de edición (*Edit Tool*) seleccionar los puntos que se desea modificar. A continuación abrir la tabla de atributos de la capa de puntos pulsando sobre ésta con el botón derecho del ratón y seleccionando "Open Attribute Table". Una vez abierta esta tabla, indicar que se muestren únicamente los elementos seleccionados y dar un click con el botón derecho del ratón sobre el campo "GRID\_CODE". Esto desplegará un menú del cual habrá de seleccionarse la calculadora "Field calculator" (Figura 4-27 a).

En ésta se introduce el valor de profundidad que desee asignarse a los puntos seleccionados entrecomillado y con signo negativo (por ejemplo, "-2" si es que se quiere asignar una profundidad de 2 m a los puntos seleccionados). Es importante recordar que dentro de este Sistema, las profundidades son entendidas como valores negativos, es decir, el valor asignado a un punto significa que es más profundo cuanto más negativo sea (Figura 4-27 b).

Si fuera preciso modificar valores de forma individual, es decir, punto por punto, habrán de seguirse los mismos pasos que para el caso anterior seleccionando únicamente el punto de interés y modificando el valor directamente en el campo "GRID\_CODE" de la tabla de atributos (sin necesidad de acceder a la calculadora "Field calculator").

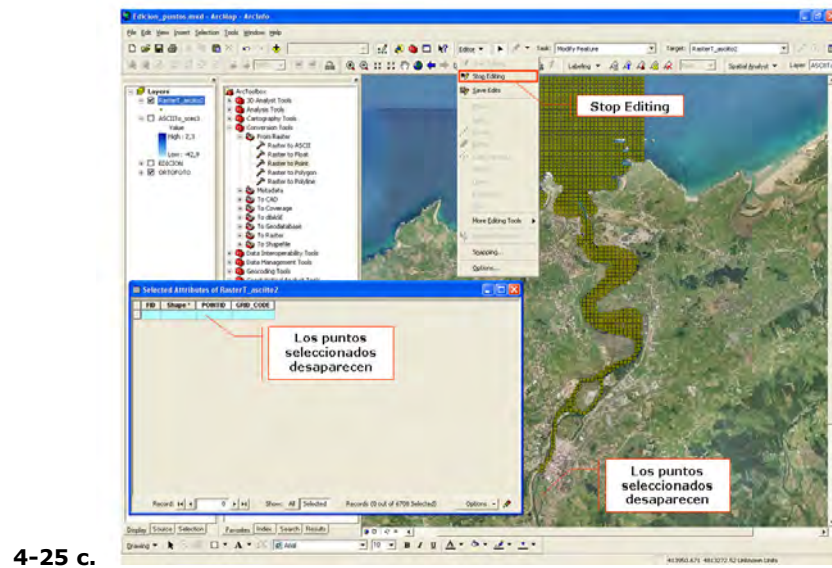
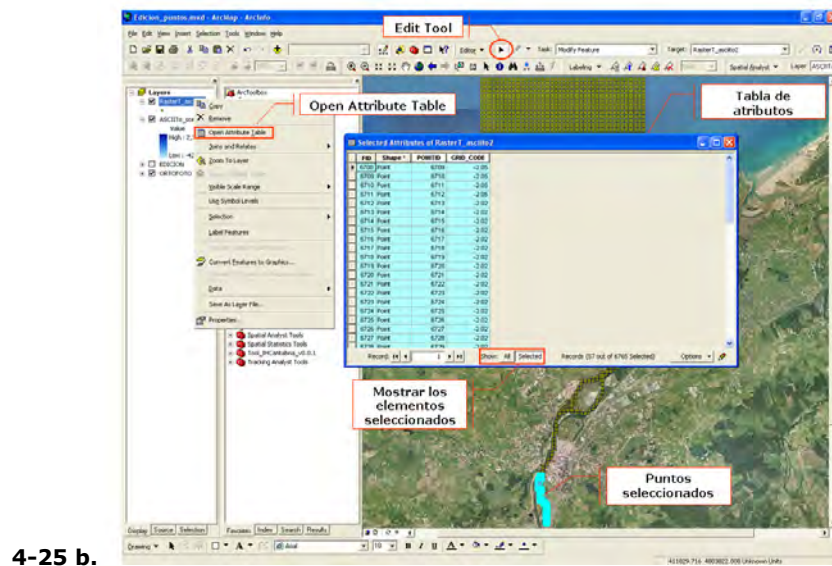
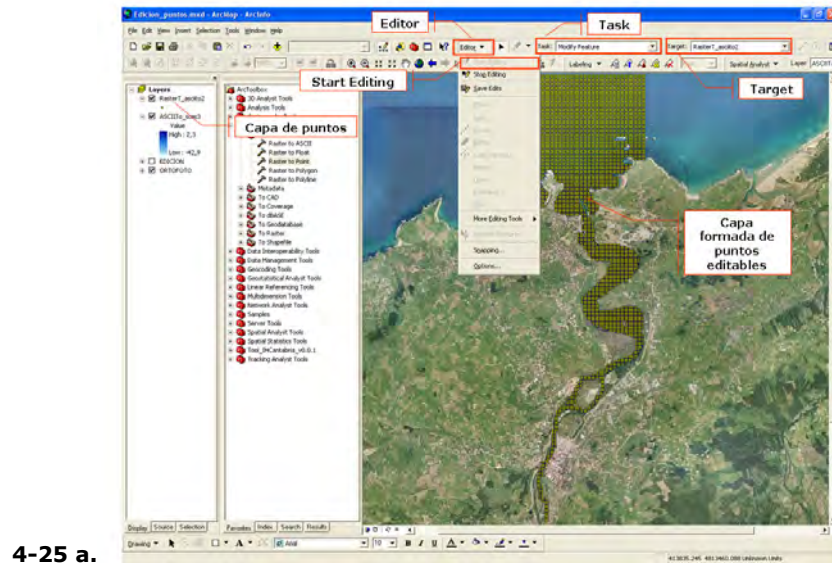


Figura 4-25. Procedimiento para llevar a cabo la remoción de puntos erróneos.

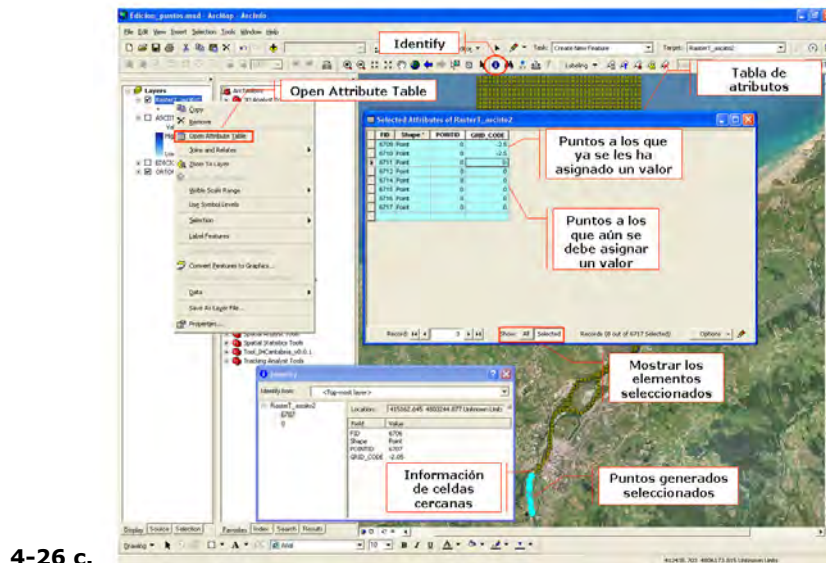
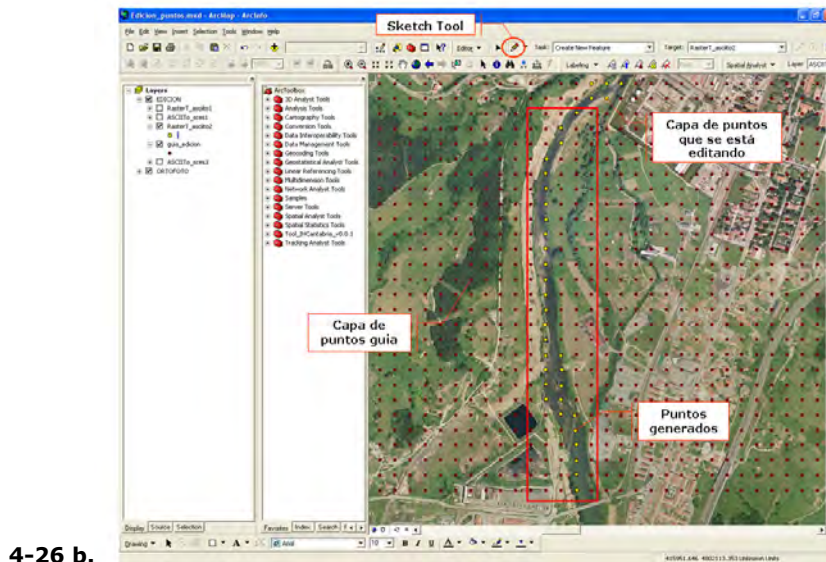
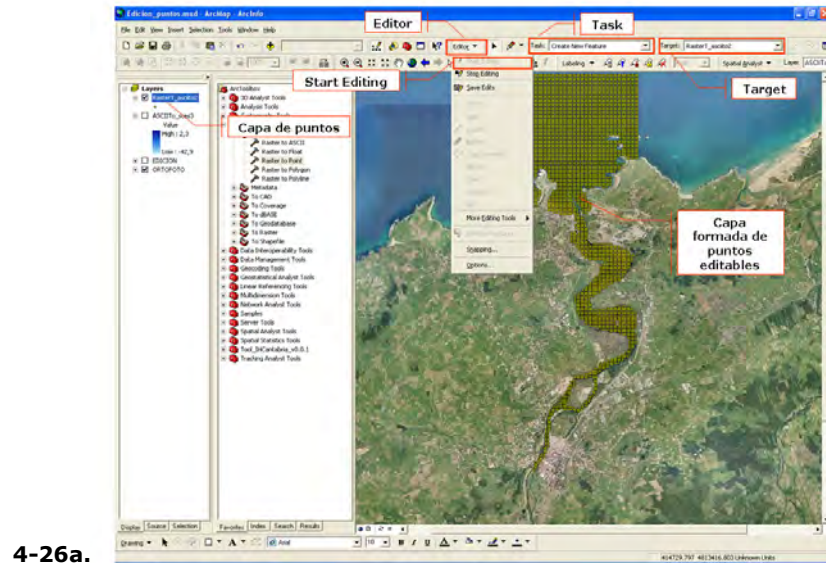
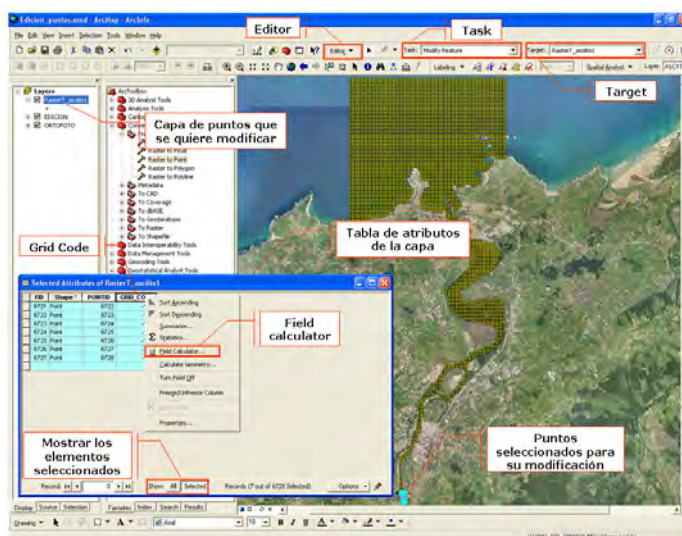
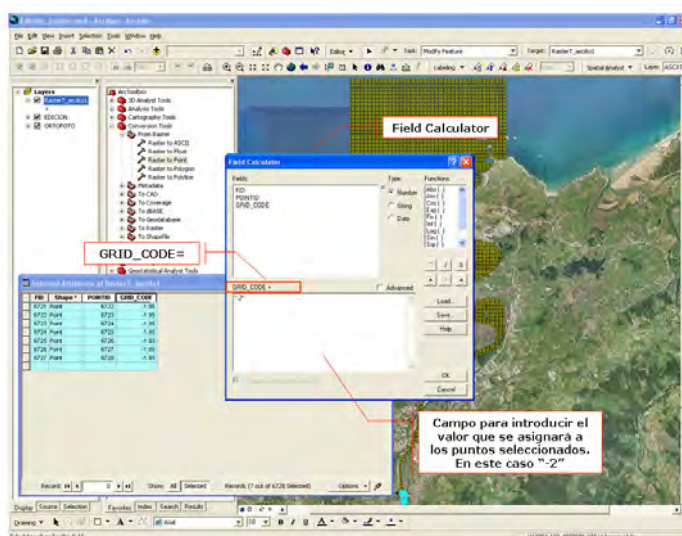


