

**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**

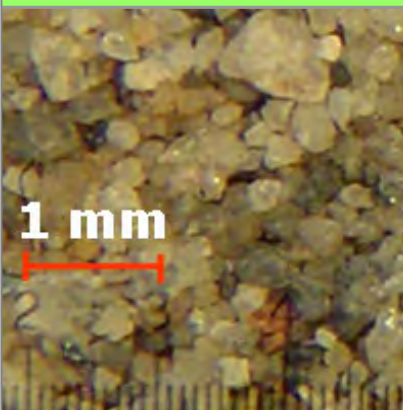
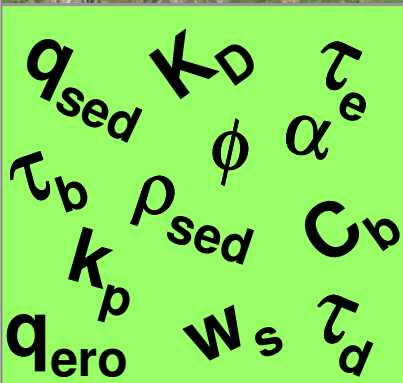
María Luisa Sámano Celorio

**DIRECTORES**

Andrés García Gómez

José Antonio Revilla Cortezón

Santander, 2011



### **4.3. PROCEDIMIENTOS DE VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS DENTRO DEL ENTORNO SIG**

---

---

Tal y como se ha comentado, actualmente, las funciones disponibles dentro de la herramienta AQUALAB 2.0, permiten la realización tanto de los cálculos hidrodinámicos como de aquellos correspondientes al transporte de tres tipos de contaminantes (sustancias conservativas, coliformes y oxígeno disuelto). Estos cálculos son llevados a cabo de una forma sistemática y estandarizada basada en la creación de una carpeta de trabajo en la que se van generando subcarpetas que contienen los resultados de cada uno de los procesos ejecutados, todo ello enlazado internamente a través de rutas específicas de almacenamiento. Dicho sistema, si bien elimina la posibilidad de confusión entre ficheros (problema que habitualmente se presenta al trabajar con modelos hidrodinámicos y de transporte debido a la enorme cantidad de información generada) resulta tan riguroso que exige que la totalidad de la ejecución del caso de estudio haya sido llevada a cabo dentro de este entorno, lo cual, puede resultar desventajoso si se cuenta, por ejemplo, con la información hidrodinámica proveniente de otras fuentes o con los resultados de otros modelos de transporte.

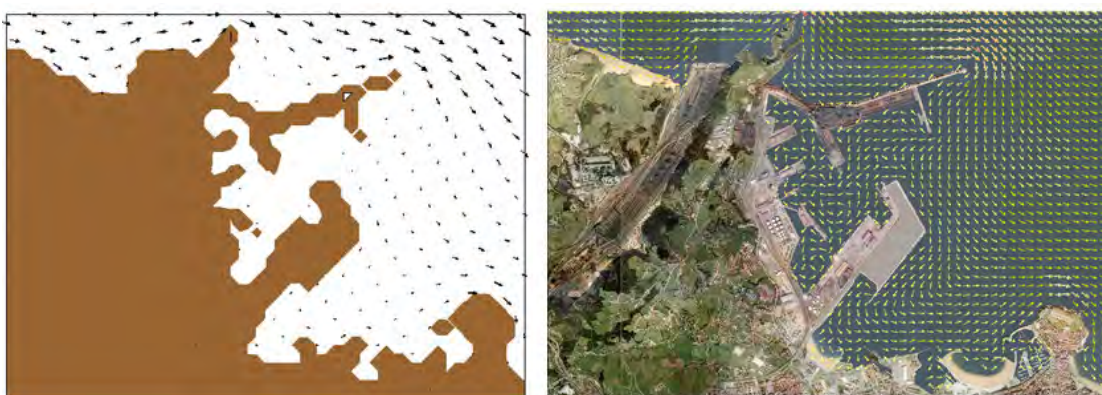
Por tal motivo, a continuación se describen los procedimientos metodológicos que han sido desarrollados con el objeto de extraer las ventajas que ofrece esta herramienta salvando, por un lado, las dificultades que aún presenta AQUALB 2.0 en términos de la visualización de los resultados que se generan dentro de este entorno y, por otro lado, los inconvenientes que implica la imposibilidad de visualizar la información generada fuera del mismo.

#### **4.3.1. Visualización de resultados generados dentro del entorno AQUALAB 2.0**

Si bien es cierto que las funciones de visualización que actualmente ofrece AQUALAB 2.0 carecen de agilidad para la representación gráfica de los resultados generados, es innegable la ostensible mejora que se obtiene al utilizar un entorno SIG para llevar a cabo esta tarea en lugar de otro tipo de programas (Figura 4-45).

Por tal motivo, se ha considerado oportuno el desarrollo de procedimientos que permitan, en medida de lo posible, la agilización de dichas funciones estableciendo plantillas base que puedan adaptarse a un tipo determinado de ficheros de resultados siempre que compartan dos características: el formato y un mismo rango de valores.

En principio, cabe comentar que internamente AQUALAB 2.0 procesa la información obtenida de los modelos hidrodinámicos y de transporte asignando a cada celda una referencia espacial, es decir, una coordenada. Una vez hecho esto, almacena dicha información como capas de formato .SHP que pueden ser cargadas a un proyecto SIG directamente ya sea mediante la opción de adición de capas del SIG o a través de la función de visualización de resultados de la barra de herramientas de AQUALAB 2.0. Como cabe esperar, la referenciación espacial de cada punto resulta imprescindible para el manejo de la información dentro de un entorno SIG, sin embargo, esta función no se encuentra del todo desarrollada dentro de AQUALAB 2.0 puesto que actualmente sólo es válida para mallas que no presenten inclinación y cuyo origen se encuentre situado en la esquina inferior izquierda.



**Figura 4-45. Visualización de corrientes de viento mediante un programa convencional (izq.) y un entorno SIG (dcha.).**

#### **4.3.1.1. Resultados que implican magnitud y dirección**

Tal y como puede observarse en la Figura 4-46 las capas .SHP que contienen los resultados, en principio, son visualizadas como una retícula de puntos sin magnitud ni dirección. Por tal motivo, es necesario precisar el módulo y ángulo de cada punto, así como el tamaño, color y forma que habrá de adquirir cada uno de ellos a fin de lograr una representación clara de la información generada. Cabe mencionar que este procedimiento queda descrito en forma sintética en el Esquema 4-5.

1. Así pues, una vez cargada la capa de resultados debe desplegarse el menú "*Layer Properties*" dando click con el botón derecho del ratón sobre dicha capa y seleccionando la opción "*Properties*". Posteriormente, dentro de la pestaña "*Symbology*" se debe seleccionar la opción de "*Graduated Symbols*" localizada dentro de la opción "*Quantities*". Una vez hecho esto, se debe seleccionar "*MODULO*" del desplegable "*Value*" (Figura 4-47). Es frecuente que la capacidad de número de datos establecida por defecto resulte

insuficiente para manejar la información generada, por tal motivo, el SIG lanza un mensaje de alerta que indica que la capacidad máxima de número de datos ha sido alcanzada.

2. En tal caso, sería necesario ampliar el número de datos que pueden ser manejados por el SIG pulsando, sucesivamente, los botones "*Classify*" y "*Sampling*" para aumentar el tamaño máximo de muestra tanto como sea necesario. Por ejemplo sustituyendo el 10000 que aparece por defecto por 1000000 (Figura 4-48).
  
3. Tal y como puede observarse, la capa de resultados contiene datos de módulo=0 sobre las celdas de tierra que, a fin de lograr una adecuada representación, es necesario suprimir. Para ello, dentro de este mismo cuadro de diálogo ("*Classification*") debe presionarse el botón "*Exclusion*", lo cual desplegará un nuevo cuadro de diálogo ("*Data Exclusion Properties*") que permite indicar los datos que deben ser eliminados. En este caso, puesto que lo que se pretende es excluir aquellos datos de módulo cero debe construirse la instrucción "MODULO"=0. Para ello es necesario hacer click en la opción "MODULO" que aparece en el primer campo y posteriormente pulsar el botón de =. Finalmente añadir un cero a la instrucción (Figura 4-49).
  
4. Una vez concluidas las operaciones anteriores, se procede al establecimiento del "ANGULO" presionando el botón "*Advanced*" y dando click en la opción "*Rotation*". Al desplegarse el cuadro de diálogo de esta última opción debe seleccionarse el campo "ANGULO" indicando que se precisa una **rotación geográfica** (Figura 4-50).
  
5. A continuación es preciso indicar la forma, color y tamaño que se quiere dar a cada símbolo. Para ello se cuenta con las opciones que aparecen al dar click sobre el encabezado ("*Symbol*") situado sobre los símbolos graduados: "*Flip Symbols*" y "*Properties for All Symbols*", éstas permiten, respectivamente, invertir el tamaño y variar las propiedades (forma y color) de los símbolos. Para la selección de forma y color debe darse click en la opción "*Properties for All Symbols*" y al desplegarse el cuadro de diálogo para la selección del símbolo ("*Symbol Selector*") indicar como forma una

**flecha hacia arriba** y el color que se quiere asignar a cada símbolo (Figura 4-51).

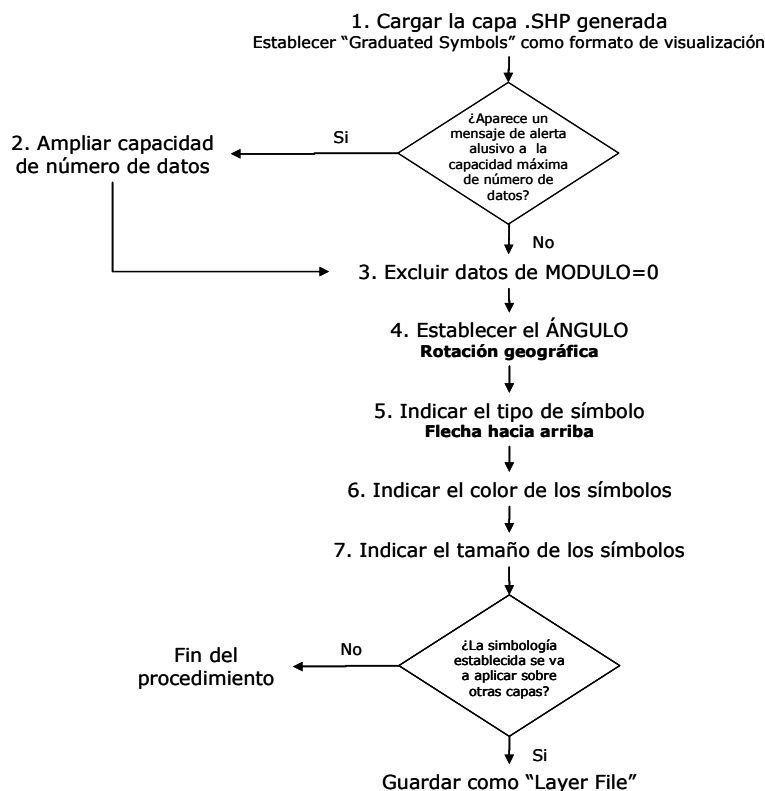
La restricción de símbolo y tipo de rotación obedece al hecho de que estos ficheros de resultados han sido procesados internamente por AQUALAB 2.0 preparándolos para ser representados en forma adecuada únicamente si se siguen las indicaciones previamente detalladas.

6. Para modificar el color de cada símbolo de manera independiente, basta con hacer click sobre el propio símbolo. Esto desplegará un cuadro de diálogo que permite la selección del color del símbolo pulsando el menú desplegable de "Color". Esta operación debe repetirse para todos y cada uno de los símbolos a los que desee asignárseles un color específico (Figura 4-52).
  