Figura 4-26. Procedimiento para llevar a cabo la adición de puntos omitidos.





4-27 a.



4-27 b.

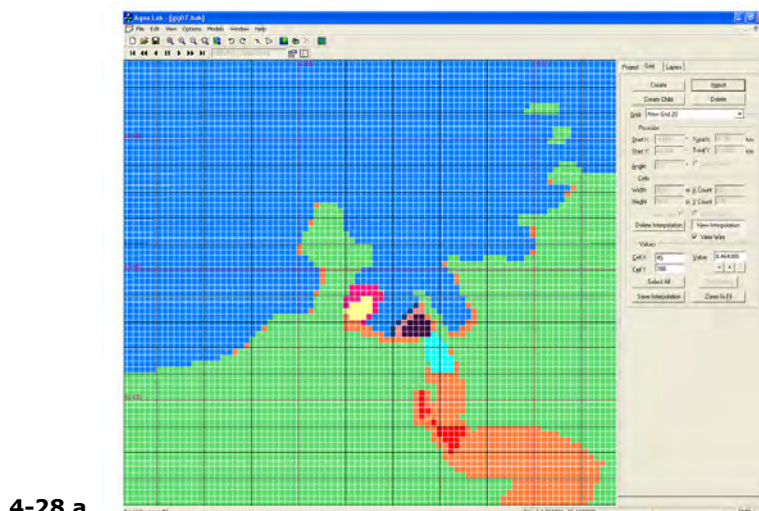
**Figura 4-27. Procedimiento para llevar a cabo la modificación de puntos.**

Por último, comentar, como posible aplicación de este procedimiento de modificación, la posibilidad de realizar el ajuste de los valores de profundidad contenidos en la malla de cálculo con respecto al nivel medio del mar. Para ello, es necesario añadir un campo adicional en la tabla de atributos utilizando la opción "Add Field" (Figura 4-31). En este nuevo campo, se debe indicar la operación de suma o resta correspondiente a tal ajuste mediante la calculadora "Field Calculator" previamente descrita (Figura 4-27 a).

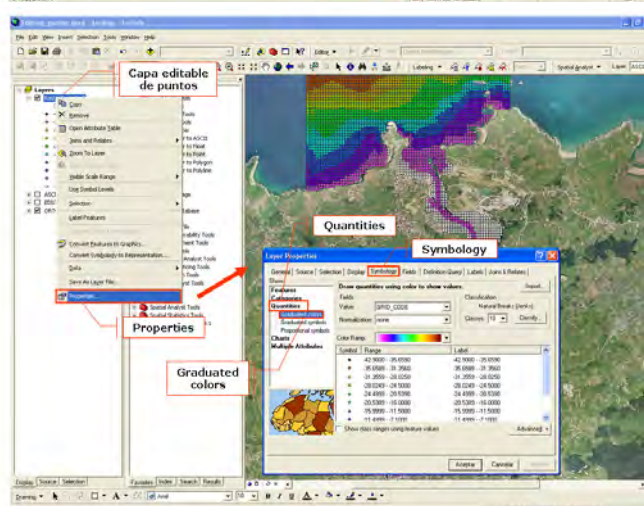
Por otro lado, cabe mencionar que para llevar a cabo la modificación de la información de una capa de puntos puede resultar de suma utilidad el establecer una simbología graduada por colores a fin de que éstos guíen al usuario con respecto a los cambios que vaya realizando. Bajo esta simbología, si el nuevo valor asignado a un punto le hace cambiar de intervalo, automáticamente, el color del punto cambia también, de forma

que el usuario puede identificar las modificaciones que van ocurriendo durante la edición de la capa. Asimismo, puede comparar los grandes bloques de color con las líneas batimétricas e identificar rápidamente si se ha cometido algún error en la introducción o interpolación del valor de alguna celda cuando esta presenta un color distinto al del resto de celdas adyacentes.

De este modo, es posible emular el funcionamiento de la primera versión de AQUALAB (AquaLab Version 1.3.5, 1999) que resulta muy directo (Figura 4-28 a), pero con las ventajas de visualización que ofrece un entorno SIG, como la superposición de la información sobre la ortofoto de la zona, por ejemplo (Figura 4-28 b). Para ello es necesario dar click con el botón derecho del ratón sobre la capa de puntos que se quiera editar y seleccionar la opción "Properties". Posteriormente, dentro de la pestaña "Symbology" se debe seleccionar la opción de "Graduated Colors" localizada dentro de la opción "Quantities".



4-28 a.



4-28 b.

**Figura 4-28. Procedimiento para llevar a cabo la modificación de puntos utilizando graduaciones de color como guía.**



### **Generación de un nuevo raster a partir de la capa de puntos editada**

Una vez editada la capa de puntos, utilizando la herramienta de conversión del SIG "Point to Raster" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/Point to Raster) es posible generar un nuevo raster que contenga la información modificada. Para ello es preciso introducir a la herramienta la capa de puntos que contiene la información ya modificada (*Input Features*), el atributo sobre el cual se generará el raster (*Value Field*). En este caso "GRID\_CODE". Asimismo, es preciso indicar el nombre y localización en donde será almacenado el raster generado (*Output Raster Dataset*) y la dimensión, en metros, que habrán de tener las celdas de este raster (*Cellsize (optional)*). Finalmente, los campos "Cell assignment type (optional)" y "Priority field (optional)" deben permanecer tal y como aparecen por defecto, es decir, como "MOST\_FREQUENT" y "NONE", respectivamente (Figura 4-29).

### **Generación de un nuevo fichero de batimetría .TXT a partir del raster modificado.**

Finalmente, para reconvertir el raster modificado a un fichero de batimetría en formato .TXT debe completarse la siguiente secuencia utilizando la herramienta de conversión "Raster to ASCII" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/Raster to ASCII) previamente descrita (Figura 4-30).

Los ficheros resultantes de formato .TXT están listos para ser introducidos en los modelos H2D, H2DZ y AD3D integrados en AQUALAB 2.0. Sin embargo, si se pretende utilizar dichos ficheros fuera de este entorno, es decir, si con ellos se pretende proveer la información batimétrica a modelos que se van a ejecutar a través de MSDOS, es necesario completar el proceso de transformación que se describe a continuación.

#### **4.2.2.3. Transformación .TXT → .AGD**

En principio, es necesario cambiar el separador decimal de coma (que es el separador que adquiere por defecto tras las manipulaciones llevadas a cabo dentro del entorno SIG) a punto. Para ello basta con dar click al ejecutable "coma\_por\_punto.py" (disponible en el DVD adjunto) tras haber introducido el fichero .TXT en la carpeta "malla" que acompaña a dicho ejecutable.

Posteriormente, el fichero .TXT que contiene la información en una configuración matricial debe ser transformado a un fichero .DAT que contiene la información en una configuración vectorial. Este proceso se lleva

a cabo a través del ejecutable "all\_2xyz.exe" (disponible en el DVD adjunto) cuyo fichero de configuración demanda la siguiente información: número de ficheros que requieren ser transformados, nombre de los ficheros de entrada (.TXT), tipo de fichero (en este caso 1 porque se trata de ficheros batimétricos), dimensiones de la malla, sección de la malla que pretende transformarse (en este caso debe coincidir con las dimensiones de la malla puesto que se busca la transformación de la totalidad de la información) y nombre de los ficheros transformados (.DAT). Cabe mencionar que debe observarse un estricto orden de líneas y datos para que la transformación pueda llevarse a cabo de forma exitosa. Asimismo este ejecutable permite llevar a cabo esta transformación de formatos para ficheros de superficie libre, de velocidades y de concentraciones.

Finalmente, para transformar el formato de los ficheros de .DAT a .AGD se utiliza el ejecutable "xyz\_agd.exe" (disponible en el DVD adjunto) introduciendo el nombre del fichero .DAT (sin extensión), el número de celdas en x e y, el lado de la celda en x e y (en metros) y las coordenadas de longitud-latitud del origen de la malla.

#### **4.2.2.4. Transformación UTM → celdas**

Finalmente, y al margen de las transformaciones previamente descritas, se presenta un último procedimiento que puede resultar de gran ayuda para el establecimiento de puntos de vertido y/o estaciones de muestreo en celdas concretas de cualquier malla .AGD a partir de las coordenadas UTM (que es como habitualmente se encuentran referidos dichos puntos). Además de ser fundamental para la visualización de cierto tipo de resultados tal y como se comentará más adelante.