7. De este modo, se han establecido ya todas las propiedades que definen la representación de la capa de resultados. No obstante, de forma opcional, se puede variar, asimismo, el tamaño de los símbolos indicando el rango de variación deseado en la opción "Symbol Size" de la pestaña "Symbology" del menú "Properties" que se despliega al hacer click con el botón derecho del ratón sobre la capa de resultados (Figura 4-53).

Así pues, al trabajar dentro de un entorno SIG, el resultado final de la representación de la información puede superponerse sobre la ortofoto de la zona permitiendo una mejor comprensión de los resultados obtenidos (Figura 4-54).

Cuando se ha establecido la simbología definitiva para la representación de una capa de resultados, ésta puede ser utilizada para otras capas que compartan sus características. Por ejemplo, el trabajo realizado previamente sobre la definición de los parámetros de representación de resultados se ha llevado a cabo sobre una capa que contiene las velocidades de un viento NW, por tal motivo, a todas las capas de resultados de velocidades de viento les podrían ser aplicados estos mismos atributos sin necesidad de repetir todos los pasos anteriores para cada una de ellas. Para ello, es necesario guardar la capa con la simbología definitiva haciendo uso de la opción "Save As Layer File" del menú "Properties" que se despliega al hacer click con el botón derecho del ratón sobre dicha capa. Es aconsejable crear una carpeta de leyendas para guardar los distintos formatos de las capas a las que se vaya asignando una simbología definitiva (Figura 4-55).

### Visualización de resultados generados con AQUALAB 2.0 que implican magnitud y dirección



**Esquema 4-5. Procedimiento para la visualización de resultados generados con AQUALAB 2.0 que implican magnitud y dirección.**

Una vez guardado el fichero .LYR, para la representación de otras capas de resultados únicamente es necesario cargar la nueva capa de resultados e importar los atributos establecidos como simbología definitiva. Para ello se debe seleccionar "Graduated Symbols" dentro de la opción "Quantities" de la pestaña "Symbology" del cuadro de diálogo que aparece al pulsar el menú "Properties" que se despliega con el botón derecho del ratón sobre la capa de resultados. A continuación, dentro de este mismo cuadro de diálogo, presionar el botón "Import" activando la primera opción (importar desde otra capa) e indicando en el campo "Layer" la capa .LYR que se ha guardado previamente y que contiene todos los atributos de la simbología definitiva (Figura 4-56). Esto hará que automáticamente todos los puntos contenidos en la nueva capa de resultados adquieran las propiedades de representación de la capa .LYR previamente almacenada.

No obstante, debe hacerse notar que al igual que se importan las propiedades de representación, se importa también la escala, por tal motivo, es imprescindible que las leyendas que vayan a servir como plantilla para varios ficheros contengan una escala aplicable a todos ellos.

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

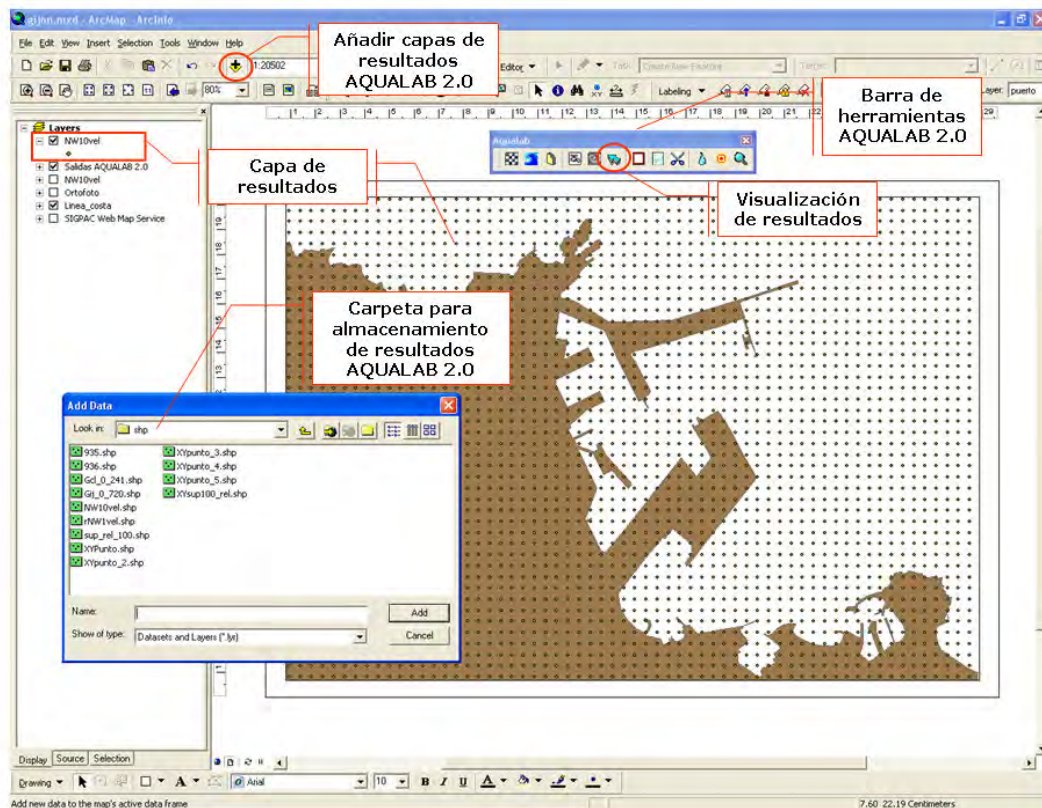


Figura 4-46. Adición de capas para la visualización de resultados.

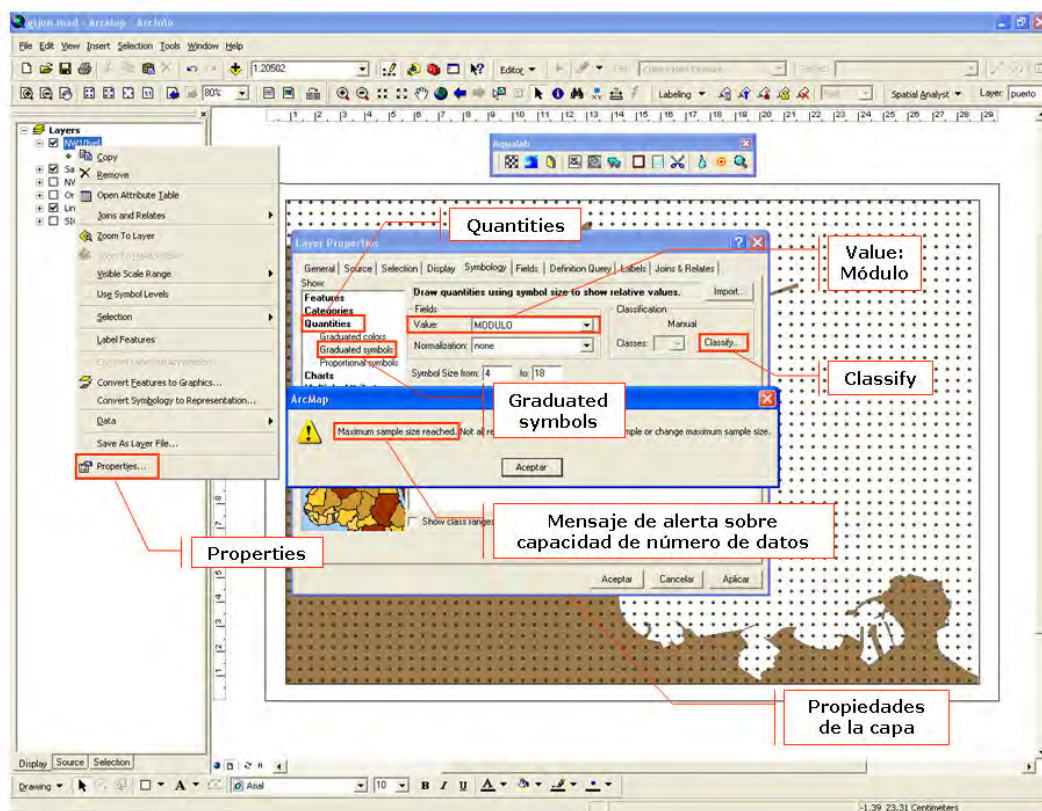


Figura 4-47. Establecimiento de "símbolos graduados" como tipo de representación.

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

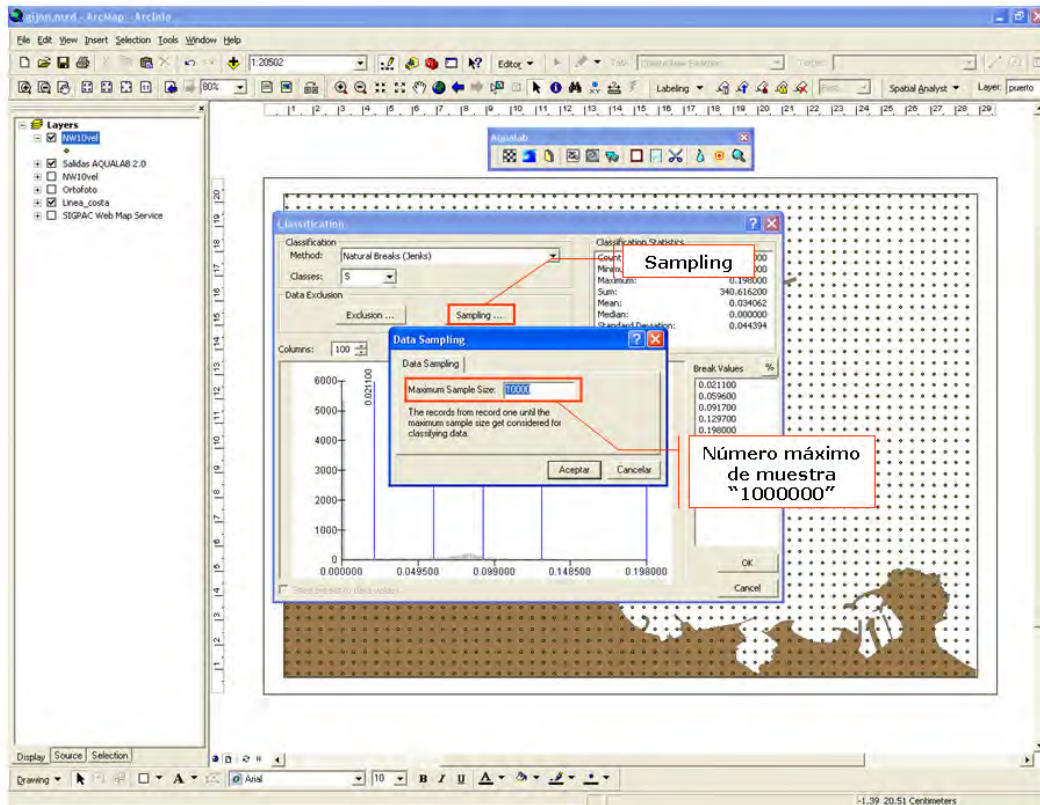


Figura 4-48. Aumento de la capacidad de manejo de datos.

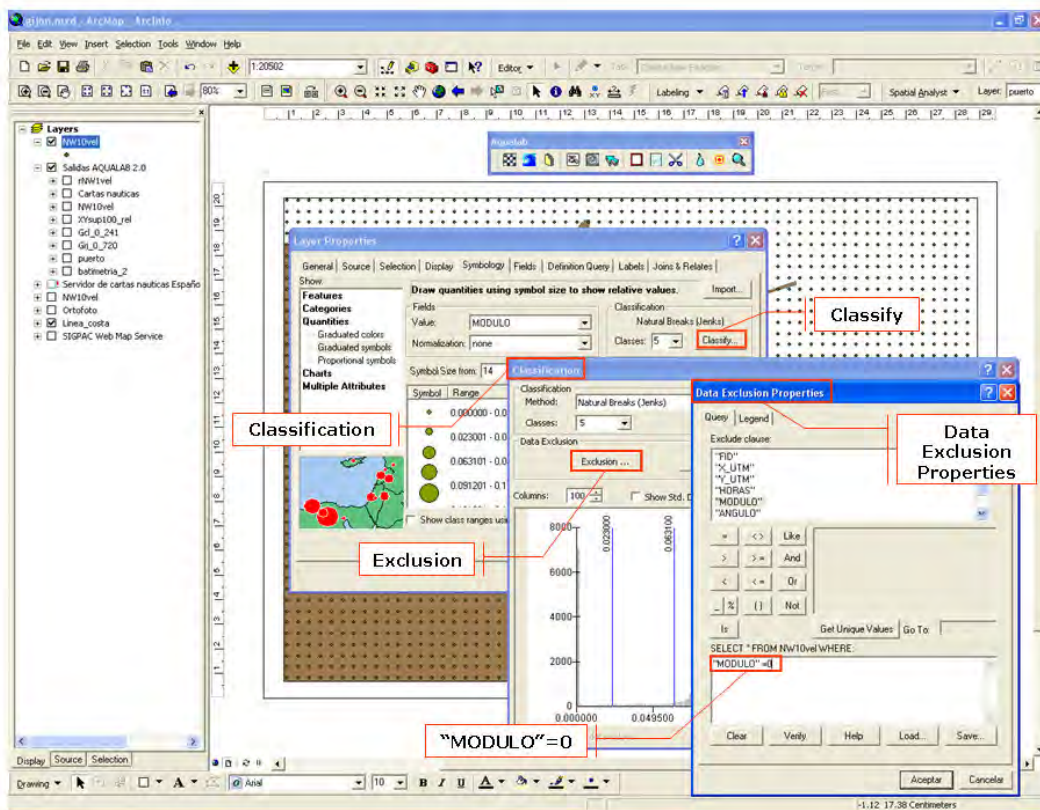


Figura 4-49. Exclusión de datos con módulo cero.



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

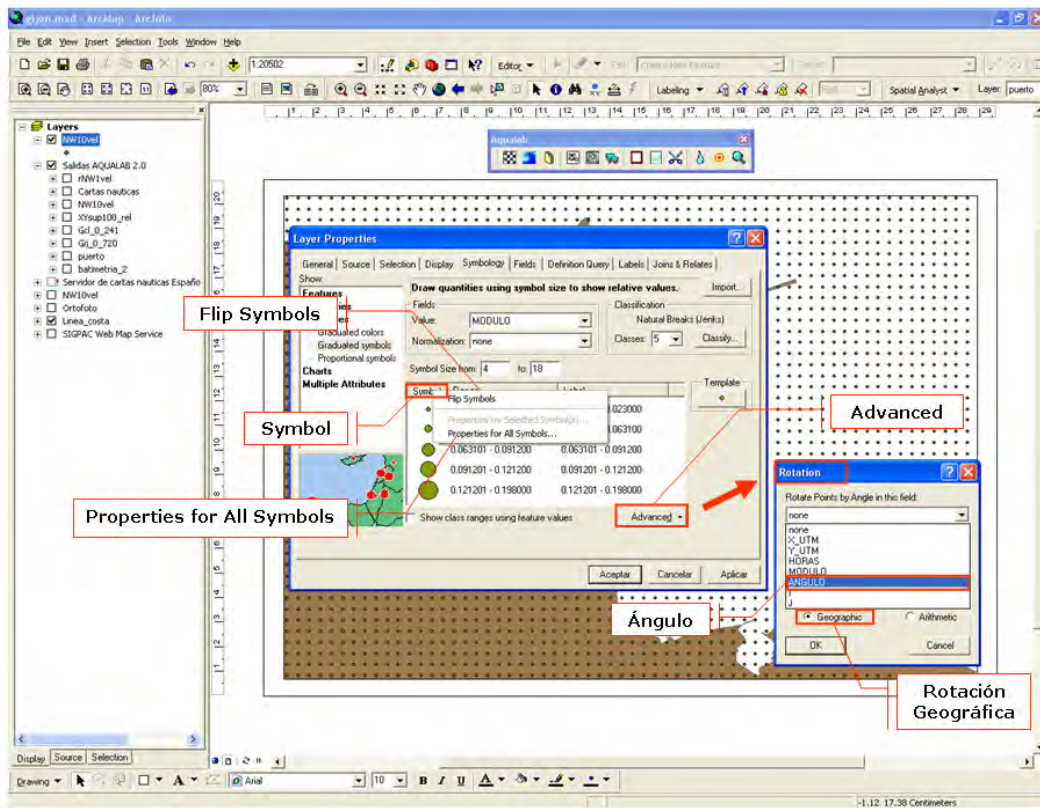


Figura 4-50. Establecimiento del ángulo de cada punto de la capa de resultados.

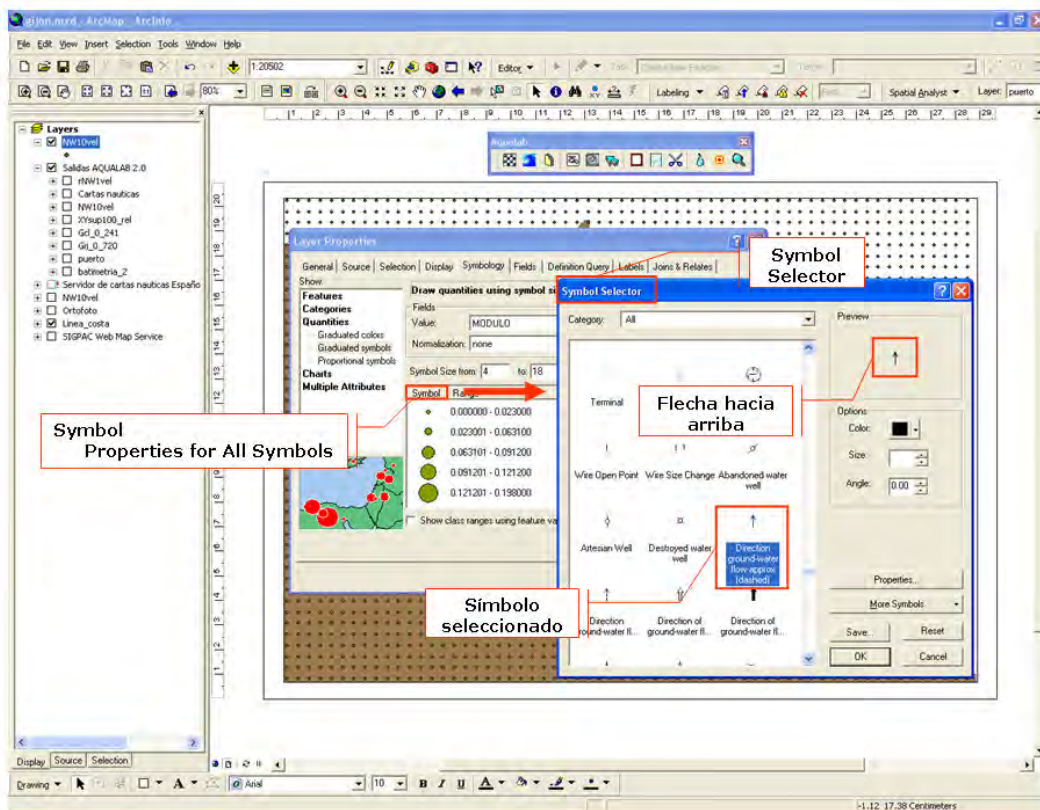


Figura 4-51. Establecimiento de la forma de los símbolos.

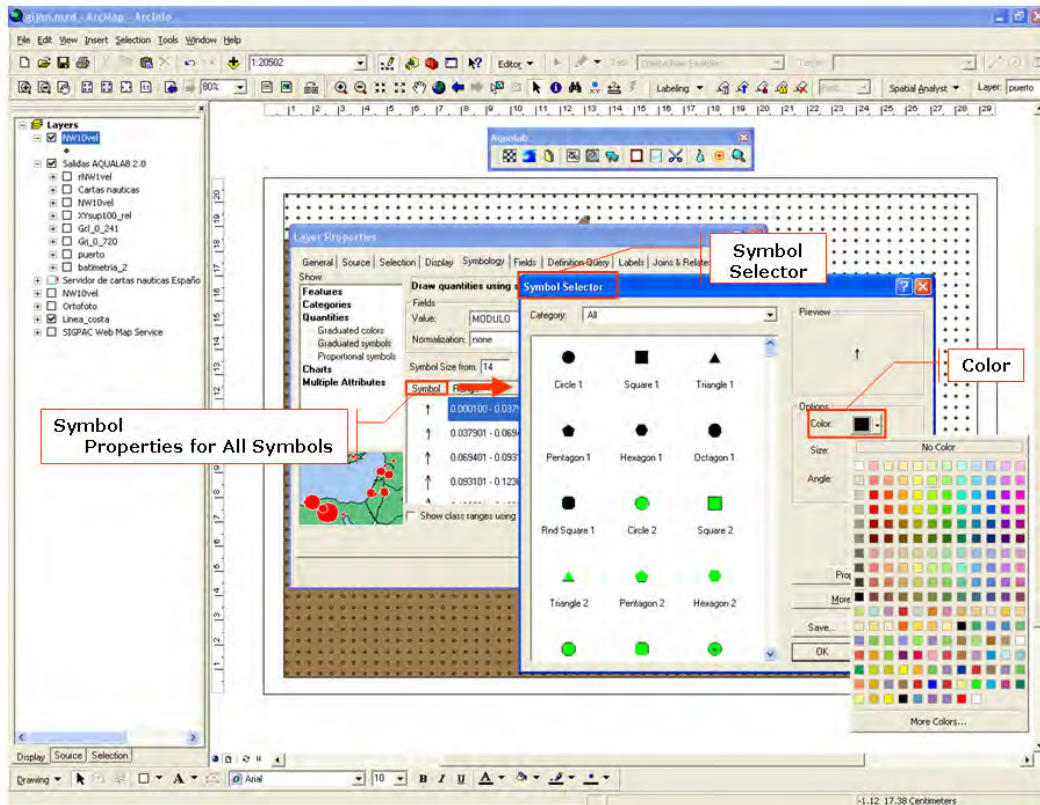


Figura 4-52. Establecimiento del color de los símbolos.