Asimismo, la integración de este procedimiento en el entorno AQUALAB 2.0 podría constituir una mejora significativa puesto que, precisamente, este es uno de los puntos débiles que presenta dicha herramienta, debido a que las funciones que se han programado en ella únicamente permiten la visualización de resultados provenientes de mallas que no presenten inclinación con respecto al norte, mientras que el siguiente procedimiento no experimenta restricción alguna debido a la presencia de un ángulo de inclinación.

1. En primer lugar es necesario transformar la configuración matricial en la que se almacena la información batimétrica de la malla de cálculo (formato .AGD) en una configuración vectorial (formato .DAT) utilizando el ejecutable "all\_xyz.exe" (disponible en el DVD adjunto). El fichero de configuración de este ejecutable demanda la información que se menciona a continuación: número de ficheros que se desea

transformar, nombre de los ficheros de entrada (.AGD), tipo de ficheros (en este caso 1 por tratarse de ficheros de batimetría), dimensiones de la malla, sección de la malla que pretende transformarse (debe coincidir con las dimensiones de la malla puesto que se busca la transformación de la totalidad de la información) y nombre de los ficheros de resultados (.DAT) de acuerdo con el orden de los ficheros de entrada.

2. La transformación anterior arrojará como resultado un fichero de 3 columnas: [celda x, celda y, profundidad]. No obstante, para la consecución del objetivo que se plantea para este procedimiento, es decir, para lograr el establecimiento de la equivalencia entre coordenadas y celdas, la única información que resulta de interés son las dos primeras columnas. Por tal motivo, después de eliminar la tercera columna que contiene los valores de profundidad se construirá una nueva columna indicando la siguiente formulación: "celda x+(celda y/1000)" para asociar la parte entera del número a la celda x mientras que la parte decimal se corresponderá con la celda y. Esta formulación está diseñada para mallas que no excedan las dimensiones de 1000 x 1000 celdas. De este modo, por ejemplo, si las dos primeras columnas presentan los valores de 23 y 501, para la tercera columna debe obtenerse como resultado 23.501.
3. Una vez modificada esta tercera columna, el fichero .DAT debe ser transformado nuevamente a un formato .AGD para posteriormente ser convertido a un formato .TXT utilizando los ejecutables "xyz\_agd.exe" y "agd\_gis.exe" (ambos disponibles en el DVD adjunto), respectivamente, tal y como se ha comentado previamente.
4. A continuación, este fichero .TXT debe ser cargado al proyecto SIG mediante la herramienta "ASCII to Raster" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster) (Figura 4-16).
5. Si fuese necesario, el raster resultante de la operación anterior debe ser rotado utilizando la herramienta "Rotate" (ArcToolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations/Raster/Rotate) (Figura 4-18). Una vez rotado, el raster obtenido debe ser ajustado a la realidad física de la zona de estudio (Figuras 4-19 a 4-23).

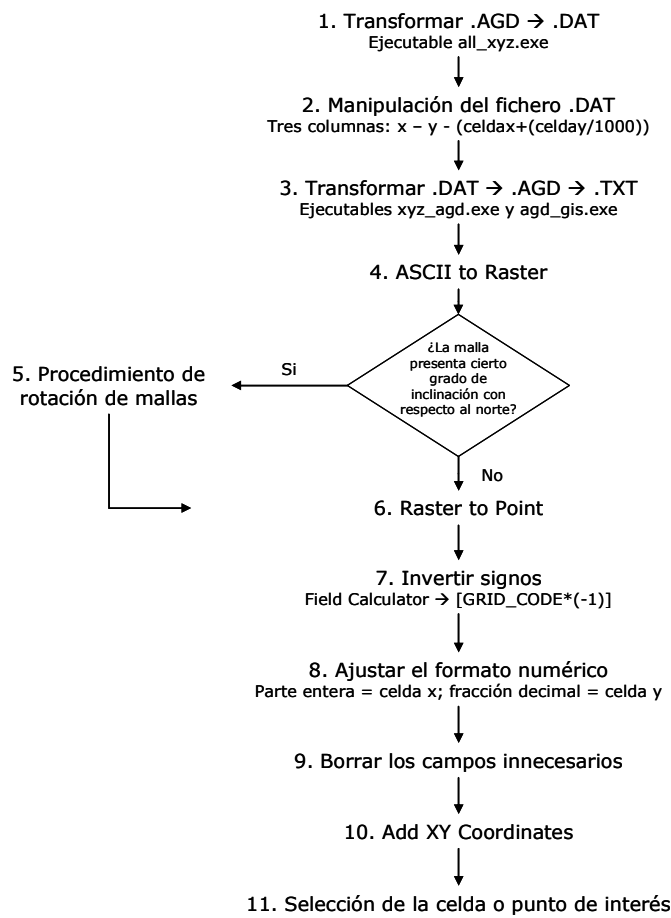
6. Posteriormente, dicho raster debe ser convertido a una capa de puntos a través del uso de la herramienta "Raster to Point" (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Point) (Figura 4-24). En ella debe añadirse un campo denominado "CELDAS" seleccionando "Add Field" del menú que se despliega al pulsar el botón "Options" dentro del cuadro de diálogo que muestra los atributos de la capa ("Open Attribute Table"). Es preciso indicar en el tipo de campo la opción "Float" (Figura 4-31).
  
7. Cuando aparece esta nueva columna, dando sobre ella click con el botón derecho del ratón, se despliega un nuevo menú en el que debe seleccionarse "Field Calculator" indicando la instrucción "[GRID\_CODE]\*(-1)". Esta operación permite cambiar el signo que se ha invertido en el proceso previo de transformación puesto que los ejecutables utilizados están diseñados para la transformación de información batimétrica, la cual, exige dicho cambio (Figura 4-32).
  
8. Posteriormente, dentro de este mismo menú, debe seleccionarse "Properties", pulsar en el botón "Numeric..." para indicar 3 en el número de decimales y activar la opción "Pad with zeros". Con ello, todos los datos contenidos en la columna denominada como "CELDAS" tendrán un formato de 3 decimales que escribe también los ceros a la derecha, distinguiendo así, por ejemplo, 1.005, 1.050 y 1.500 (Figura 4-33).
  
9. Una vez hecho esto, es conveniente borrar los campos que no vayan a ser utilizados a fin de lograr mayor claridad en la posterior consulta de información. Para ello basta con seleccionar "Delete Field" del menú que se despliega al dar click sobre cada una de las columnas que se desea eliminar con el botón derecho del ratón (Figura 4-34).
  
10. Finalmente, mediante la herramienta "Add XY Coordinates" (ArcToolbox/Data Management Tools/Features/Add XY Coordinates) se hacen explícitas las coordenadas contenidas en cada punto a fin de que puedan ser consultadas por el usuario al abrir la tabla de atributos de la capa. De este modo, es posible determinar las celdas

correspondientes a un punto de interés (selección gráfica) o determinar las coordenadas UTM de un par de celdas (selección tabular) (Figura 4-35).

11. Para llevar a cabo una **selección gráfica** basta con activar la herramienta de selección ("*Select Features*") antes de pulsar el punto de interés sobre la capa generada, abrir la tabla de atributos y presionar el botón "*Selected*". Así, por ejemplo, si se selecciona un punto próximo a un punto de vertido, es posible establecer la celda en la que se está llevando a cabo dicho vertido sólo leyendo la línea correspondiente en la tabla de atributos. En la Figura 4-36 a, puede observarse que los resultados de dicha línea indican que el punto seleccionado se corresponde con la celda 148 en dirección X y 227 en dirección Y. Asimismo, indica sus coordenadas UTMX y UTM Y. Por su parte, si se tiene interés en conocer las coordenadas que se corresponden con un par de celdas en concreto, se debe realizar una **selección tabular** (Figura 4-36 b). Para ello, es necesario abrir la tabla de atributos y teniendo activada la herramienta de selección ("*Select Features*") pulsar sobre la línea que contiene las celdas de interés. Aunque en esta línea pueden leerse directamente las coordenadas UTMX y UTM Y propias de dicho par de celdas, el realizar esta selección permite que el usuario pueda conocer, además de las coordenadas, la ubicación física del punto correspondiente puesto que éste queda resaltado en color azul.

Al igual que los procedimientos descritos anteriormente éste no encierra gran complejidad, sin embargo, la laboriosidad que implica debido a la cantidad de pasos que deben seguirse puede representar ciertas dificultades para su aplicación. Por tal motivo, a fin de proporcionar una guía para el usuario, el procedimiento para la transformación de coordenadas UTM en celdas se sintetiza en el Esquema 4-3. En todo caso, resulta altamente recomendable aplicar este procedimiento cuando se da inicio a un proyecto puesto que su utilidad posterior justifica, ampliamente, el tiempo que pueda invertirse en la elaboración de esta capa de transformación entre coordenadas UTM y celdas.

### Transformación de coordenadas UTM a celdas



Esquema 4-3. Procedimiento de transformación de coordenadas UTM a celdas.



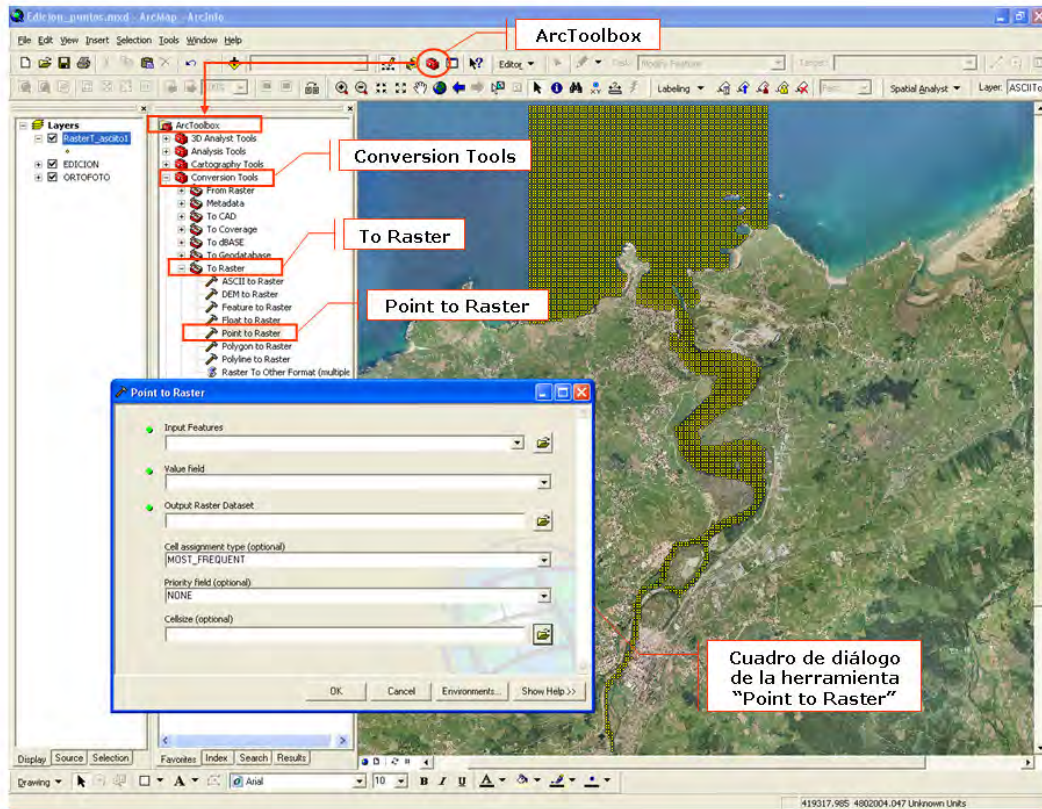


Figura 4-29. Conversión de una capa editable de puntos a raster ("Point to Raster").