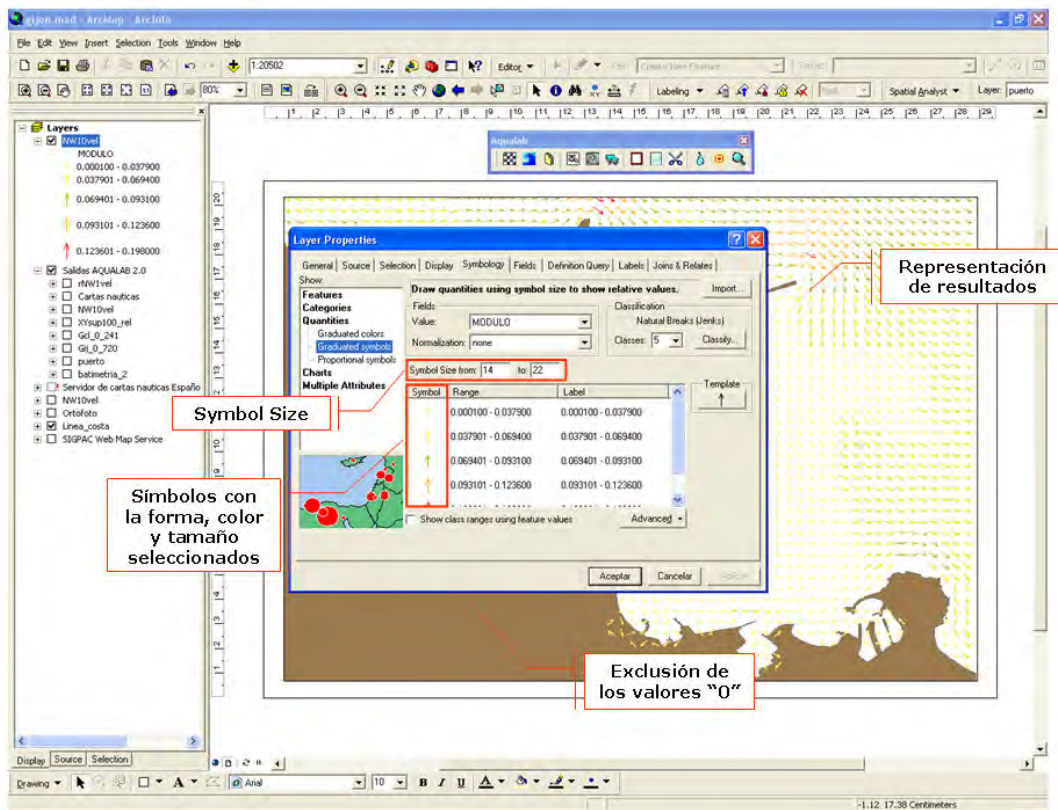


Figura 4-53. Modificación del tamaño de los símbolos.

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

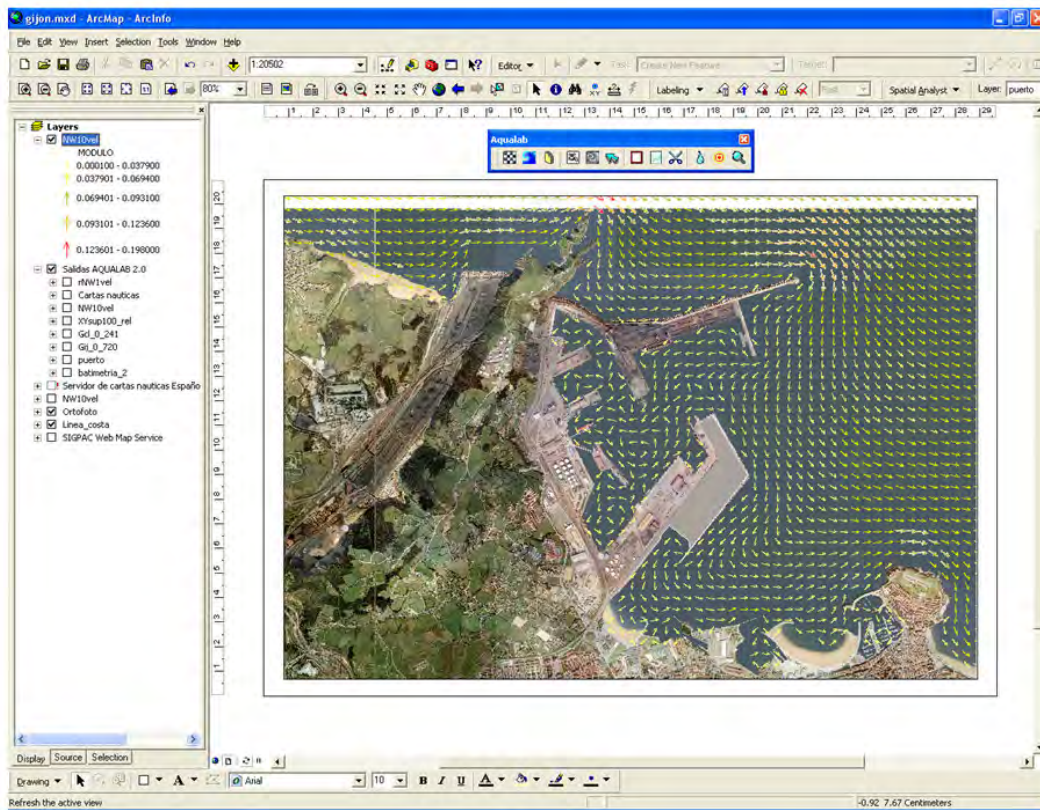


Figura 4-54. Superposición de la información generada sobre la ortofoto de la zona.

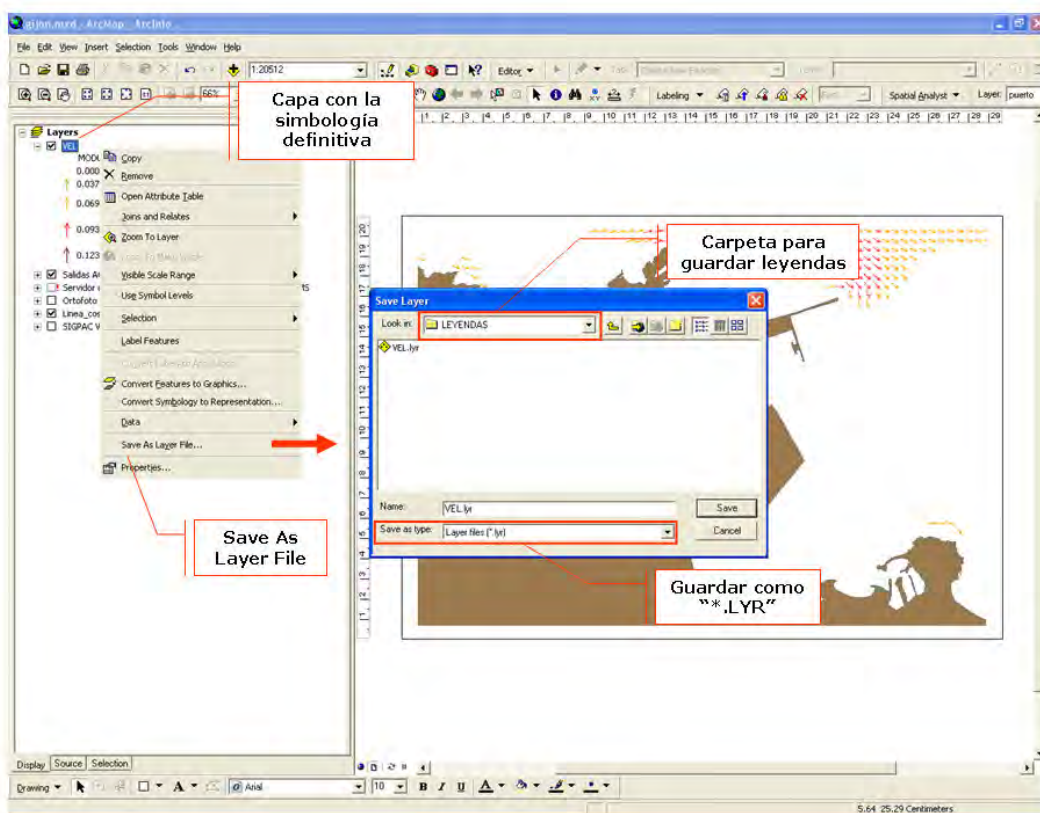


Figura 4-55. Almacenamiento de la simbología establecida en un fichero .LYR.

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

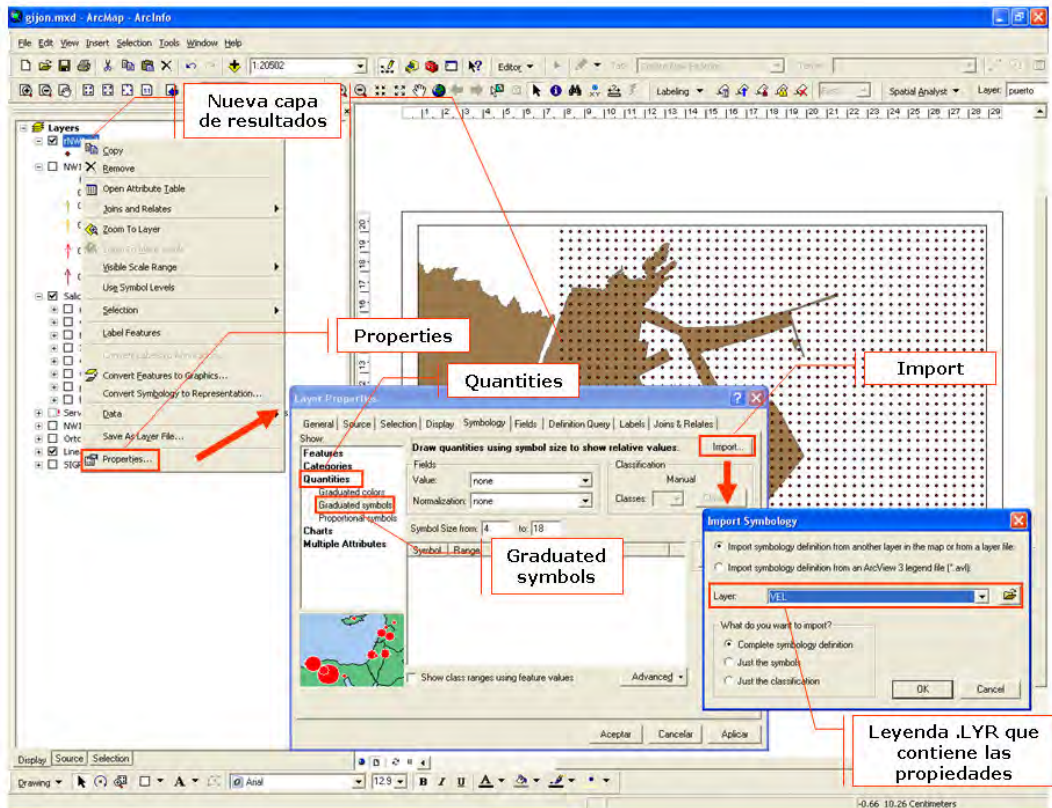


Figura 4-56. Importación de simbología para la representación de la información.

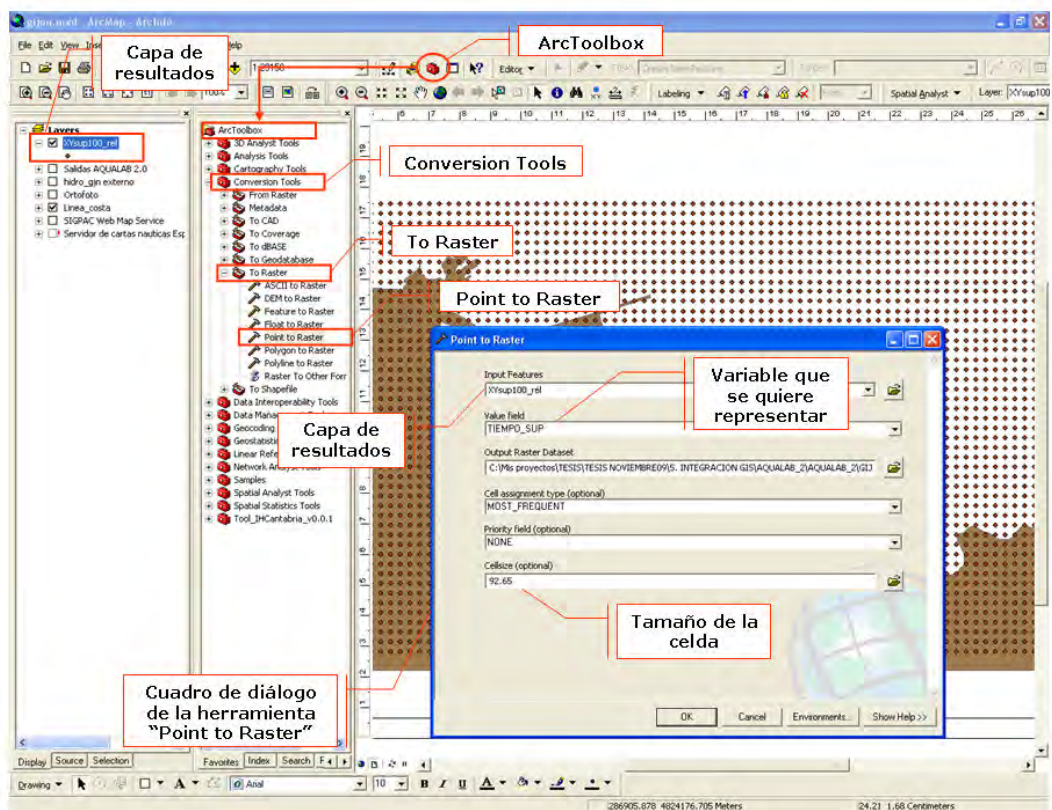


Figura 4-57. Conversión de una capa de puntos a un raster ("Point to Raster").

#### 4.3.1.2. Resultados que implican únicamente una magnitud

Hasta el momento, únicamente se ha presentado el procedimiento que permite agilizar la representación de la información de los resultados generados por los modelos ya integrados al entorno AQUALAB 2.0 que implican una magnitud y una dirección (como resultados de velocidad, por ejemplo). No obstante, otro grupo de resultados generados dentro de este entorno se corresponde con aquellos que únicamente implican una magnitud (como resultados de superficie o de concentración, por ejemplo). Por tal motivo, a continuación se presenta el procedimiento detallado para la adecuada representación de estos últimos. Por su parte, en el Esquema 4-6 se presenta dicho procedimiento de forma condensada.

1. En primer lugar se debe cargar la capa de resultados al proyecto SIG que, al igual que para el caso anterior, es una capa de puntos en la que a cada celda se ha asignado una referencia espacial, pero a diferencia de éste, sus características exigen que sea convertido a raster para poder ser representado adecuadamente. Para ello, es necesario aplicar la herramienta "*Point to Raster*" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/Point to Raster) previamente descrita. Tal y como se ha comentado, esto desplegará un cuadro de diálogo en el que habrá de especificarse la capa de puntos que se va a transformar, la variable que se quiere representar y el tamaño de celda que debe ser coincidente con el tamaño de celda de la malla que contiene la información batimétrica (Figura 4-57).
2. Una vez generado el raster es preciso establecer los atributos apropiados para lograr la adecuada visualización de los resultados. Para ello, dentro de la pestaña "*Symbology*" del cuadro de diálogo que aparece al pulsar el menú "*Properties*" que se despliega con el botón derecho del ratón sobre el raster de resultados se debe seleccionar la opción "*Stretched*". Asimismo, es necesario seleccionar una rampa de color y activar la casilla de "*Display Background Value*" escribiendo el valor asociado al valor nulo y seleccionando "*No Color*" para indicar que los valores nulos, en este caso las celdas que contengan un valor de cero, sean representadas sin color (Figura 4-58). De este modo, únicamente las celdas que contienen algún resultado se muestran con distintos colores en función del valor que presentan. Esto resulta muy útil si se pretende superponer estos resultados sobre una ortofoto u otra capa con información complementaria.

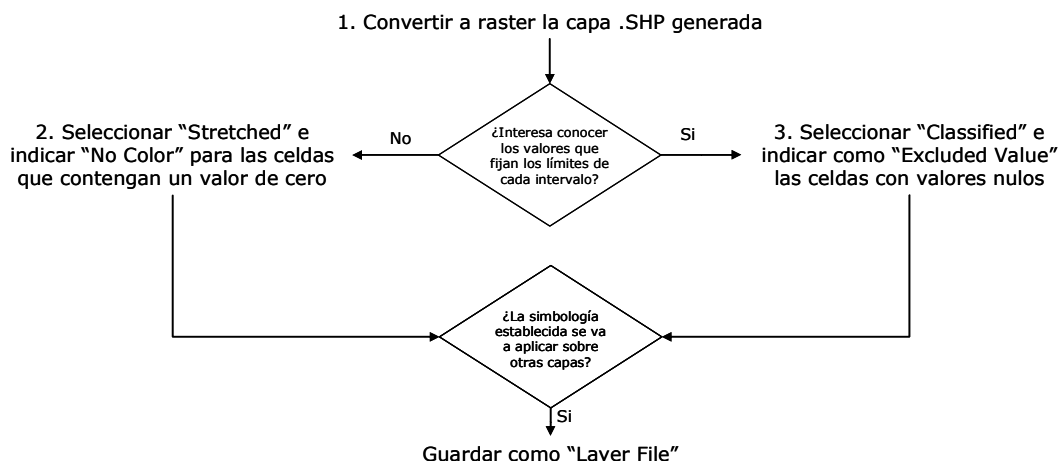
Cabe comentar, asimismo, que la rampa de color puede ser invertida si el usuario así lo juzga oportuno. Por ejemplo, si se piensa que la

imagen que se observa en la Figura 4-59 se corresponde con la concentración de un vertido, la representación lógica de color debiera indicar que los colores más cercanos al rojo se corresponden con concentraciones más elevadas mientras que las tonalidades más cercanas al azul, debieran representar concentraciones menores. Para ello basta con dar doble click sobre la pequeña rampa de color que aparece en el raster de resultados, así se desplegará un cuadro de diálogo que permite invertir la rampa de color o seleccionar otra. Así pues, la visualización final de los resultados quedaría representada tal y como se indica en la Figura 4-60. Nótese que sobre la pequeña rampa de color que aparece en el raster de resultados se puede observar el rango de valores que ha sido asignado por defecto. Este rango se establece utilizando el valor mínimo y el máximo del conjunto de valores contenidos en el raster de resultados.

3. A pesar de que la representación anterior resulta muy intuitiva y bastante clara, si existiera el interés de conocer los intervalos de concentración que se corresponden con cada color, entonces, debería seleccionarse la opción "*Classified*" en lugar de "*Stretched*". Esta opción, localizada dentro de la pestaña "*Symbology*" del cuadro de diálogo que aparece al pulsar el menú "*Properties*" que se despliega con el botón derecho del ratón sobre el raster de resultados permite establecer tantos intervalos ("*Classes*") como requiera el usuario. En este caso, para excluir la representación de las celdas con valores nulos es necesario pulsar el botón "*Classify*" y después el botón "*Exclusion*" indicando en el campo "*Excluded value*" el valor que debe considerarse como nulo (Figura 4-61).

Al igual que en el caso anterior, la inversión de la rampa de color es posible al hacer click sobre "*Flip Colors*". Esta opción aparece cuando se presiona la palabra "*Symbol*" que encabeza los rectángulos de colores que representan los distintos intervalos en el cuadro de diálogo del menú "*Properties*" que se despliega con el botón derecho del ratón sobre el raster de resultados (Figura 4-62). Para esta segunda opción, la visualización definitiva de los resultados quedaría representada tal y como indica la Figura 4-63. Nótese que en este caso, en el raster de resultados, pueden observarse los intervalos establecidos. De este modo, es posible conocer el rango de concentraciones que abarca cada color.

### Visualización de resultados generados con AQUALAB 2.0 que implican únicamente una magnitud



**Esquema 4-6. Procedimiento para la visualización de resultados generados con AQUALAB 2.0 que implican únicamente una magnitud.**

En cualquier caso (Stretched o Classified), una vez obtenida la representación definitiva para una capa, ésta puede ser guardada como un "Layer File" (Figura 4-55) para ser aplicada a otras capas de características similares a través de la opción "Import" (Figura 4-56) tal y como se ha explicado en el epígrafe precedente. Al igual que en el caso anterior, es preciso que la escala sea aplicable a todos los ficheros que compartirán la leyenda guardada.

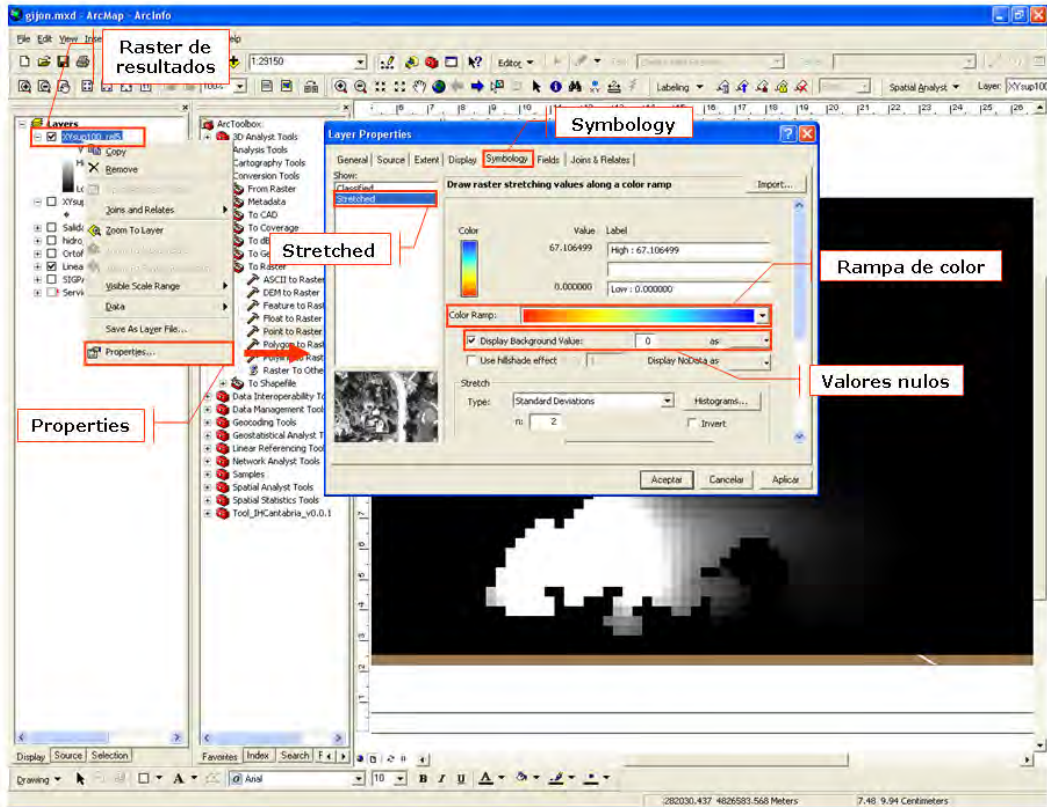


Figura 4-58. Establecimiento de las propiedades del raster de resultados (Stretched).