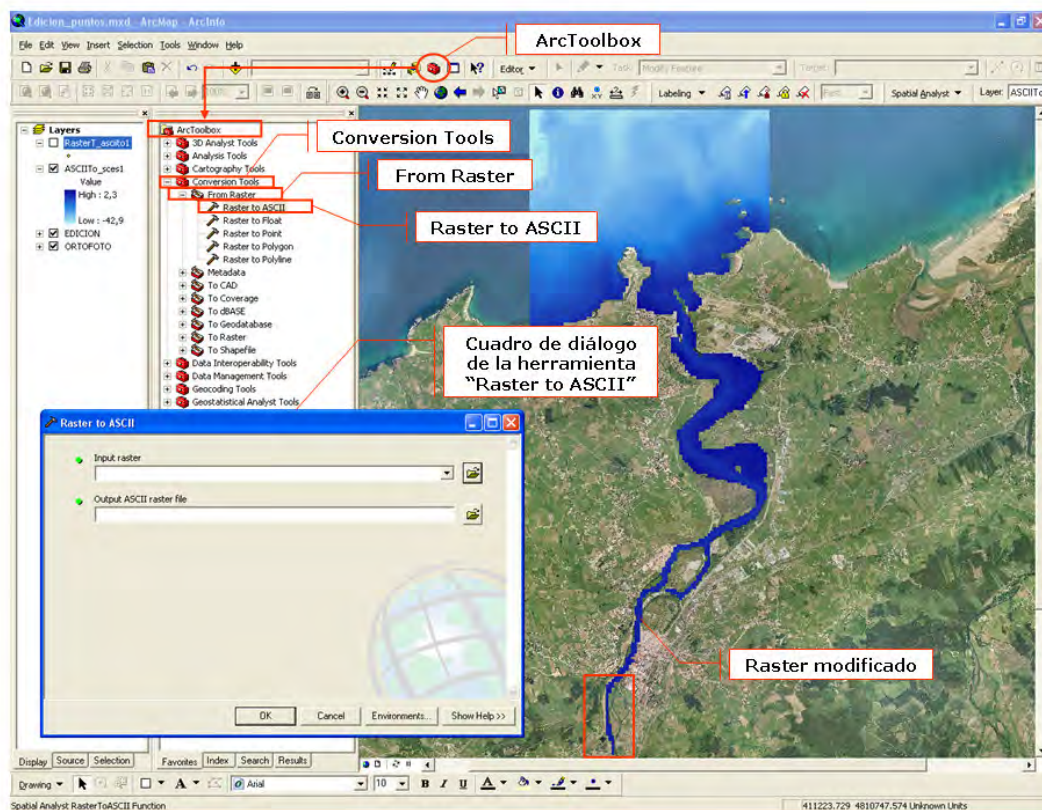


Figura 4-30. Conversión del raster modificado a formato .TXT ("Raster to ASCII").

#### 4. Procedimientos metodológicos para la integración del modelo desarrollado en un entorno SIG

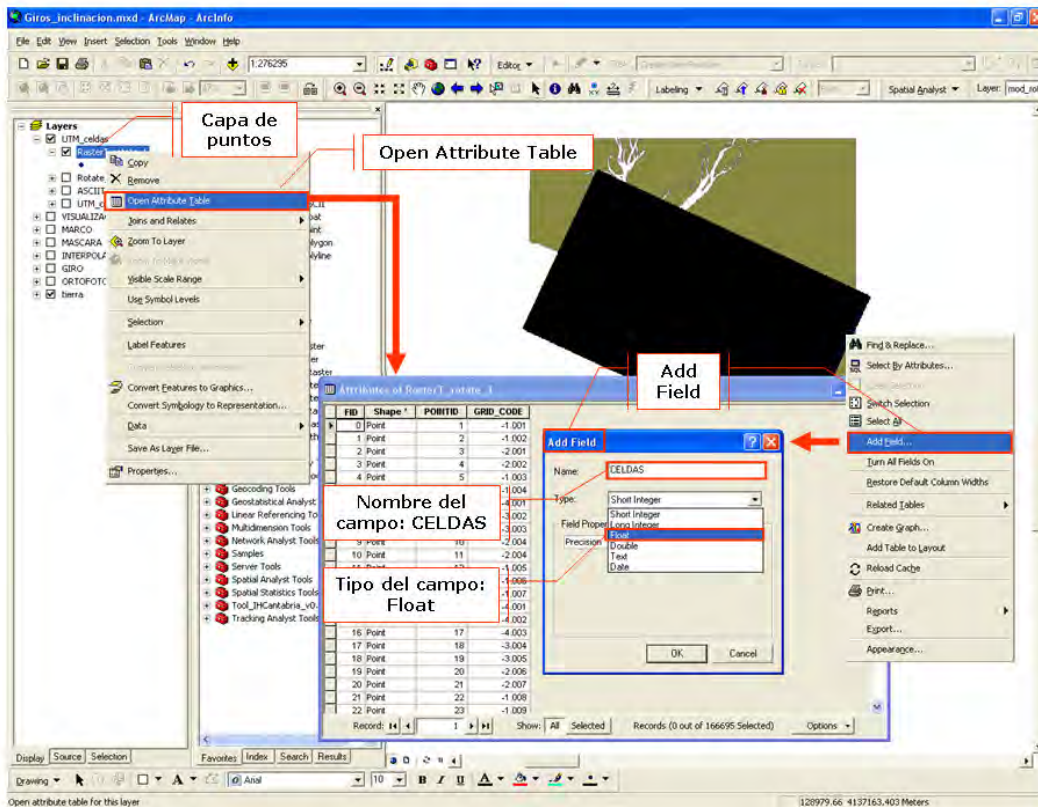


Figura 4-31. Adición de campos en una tabla de atributos ("Add Field").

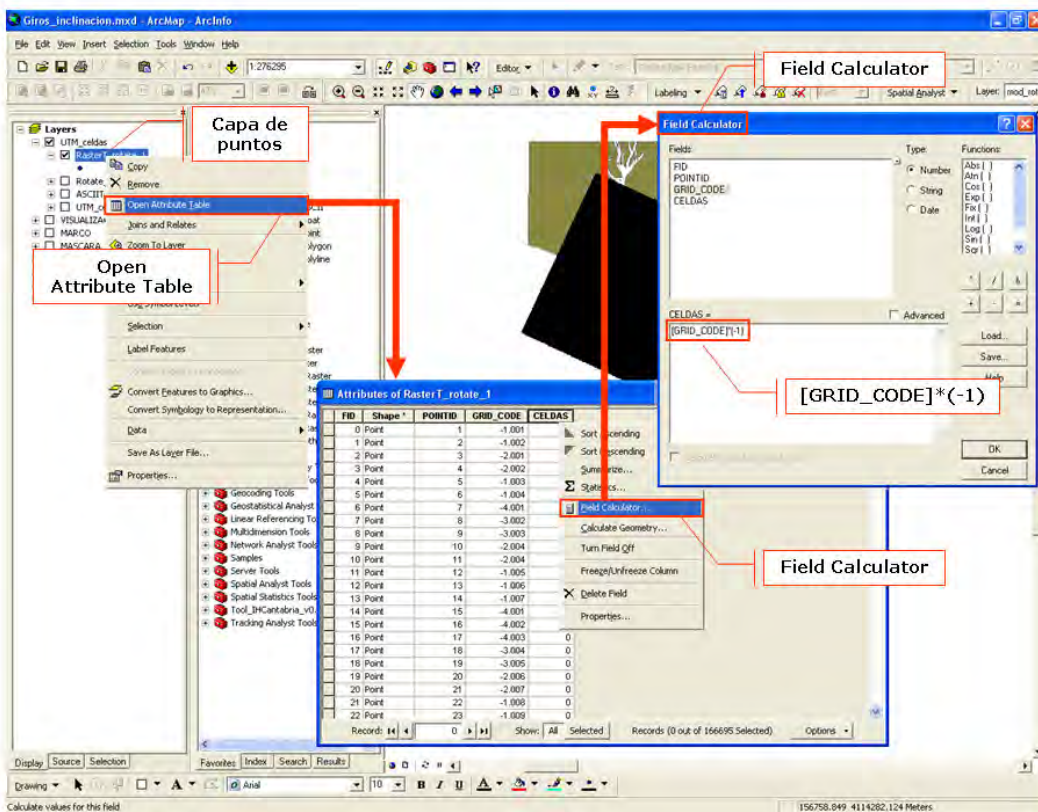
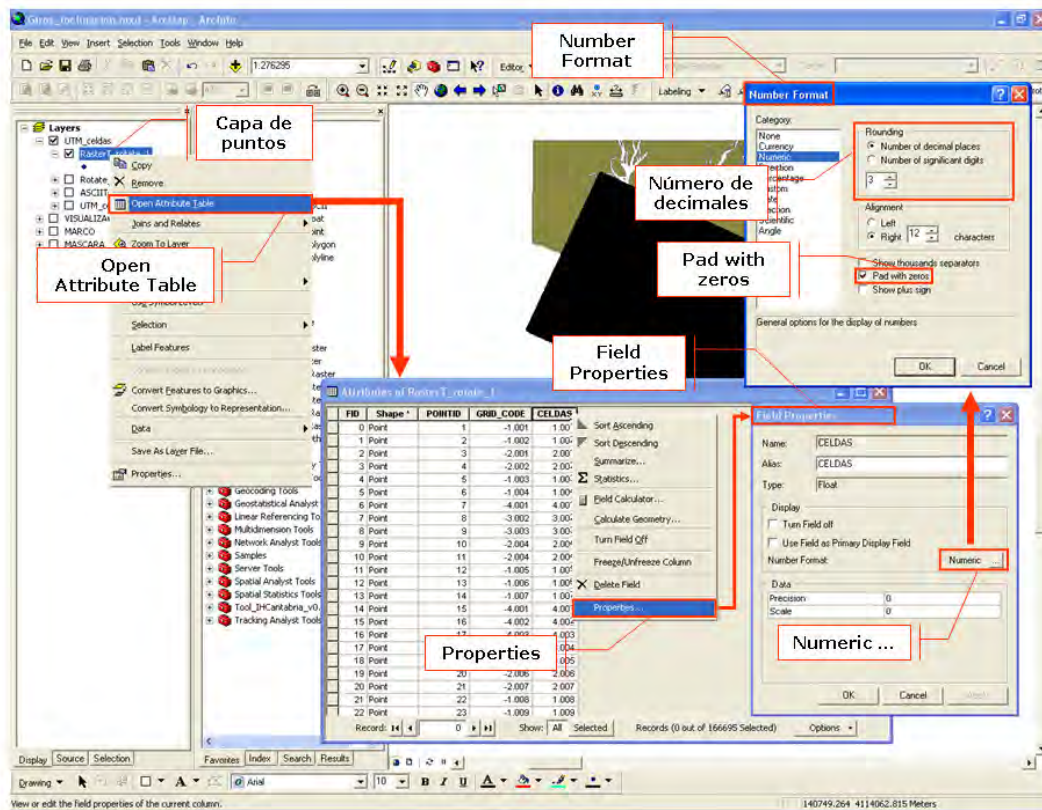
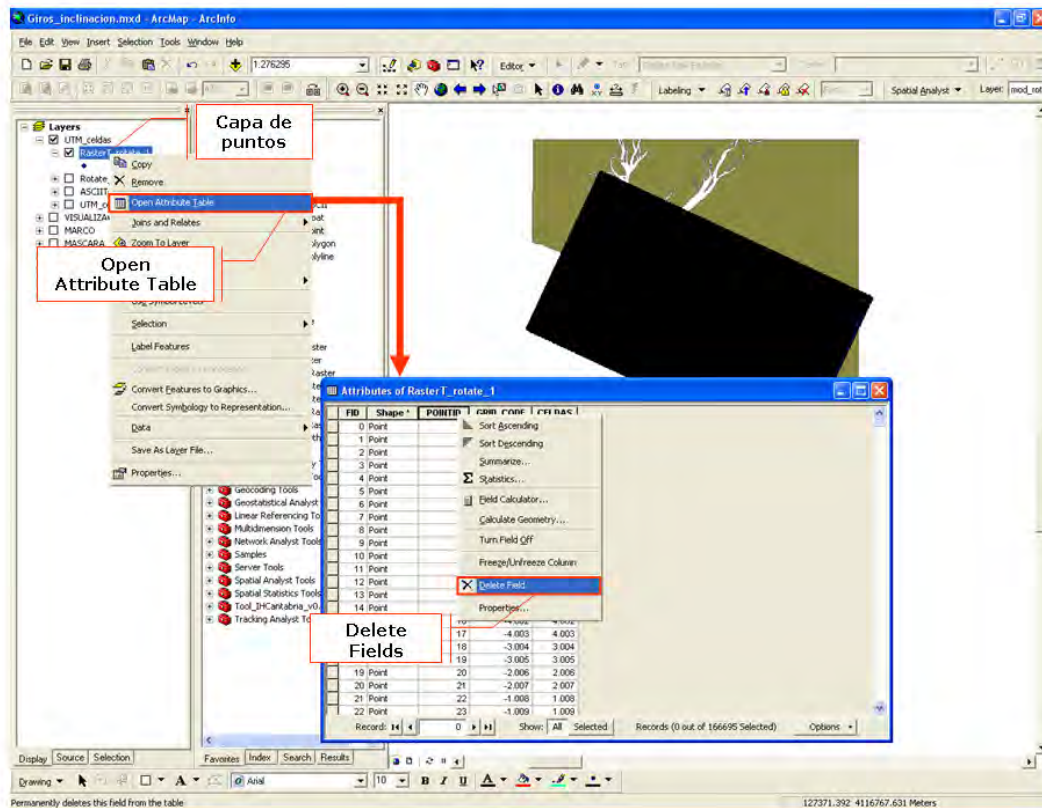


Figura 4-32. Opciones de cálculo aplicables a los campos de una tabla de atributos ("Field Calculator").





**Figura 4-33. Establecimiento de las propiedades de un campo creado en un ataba de atributos ("Field Properties").**



**Figura 4-34. Eliminación de campos innecesarios de una tabla de atributos ("Delete Field").**

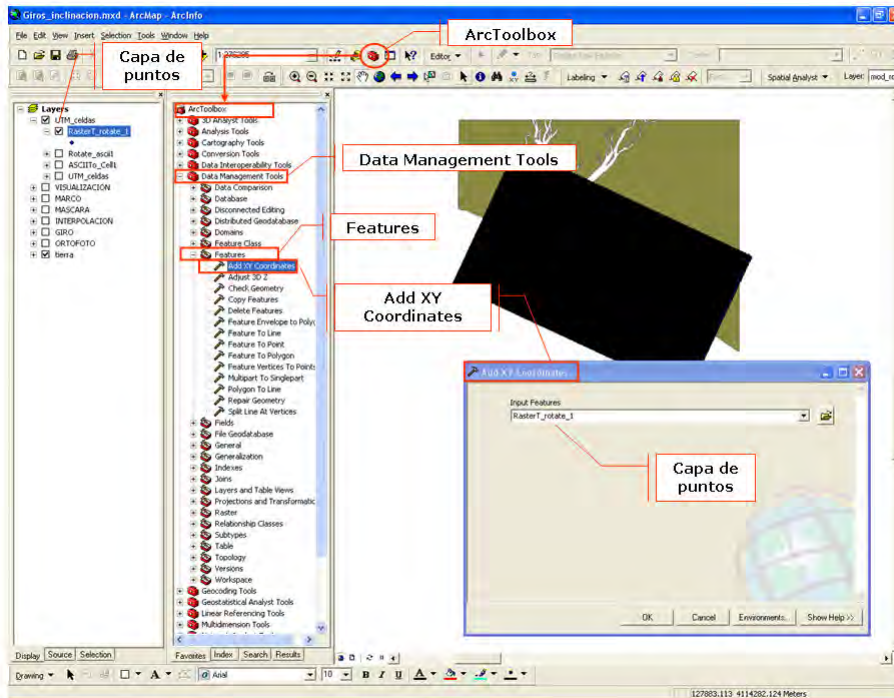
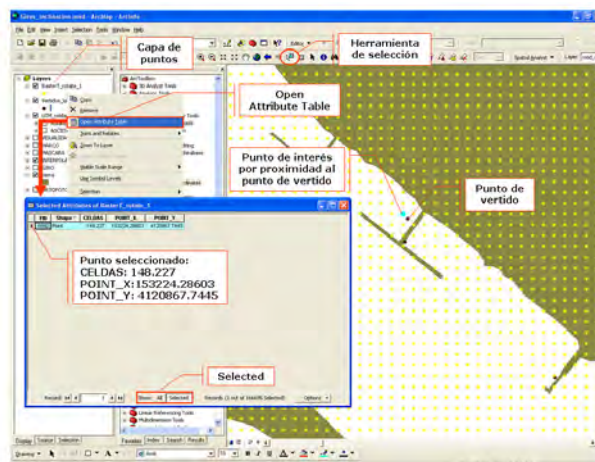
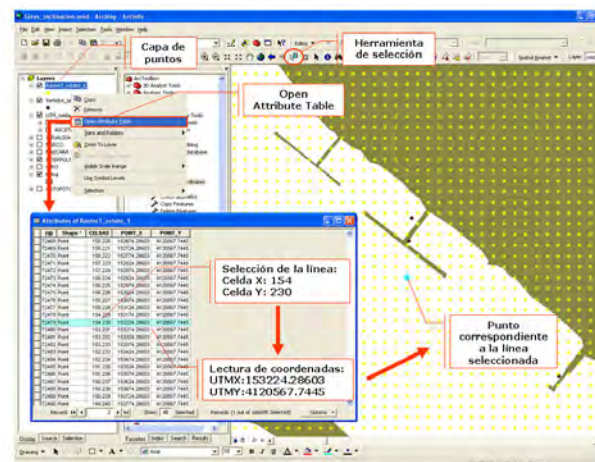


Figura 4-35. Adición de coordenadas en la tabla de atributos ("Add XY Coordinates").



4-36 a.



4-36 b.

Figura 4-36. Selección gráfica y tabular de celdas de interés.

### 4.2.3. Generación de mapas de sólidos en suspensión

El modelo desarrollado permite introducir la variable de sólidos en suspensión de dos formas: i) como condiciones de contorno a través del fichero .INP y, ii) cargando una malla que contiene la información de los sólidos en suspensión presentes en cada una de las celdas de la malla de estudio.

En el primer caso, la introducción de esta variable se limita al uso de valores fijos establecidos como valores de fondo y de contornos. En el segundo caso, es posible especificar una variabilidad espacial más precisa, sin embargo, requiere de la generación de una malla que provea tal información al modelo. Si se opta por este último caso, previo a la utilización del modelo, será necesario dar seguimiento al procedimiento detallado a continuación para generar dicha malla de sólidos en suspensión.

1. En principio, partiendo de los datos recabados en campañas de campo se genera un fichero .XLS de tres columnas en el siguiente orden: coordenada UTMX, coordenada UTM Y y valor de sólidos en suspensión. Este fichero se carga al proyecto SIG haciendo uso del menú "Tools" y del submenú "Add XY Data" en el cual debe seleccionarse la hoja de cálculo del fichero que contiene la información y las columnas que deben alimentar a los campos X e Y. Asimismo, es necesario establecer el sistema de coordenadas acorde al proyecto dando un click en el botón "Edit". Esta acción desplegará un cuadro de diálogo en donde debe presionarse el botón "Select" para seguir la secuencia que a continuación se describe. Suponiendo que los datos de las campañas se encuentren referenciados en coordenadas UTM: Projected Coordinate Systems / Utm / Other GCS / European Datum 1950 UTM Zone \*N.prj / Aplicar / Aceptar. Siendo \* el número de zona que corresponda. De este modo, se genera una capa de puntos que contiene la información de sólidos en suspensión (Figura 4-37).