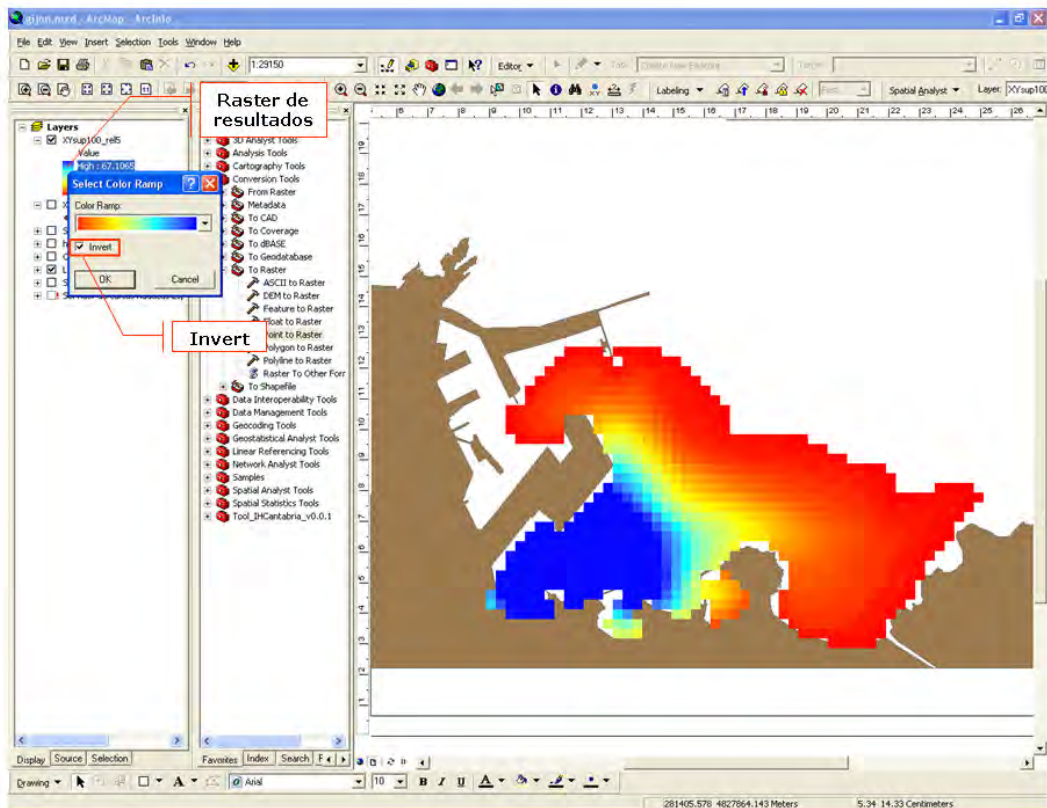


Figura 4-59. Representación del raster de resultados (Stretched).



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

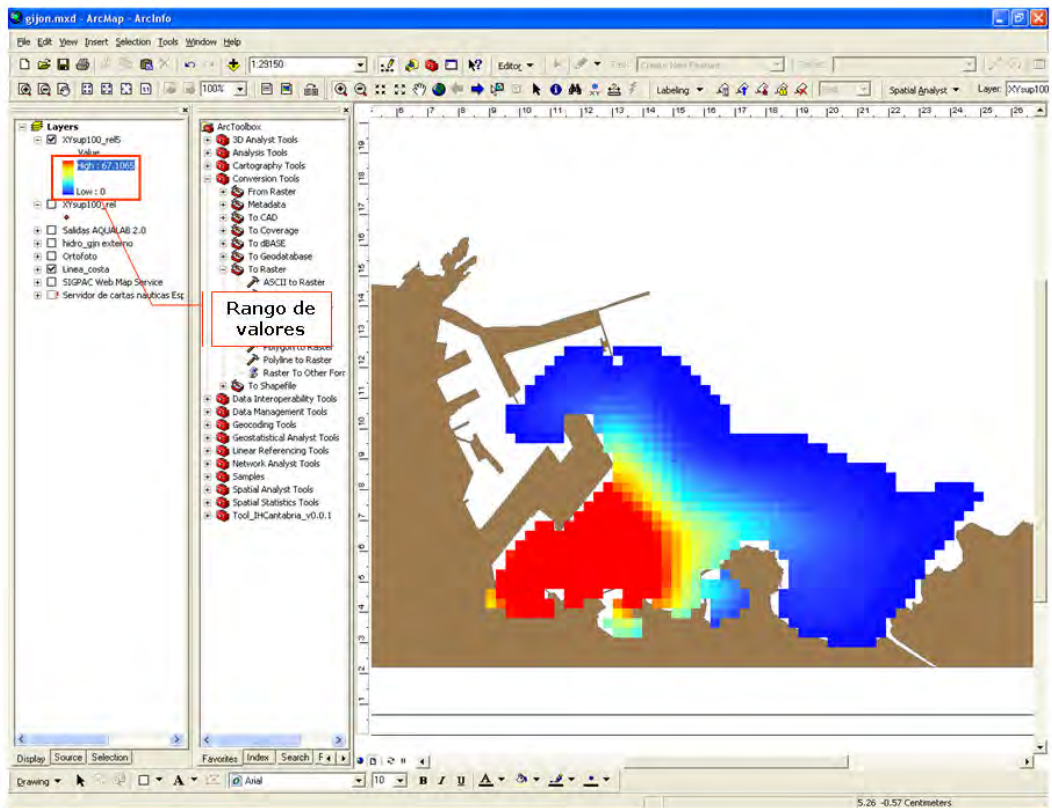


Figura 4-60. Visualización del raster de resultados (Stretched).

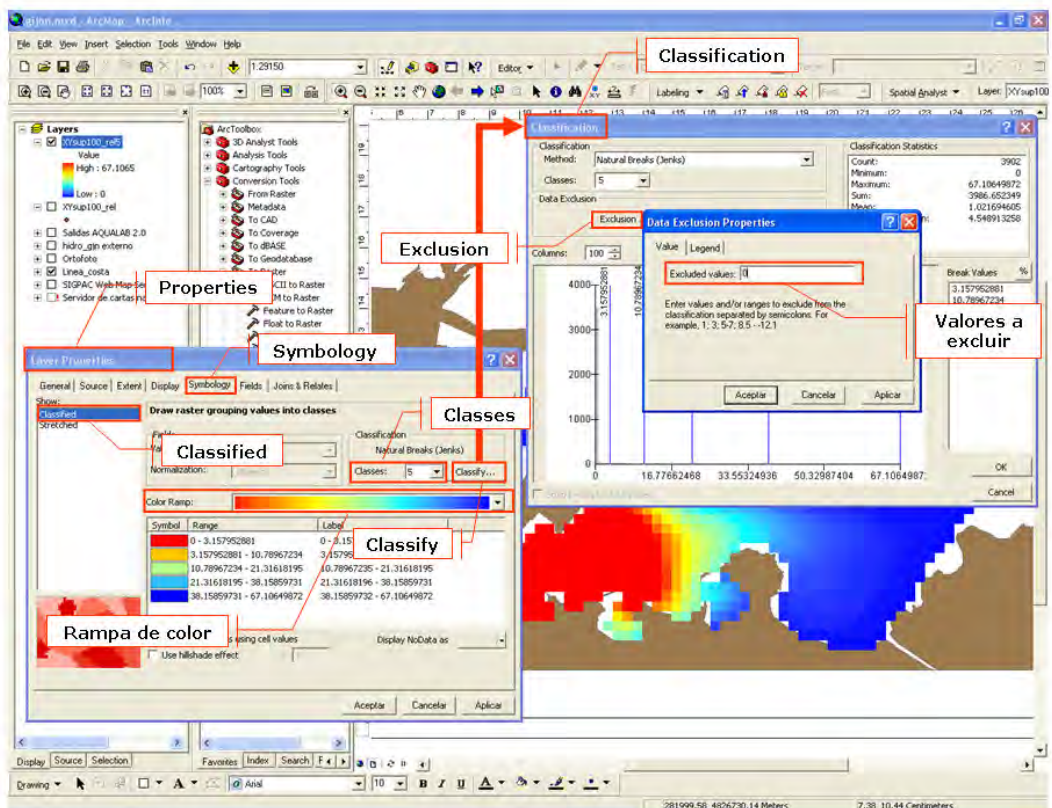


Figura 4-61. Establecimiento de las propiedades del raster de resultados (Classified).

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

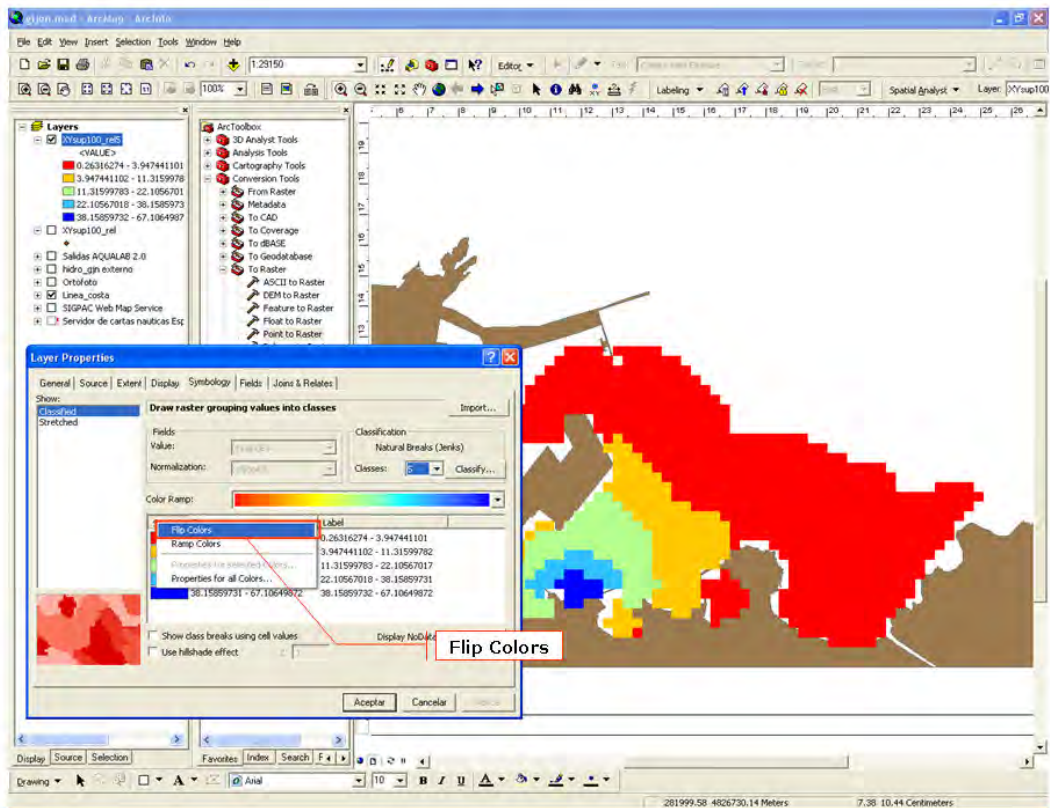


Figura 4-62. Representación del raster de resultados (Classified).

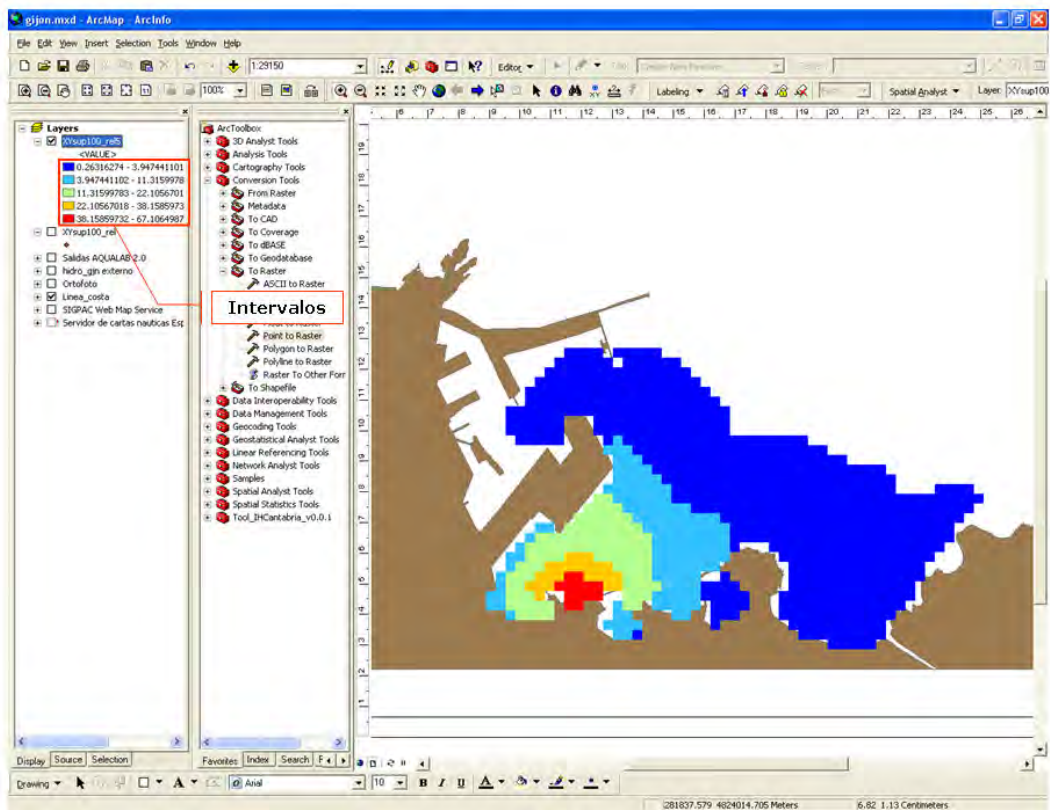


Figura 4-63. Visualización del raster de resultados (Classified).