Tal y como se ha comentado, cuando la malla de estudio posee cierto grado de inclinación, al ser cargada como raster, por defecto, sufre una rotación que posiciona a los ejes x e y en situación totalmente horizontal y vertical, respectivamente. Por tal motivo, es necesario ajustar la localización de los puntos que contienen la información de las campañas de acuerdo con dicha rotación. Es decir, a efectos de poder llevar a cabo este procedimiento en forma correcta, es preciso utilizar las coordenadas que se correspondan con la malla rotada y no las reales (Figura 4-38). Para ello, basta con aplicar sobre cada uno de los puntos de muestreo una marca utilizando la herramienta de dibujo para formar después un único grupo de imágenes a partir de



dichas marcas. Posteriormente, este grupo debe desplazarse y rotarse tanto como sea necesario hasta ajustar con el raster de la zona de estudio. Finalmente, es necesario anotar la nueva coordenada de cada punto para generar una nueva capa de información cargando un nuevo fichero .XLS que contendrá los mismos valores de sólidos en suspensión que el fichero original, pero asociados a los nuevos pares de coordenadas. Cabe subrayar que las coordenadas así obtenidas son temporales y no deben ser utilizadas durante el resto del proyecto, su utilidad queda reducida, únicamente, a la generación de la capa de puntos que habrá de interpolarse en el paso 3.

2. Por otro lado se genera una capa .SHP conteniendo un polígono de las dimensiones exactas de la malla de estudio. Este polígono actuará como un marco que delimita la zona dentro de la cual debe llevarse a cabo la interpolación (Figura 4-40) de los valores que se introducirán a través de la capa de puntos previamente cargada al proyecto SIG. Es muy importante que este marco coincida fielmente con las dimensiones de la malla, puesto que de ello depende que la malla de sólidos en suspensión que se obtenga como resultado final tenga el mismo número de celdas en x e y que la malla de trabajo.

Para ello existen dos opciones: crear directamente una capa con el polígono correspondiente o aplicar la herramienta "Reclassify" (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify) sobre una copia del raster de la malla de cálculo. Si se opta por esto último, se deben seleccionar todos los intervalos de clasificación para eliminarlos con el botón "Delete Entries" a excepción del primero y el último. En el primer intervalo deben modificarse los valores de los campos "Old Values" y "New Values" de forma que aparezca un único intervalo que englobe la totalidad de los valores de profundidad contenidos en la malla (por ejemplo "-25 - 0" si el mayor valor de profundidad es de 25 m.) y "1", respectivamente. Por su parte, en el último intervalo, en los campos "Old Values" y "New Values" deben aparecer "NoData" y "0", respectivamente (Figura 4-39).

De este modo, todas las celdas del raster contendrán un único valor de "1" con lo cual, es posible convertirlo a un polígono utilizando la herramienta del SIG "Raster to Polygon" (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Polygon) indicando el raster que contiene el valor "1" en todas sus celdas (*Input Raster*) y el nombre y localización en donde se almacenará la capa .SHP generada como resultado (*Output Polygon features*). En el campo "Field (optional)" debe mantenerse la opción "Value".

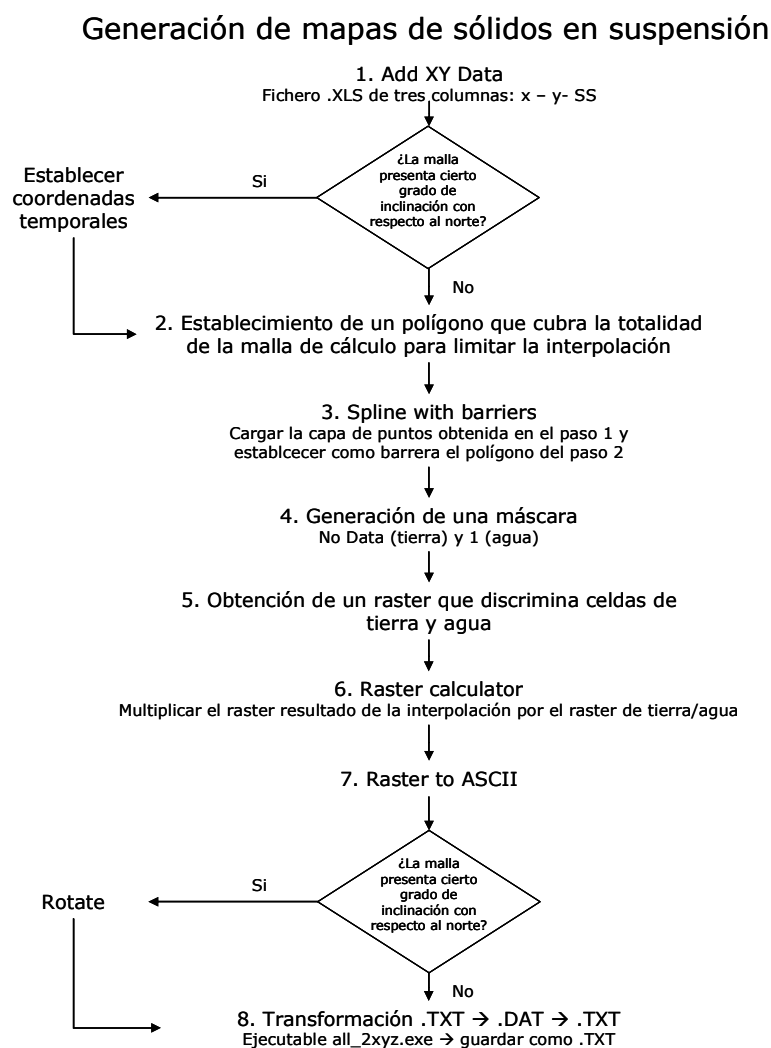
3. Por su parte, para poder llevar a cabo la interpolación es necesario hacer uso de la herramienta SIG "*Spline with Barriers (Spatial Analyst Tool)*" (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Interpolation/Spline with Barriers) (Figura 4-41) indicando la capa de puntos con la información de los valores de sólidos en suspensión obtenida en el paso 1 (*Input point features*), los valores sobre los cuales se hará la interpolación (en este caso, sólidos en suspensión) (*Z value field*), el marco que delimita la zona de interpolación obtenido en el paso 2 (*Input barrier features*), las dimensiones del lado de la celda que deben ser coincidentes con las de las celdas de la malla de estudio (*Output cell size*) y el nombre y localización de almacenamiento para el raster que contendrá los resultados de la interpolación (*Output raster*).
  
4. Por otro lado, partiendo de la malla de estudio en formato .TXT, debe generarse una máscara compuesta únicamente de 9999 (No data) y 1 para las celdas de tierra y agua, respectivamente. Para ello existen dos alternativas:
  - a) Si se parte de la información contenida en el fichero de la malla de estudio en formato .AGD, la máscara debe estar compuesta de -100 y 1 para las celdas de tierra y agua, respectivamente. Para llevar a cabo tal transformación, es necesario utilizar el ejecutable "*agua1.exe*" (disponible en el DVD adjunto). Éste sustituye los valores de todas las celdas de agua por unos. Su manejo es sumamente sencillo puesto que tras dar click en el programa únicamente se requiere introducir el nombre del fichero .AGD que se quiere modificar y el nombre que se desea asignar al fichero .AGD modificado. Posteriormente, la máscara obtenida en formato .AGD debe convertirse a formato .TXT utilizando el ejecutable "*agd\_gis.exe*" (disponible en el DVD adjunto) previamente descrito.
  
  - b) Si se parte de la información contenida en el fichero de la malla de estudio en formato .TXT, existe la posibilidad de construir la máscara utilizando la herramienta SIG "*Reclassify*" (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify) seleccionando todos los intervalos de clasificación para eliminarlos con el botón "*Delete Entries*" a excepción del primero y el último (Figura 4-39). En este primer intervalo deben modificarse los valores del campo "*Old Values*" de forma que aparezca un único intervalo que englobe todos los valores de profundidad. Cabe recordar que el SIG entiende como negativos los valores de profundidad, así, por ejemplo, si el mayor valor de profundidad de la malla de estudio se corresponde con 25 m, en este campo debe escribirse "-25 - 0". Posteriormente, en el campo de

"*New Values*" debe escribirse "1". Esto indica que para todas aquellas celdas cuya profundidad se encuentre entre 0 y 25 m, se llevará a cabo una sustitución de dichos valores por un uno. En el último intervalo debe conservarse "*NoData*" en ambos campos. El resultado de aplicar esta herramienta será un raster compuesto únicamente de valores "1" y "*NoData*".

5. Si en el paso anterior se ha optado por la primera alternativa, una vez obtenida la máscara en formato .TXT es necesario cargarla al proyecto SIG como un raster utilizando la herramienta "*ASCII to Raster*" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster) previamente descrita. Si por el contrario, durante el paso anterior se ha seleccionado la segunda opción, no es necesario llevar a cabo tal conversión puesto que la máscara generada ha sido construida directamente como un raster.
  
6. Como puede observarse, en este punto se cuenta ya con dos rasters, uno que contiene los datos de la interpolación (Paso 3) y, otro que contiene la información que discrimina las celdas de tierra y agua (Paso 5) (Figura 4-42). Así pues, es posible multiplicarlos utilizando la herramienta "*Raster Calculator*" de la extensión "*Spatial Analyst*". Esta operación permite eliminar la información interpolada que se corresponde con celdas de tierra y mantener únicamente la información que se corresponde con celdas de agua (Figura 4-43).
  
7. Posteriormente, este último raster debe ser transformado a un fichero ASCII en formato .TXT utilizando la herramienta "*Raster to ASCII*" (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to ASCII) previamente descrita (Figura 4-15).
  
8. El fichero ASCII resultante presenta una configuración matricial y, puesto que el modelo desarrollado lee esta información en formato vectorial, este fichero debe ser convertido a formato .DAT y guardado nuevamente como .TXT pero con una configuración vectorial. Las transformaciones entre distintos formatos .TXT y .DAT se describen en el epígrafe 4.2.2.

9. Finalmente, si se quiere tener disponible la información del mapa de sólidos en suspensión generado dentro del proyecto GIS y, la malla presenta un cierto ángulo de inclinación, es necesario rotar el raster generado en el paso 7 mediante la herramienta "Rotate" (ArcToolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations /Raster/Rotate) previamente descrita (Figura 4-18).

De este modo, la secuencia de pasos anterior permite la obtención de las capas que se muestran de forma condensada en la Figura 4-44. Una vez finalizado el procedimiento, el resultado definitivo quedará constituido por un raster que además de contener información sobre la concentración de sólidos en suspensión para cada celda, se ajusta a la realidad física de la zona de estudio. Asimismo, la síntesis del procedimiento propuesto se muestra en el Esquema 4-4.