Con base en esta experiencia, se han desarrollado los procedimientos necesarios para poder llevar a cabo tales transformaciones sobre ficheros que se hayan generado fuera del entorno AQUALAB 2.0 y que requieran ser visualizados en un entorno SIG.

#### 4.3.2.1. Resultados que implican magnitud y dirección

Si la información generada implica la representación de una magnitud y una dirección su manejo resulta complicado, sobre todo, cuando la malla de estudio presenta un cierto ángulo de inclinación con respecto al norte.

Esta complejidad obedece al hecho de que para la representación de esta información es requisito imprescindible la asignación de una referencia espacial a cada dato, es decir, la asignación de la coordenada correspondiente. Para mallas que no presentan ningún ángulo de inclinación y cuyo sistema de referencia coincide con el que utiliza el SIG, esta asignación resulta una tarea sencilla que simplifica en gran medida el procedimiento pudiéndose aplicar un **método abreviado** tal y como se comentará más adelante, sin embargo, para mallas que presentan un ángulo de inclinación, esta tarea resulta tan compleja que no parece ser una alternativa viable.

A modo de ejemplo, en la Figura 4-65 se muestra la formulación analítica para la asignación de la referenciación espacial de dos puntos pertenecientes a una malla que presenta una inclinación de  $115^\circ$  con respecto al norte. Como puede observarse, no sólo es una formulación mucho más compleja que la que requiere una malla sin inclinación (ver Tabla 4-1 pág. 4-81) sino que, además, ésta varía de un punto a otro puesto que los puntos de referencia varían también de acuerdo con la localización del punto de interés con respecto a la inclinación de la malla.

Para llevar a cabo la formulación mostrada, en primer lugar, se han establecido los ejes que cortan a los puntos que permanecen fijos. Estos ejes se han referenciado al sistema de coordenadas UTM que sigue el SIG y se corresponden con: las coordenadas de origen y fin del raster tal y como lo interpreta el SIG ( $X_{RO}$ ,  $Y_{RO}$ ;  $X_{RF}$ ,  $Y_{RF}$ ), la coordenada X del punto de interés con respecto al raster tal y como es interpretado por el SIG ( $X_R$ ), la coordenada Y del punto de interés con respecto al raster tal y como es interpretado por el SIG ( $Y_R$ ), las coordenadas de origen de la malla ( $X_{MO}$ ,  $Y_{MO}$ ), la coordenada X del punto de interés con respecto al sistema de referencia de la malla ( $X_M$ ) y, la coordenada Y del punto de interés con respecto al sistema de referencia de la malla ( $Y_M$ ).

Partiendo de la base de que el ángulo de inclinación que presenta la malla con respecto al norte es de 115°, el establecimiento de estos ejes permite la determinación de los ángulos que quedan comprendidos entre ellos.

Por otro lado, se asume que conociendo la posición de la celda que contiene al punto de interés y la dimensión de las celdas de la malla puede determinarse la distancia existente entre el origen de la malla y el punto de interés en dirección X ( $dist\_X$ ) y en dirección Y ( $dist\_Y$ ) aplicando la siguiente formulación:

$$dist\_X = (X - 1) \cdot dX + \frac{dX}{2} \quad ; \quad dist\_Y = (Y - 1) \cdot dY + \frac{dY}{2}$$

Donde:

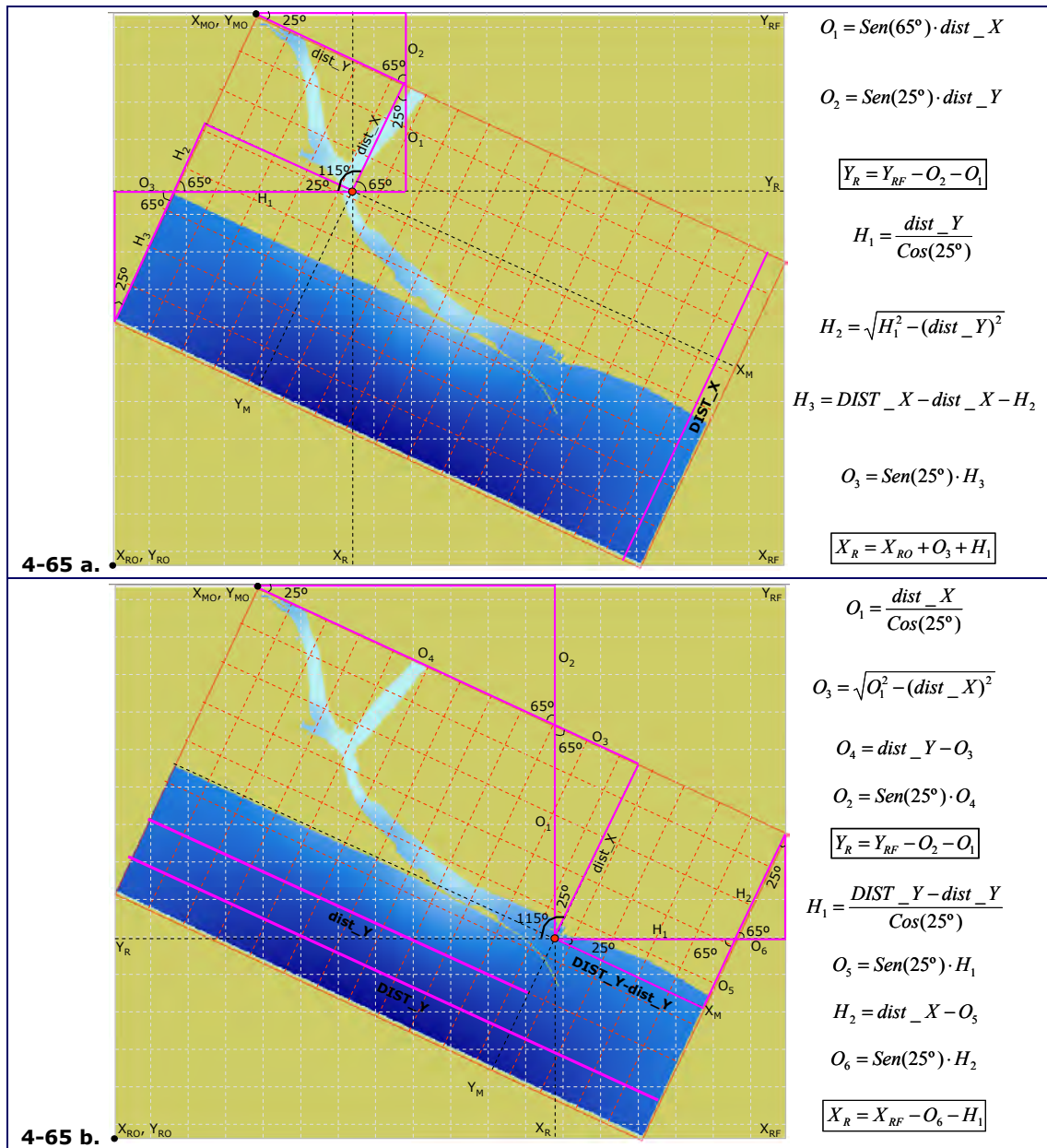
X: número de celdas en dirección X; dX: longitud del lado de la celda en dirección X; Y: número de celdas en dirección Y; dY: longitud del lado de la celda en dirección Y.

Finalmente, haciendo uso de diversas combinaciones basadas en una serie de funciones trigonométricas se puede establecer la formulación matemática que define las coordenadas  $X_R$  e  $Y_R$ .

No obstante, dicha formulación no es de aplicación general para cualquier punto de la malla tal y como puede observarse en la Figura 4-65. Si se quisiera reproducir la formulación aplicada en la Figura 4-65 a (pensada para un punto localizado en el cuadrante superior izquierdo) a la Figura 4-65 b la línea que une a  $O_3$  y  $H_3$  quedaría a la izquierda del punto de origen del raster, con lo cual, la formulación, además de incrementar su complejidad, sería distinta. De este modo, para un punto localizado en el cuadrante inferior derecho, sería necesario aplicar la formulación descrita en la Figura 4-65 b.

Por tal motivo, a fin de poder representar adecuadamente la información sin necesidad de establecer manualmente la referenciación espacial de cada uno de los puntos de la malla, se ha desarrollado un procedimiento basado en la transformación de la información en un raster temporal que presenta dos ventajas: por un lado, es capaz de asignar la referenciación espacial de cada dato y, por otro lado, permite llevar a cabo la rotación necesaria para que los mapas de resultados se ajusten a la realidad física de la zona de estudio. Sin embargo, la desventaja asociada al formato raster es que éste puede manejar un único dato por celda, de este modo, la manipulación de la información de la magnitud y la dirección debe llevarse a cabo de forma independiente.

Así pues, para poder visualizar en un entorno SIG ficheros de resultados generados por modelos numéricos ajenos al entorno AQUALAB 2.0 es preciso dar seguimiento al procedimiento metodológico que se describe a continuación:



**Figura 4-65. Referenciación espacial de los puntos de una malla inclinada utilizando un método analítico.**

1. En primer lugar es necesario transformar la configuración matricial de los ficheros generados por los modelos hidrodinámicos a una configuración vectorial haciendo uso del ejecutable "all\_xyz.exe" (disponible en el DVD adjunto). Éste se acompaña de un fichero de

configuración que demanda la siguiente información: número de ficheros que se desea transformar, nombre de los ficheros de entrada (.VEL en este caso), tipo de ficheros (3 en este caso por tratarse de ficheros de velocidad), 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 de resultados (.DAT) de acuerdo con el orden de los ficheros de entrada. Dicho ejecutable genera como resultado un fichero .DAT de cuatro columnas: celda x, celda y, módulo y ángulo.

2. A continuación, debe hacerse una copia de este fichero .DAT y renombrar ambos ficheros como "Modulo.DAT" y "Angulo.DAT", respectivamente. En el primero habrá de eliminarse la cuarta columna de forma que el fichero mantenga únicamente la información correspondiente a: [celda x, celda y, módulo]. Por su parte, en el segundo fichero, habrá de eliminarse la tercera columna para que se mantenga únicamente la información correspondiente a: [celda x, celda y, ángulo].
  