**Esquema 4-4. Procedimiento para la generación de mapas de sólidos en suspensión.**

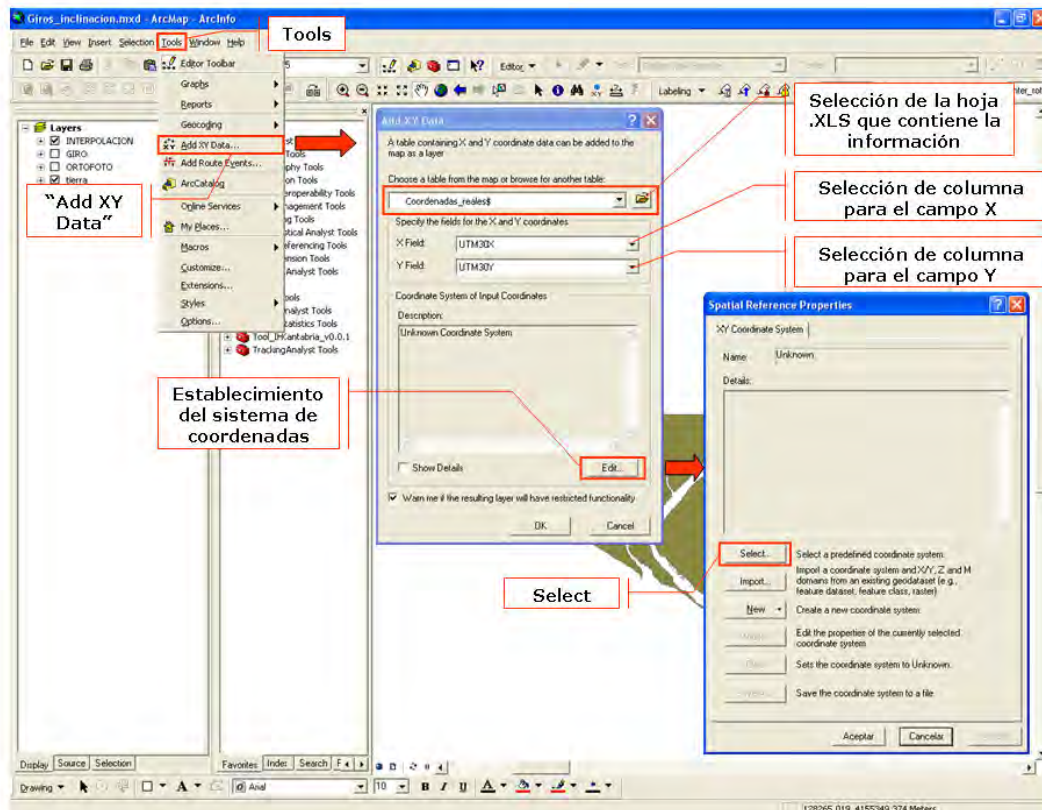


Figura 4-37. Adición de información en formato xyz ("Add XY Data").

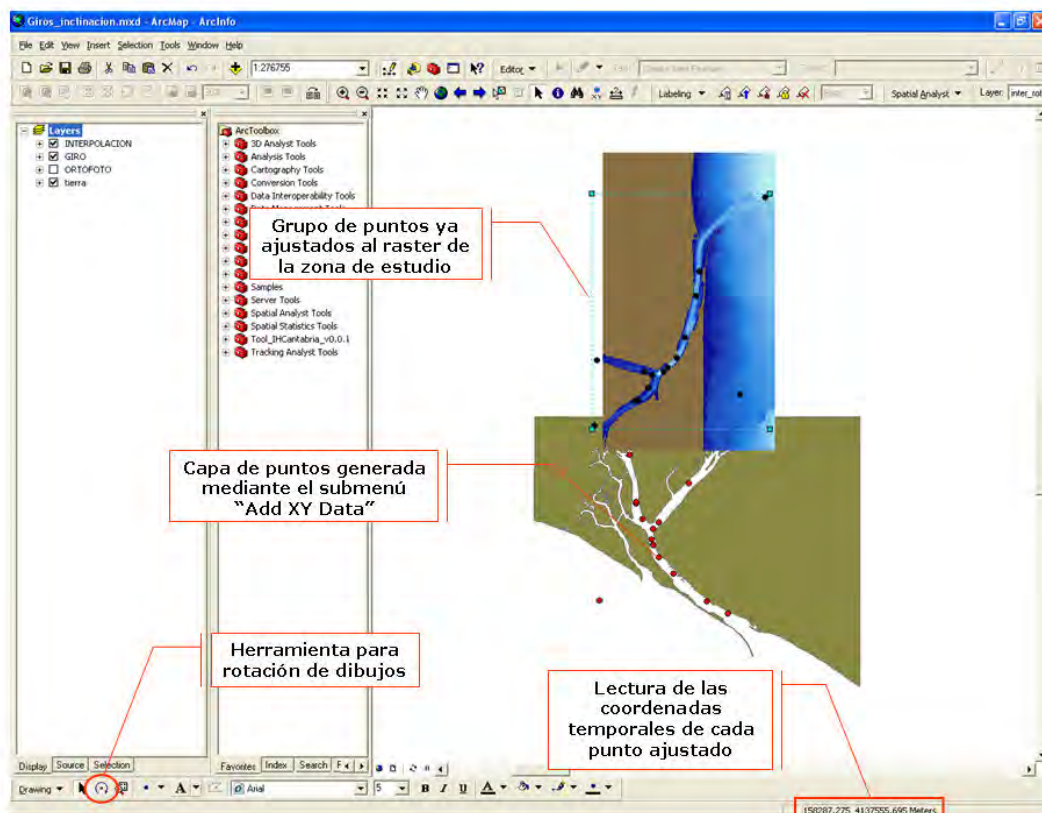


Figura 4-38. Rotación de los puntos de muestreo para el establecimiento de coordenadas temporales.



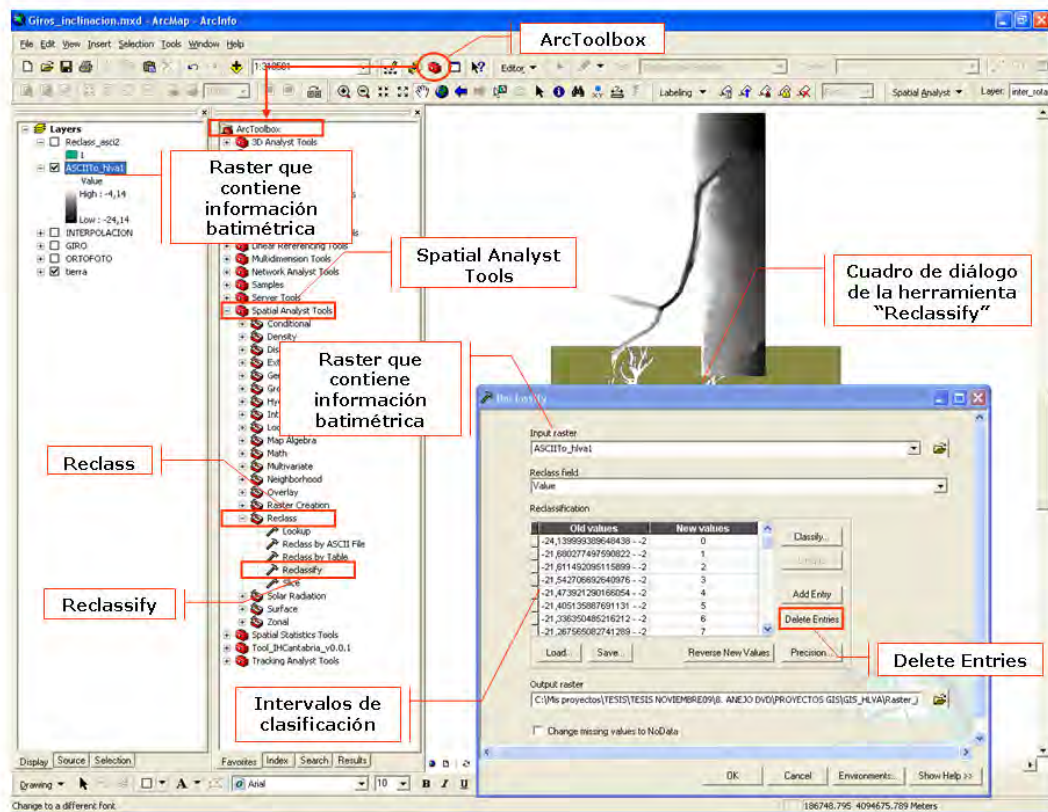


Figura 4-39. Reclassificación de intervalos de un raster ("Reclassify").

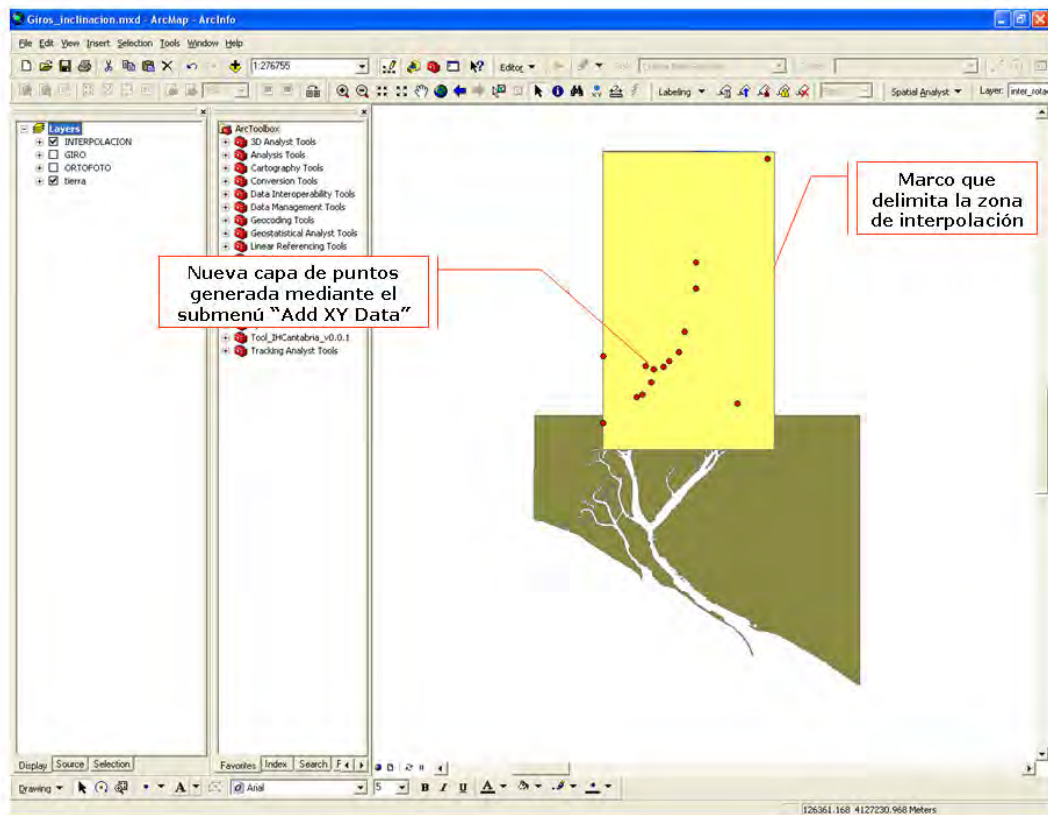


Figura 4-40. Marco para la delimitación de la zona de interpolación.

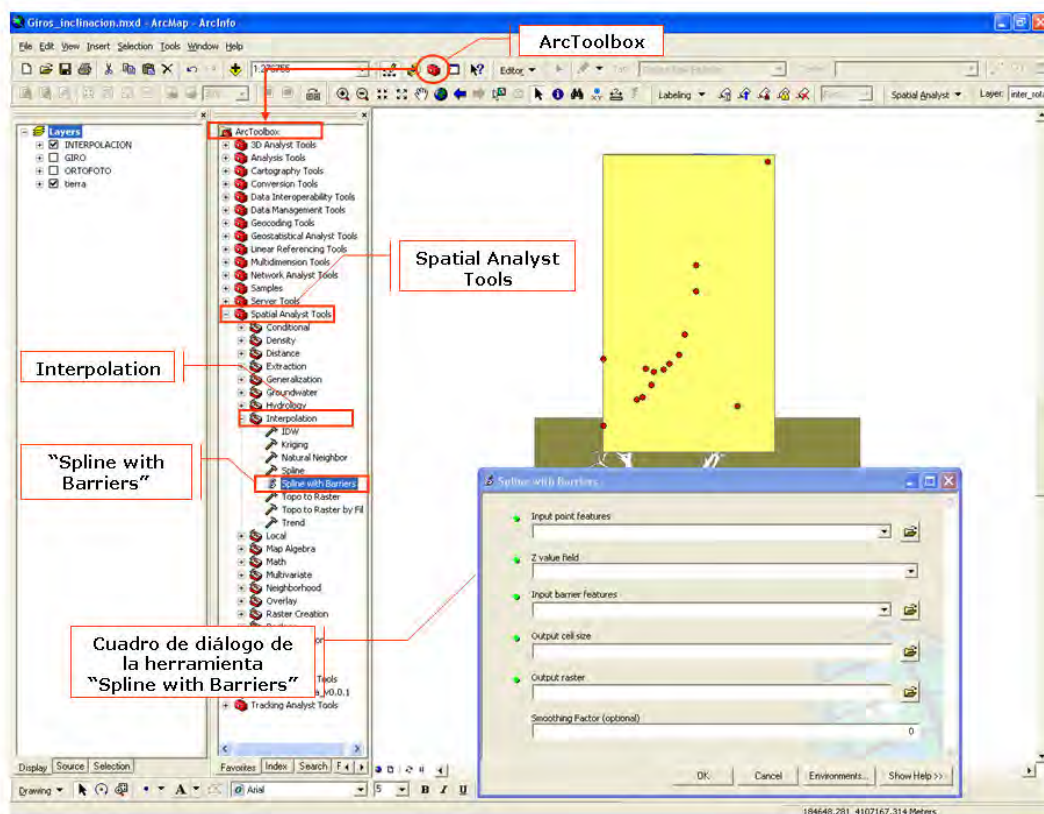


Figura 4-41. Interpolación de la información dentro del marco de delimitación establecido ("Spline with Barriers").

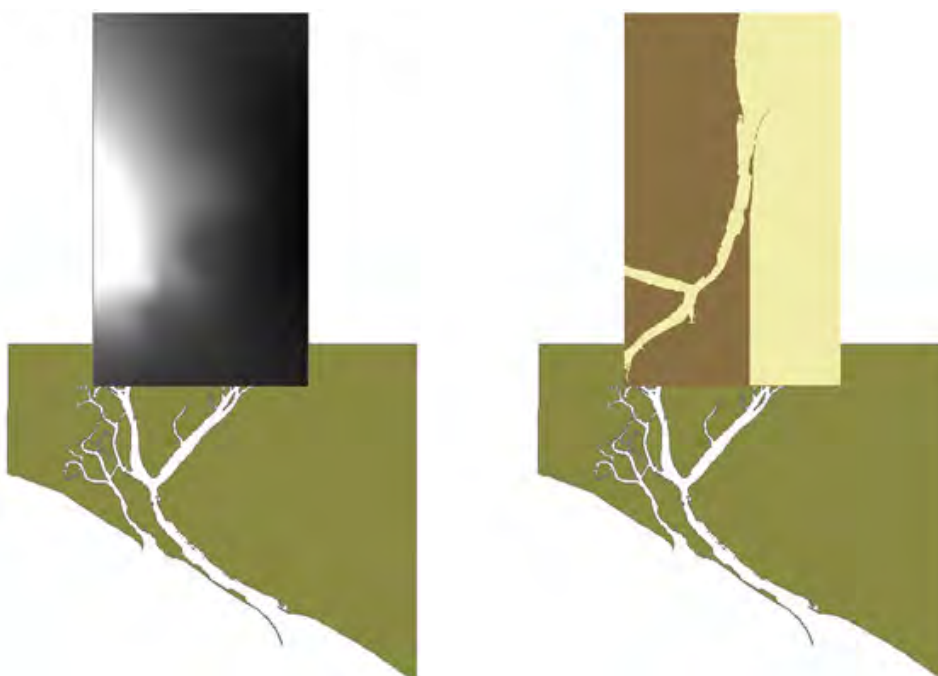


Figura 4-42. Aspecto del raster generado mediante la herramienta "Spline with Barriers" (izq.) y del raster correspondiente a la máscara No Data/1 (dcha.).

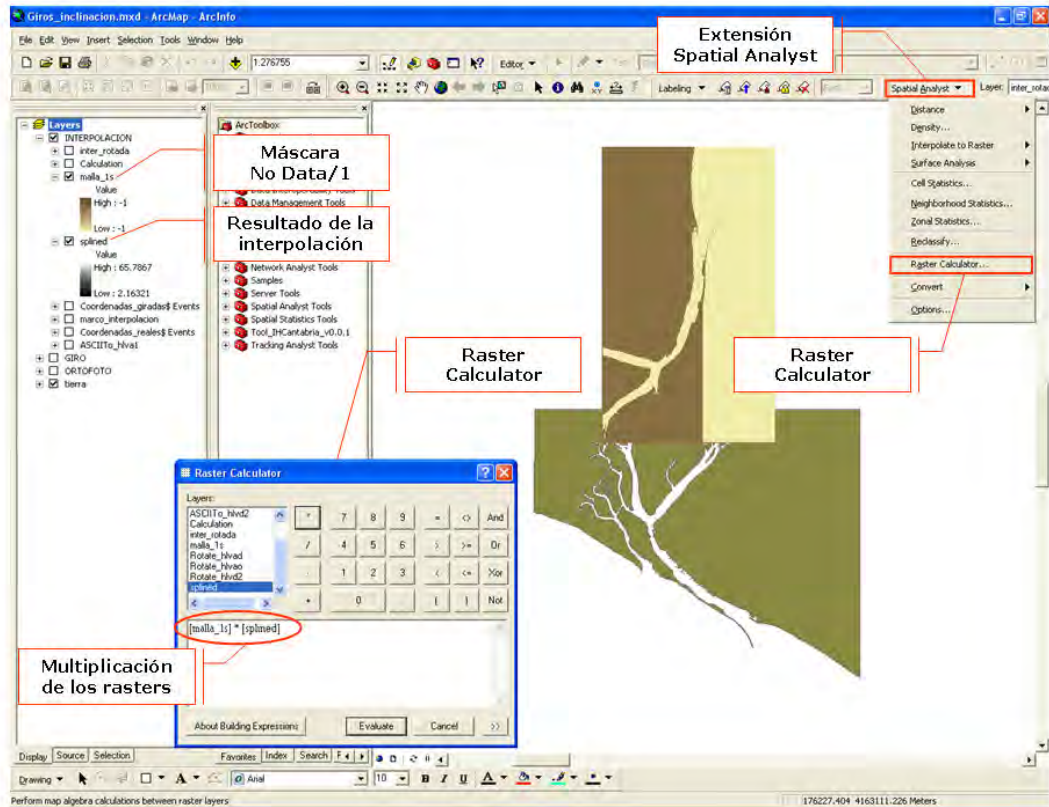


Figura 4-43. Multiplicación de rasters ("Raster Calculator").

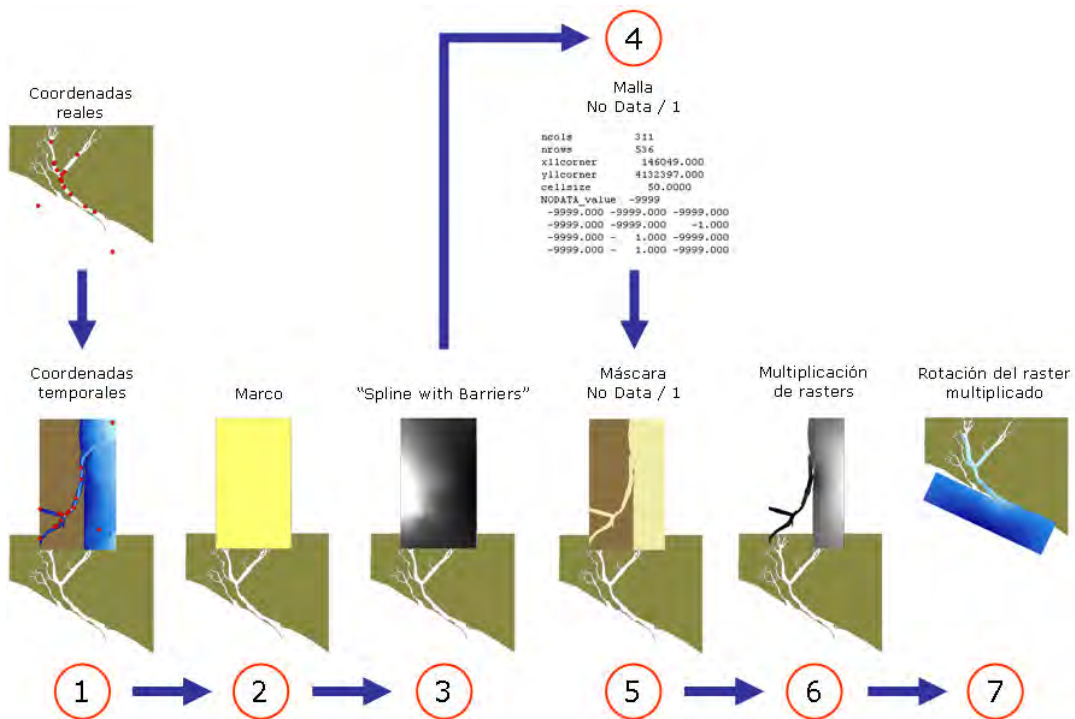


Figura 4-44. Generación de mallas de sólidos en suspensión a través de la interpolación de datos puntuales.