3. Tal y como se ha comentado, el procedimiento exige que la información se trabaje como raster, por tal motivo, es preciso transformar estos ficheros .DAT a un formato .TXT a partir de los cuales puedan ser construidos los rasters correspondientes. Para ello, los programas de transformación previamente descritos permiten realizar una transformación en dos pasos:
  - i) transformación de los ficheros con **formato .DAT a formato .AGD** mediante la utilización del ejecutable "xyz\_agd.exe" (disponible en el DVD adjunto). Si bien esta información, estrictamente hablando, no se corresponde con datos batimétricos, comparte con este tipo de ficheros la distribución espacial de la información. Por tal motivo, la conversión a formato .AGD, propia de batimetrías, resulta muy apropiada, tanto por sus características, como por la sencillez de su manejo.
  - ii) transformación de los ficheros con **formato .AGD a formato .TXT** utilizando el ejecutable "agd\_gis.exe" (disponible en el DVD adjunto). Para el caso de las mallas que presentan un cierto grado de inclinación, en este paso resulta fundamental que la coordenada que se indique como origen sea aquella que se corresponde con el eje de giro (Epígrafe 4.2.2.2).

4. Una vez obtenidos estos ficheros en formato .TXT, ambos deben ser convertidos a raster utilizando la herramienta "*ASCII to Raster*" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster) descrita anteriormente (Figura 4-16).
  
5. A continuación, debe crearse una máscara asignando un valor de uno a las celdas que contienen agua y un valor de cero al resto de celdas. Para ello, es preciso hacer uso de la herramienta "*Reclassify*" (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify) (Figura 4-39) o del ejecutable "*agua1.exe*" (disponible en el DVD adjunto) previamente descritos.
  
6. Posteriormente, cada uno de los rasters obtenidos en el paso 4 deben ser multiplicados por la máscara utilizando la extensión "*Spatial Analyst*" (Figura 4-43).
  
7. Si la malla presenta cierto ángulo de inclinación con respecto al norte, entonces, los dos rasters obtenidos en el paso anterior deben ser rotados utilizando la herramienta "*Rotate*" (ArcToolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations/Raster/Rotate) tal y como se ha comentado en ocasiones previas (Figura 4-18).
  
8. De este modo, hasta ahora se han obtenido dos rasters ajustados a la realidad física de la zona de estudio. Uno de ellos contiene la información relativa a la magnitud del resultado obtenido y, el otro, el ángulo correspondiente. No obstante, para poder visualizar esta información es necesario convertirlos a capas de puntos a través de la herramienta "*Raster to Point*" (ArcToolbox/Conversion Tools/From Raster/Raster to Point) previamente detallada (Figura 4-24).
  
9. Si se observa la tabla de atributos de estas capas de puntos, puede advertirse que tanto los valores del módulo, como los del ángulo, aparecen multiplicados por "-1". Esto se debe a que el tratamiento que se ha dado a la información implica el uso de programas



diseñados originalmente para la transformación de batimetrías, las cuales requieren de este cambio de signo. Con respecto a esto, cabe comentar que no se ha juzgado oportuna la elaboración de programas específicos para manejar la información de módulos y ángulos por tres razones, principalmente: i) los rasters creados se utilizan únicamente en forma temporal como elementos de transición para obtener un resultado final, ii) los ajustes requeridos para la correcta representación del ángulo y para poder llevar a cabo la importación de leyendas dan al usuario la oportunidad de invertir otra vez el signo en una misma operación y, iii) la simplificación en términos del número de ejecutables que deben ser controlados por el usuario.

Así pues, para poder llevar a cabo una adecuada visualización de los resultados, es preciso añadir un campo denominado "MODULO" en la capa de puntos que posee esta información. Por su parte, en la capa de puntos que contiene la información relativa a la dirección, debe añadirse un campo denominado "ANGULO". Para la adición de campos basta con abrir la tabla de atributos ("*Open Attribute Table*") dando un click con el botón derecho del ratón sobre la capa correspondiente, presionar el botón de "*Options*" y seleccionar "*Add Field*". Esto desplegará un cuadro de diálogo en el que debe asignarse el nombre del campo seleccionando la opción "*FLOAT*" y manteniendo el cero que aparece por defecto en los campos "*Precision*" y "*Scale*" (Figura 4-66).

10. Una vez se haya añadido el campo correspondiente en la capa de puntos, debe tratarse la información haciendo uso de la opción "*Field Calculator*" que se despliega al dar click con el botón derecho del ratón sobre el campo creado. Esta calculadora despliega, a su vez, un cuadro de diálogo en el que debe seleccionarse la información a tratar y la operación que habrá de realizarse con ella. En el caso de la capa que contiene la información del módulo, en el campo "*Fields*" debe pulsarse "*GRID\_CODE*" de forma que en el segundo campo aparezca [*GRID\_CODE*]. Esta instrucción debe completarse indicando que se requiere que la información almacenada en el campo *GRID\_CODE* sea multiplicada por -1, quedando la instrucción final de la siguiente manera: [*GRID\_CODE*]\*(-1) (Figura 4-67). Por su parte, para la capa de puntos que posee la información relativa a los ángulos, la instrucción final se corresponde con: (*[GRID\_CODE]\*(-1)*)-90-A, donde A es el ángulo de inclinación de la malla con respecto al norte.

Como puede observarse, el ajuste que se hace al ángulo no se limita al cambio de signo como en el caso del modulo. Esto es debido a que los sistemas de referencia de rotación utilizados por el SIG y por los modelos numéricos son distintos, de tal forma que es necesario restar 90° a los datos provenientes de cualquier malla y, adicionalmente, para mallas inclinadas, sustraer una cantidad equivalente al ángulo de inclinación.

11. Una vez hechos los ajustes necesarios y, antes de abandonar el cuadro de diálogo de la tabla de atributos, se deben borrar todos aquellos campos que sobren a fin de que en la capa de puntos permanezcan únicamente tres columnas: [FID, Shape y MODULO] para el caso de la capa que almacena la información relativa a la magnitud de los resultados y, [FID, Shape y ANGULO] para el caso de la capa que contiene los datos correspondientes a la dirección de los resultados obtenidos. De este modo, la posterior integración de la información resultará mucho más rápida y sencilla. Para ello basta con dar click con el botón derecho del ratón sobre el campo que se quiere eliminar y pulsar "*Delete Field*" (Figura 4-68).
  
12. Finalmente, es necesario reintegrar la información de ambas variables (módulo y ángulo) en una misma capa. Para ello debe utilizarse la opción "*Join*" contenida dentro del menú "*Joins and Relates*" (Figura 4-69) que se despliega al dar click con el botón derecho del ratón sobre cualquiera de las capas de puntos. A fin de estandarizar los resultados obtenidos de esta integración y hacerlos compatibles con las leyendas de visualización creadas, esta opción debe ser desplegada desde la capa de MODULO. Una vez que aparezca el cuadro de diálogo correspondiente, debe indicarse que se quiere llevar a cabo la unión bajo el criterio de localización espacial. Asimismo, en el punto 1 debe indicarse que los datos que habrán de integrarse son aquellos contenidos en la capa ANGULO. Por su parte, en el punto 2, debe activarse la segunda opción para indicar que la integración de los puntos se hará bajo un criterio de cercanía. Finalmente, en el punto 3 habrá de indicarse un nombre y localización para la capa generada, puesto que si no se hace, esta es guardada por defecto en una carpeta temporal que no permite modificaciones y que además puede originar la pérdida de datos a futuro.

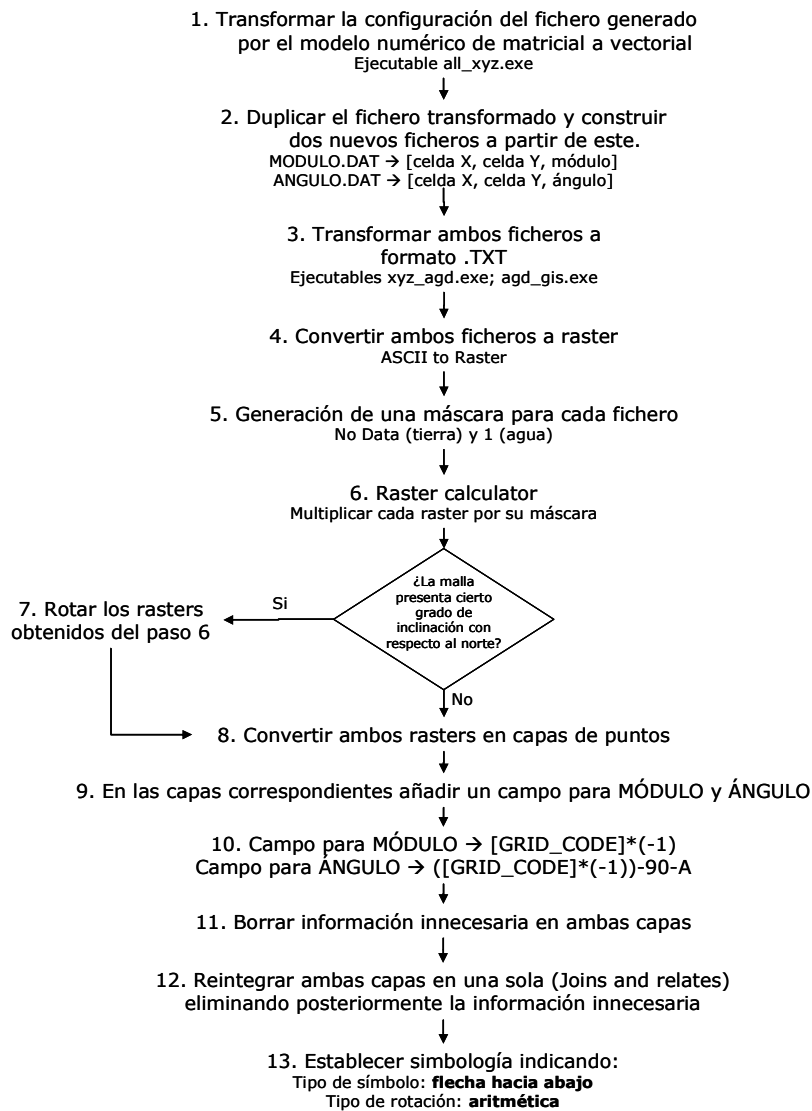
La operación anterior puede tardar algunos minutos puesto que exige el manejo de grandes cantidades de información. A través de ella se

genera una nueva capa de puntos que contiene 9 columnas: [FID, Shape, FID\_1, POINTID, MODULO, FID\_2, POINTID\_1, ANGULO, Distance]. No obstante, con el objeto de lograr una representación adecuada de la información se deben eliminar cinco de estos campos haciendo uso de la opción "*Delete Field*" (Figura 4-68) a fin de mantener únicamente los siguientes: [FID, Shape, MODULO, ANGULO].

13. Por último sobre esta capa de información habrá de plasmarse la simbología deseada ya sea bien a través de su establecimiento manual o a través de la importación de las propiedades de una leyenda previamente creada (ver Epígrafe 4.3.1.1). No obstante, en este caso, debido a las características del ajuste de la información que se ha llevado a cabo fuera del entorno AQUALAB 2.0, resulta fundamental seleccionar como símbolo una **flecha hacia abajo** y una **rotación aritmética** para el ANGULO (Figura 4-70).

Puesto que el procedimiento descrito anteriormente requiere de varios pasos, el Esquema 4-7 pretende constituirse como una guía para el usuario presentando de forma sintética la secuencia requerida para poder llevar a cabo la visualización de resultados que implican la representación de una magnitud y de una dirección y que hayan sido generados fuera del entorno AQUALAB 2.0.

### Visualización de resultados generados fuera del entorno AQUALAB 2.0 que implican magnitud y dirección



**Esquema 4-7. Procedimiento para la visualización de resultados generados fuera del entorno AQUALAB 2.0 que implican magnitud y dirección.**

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

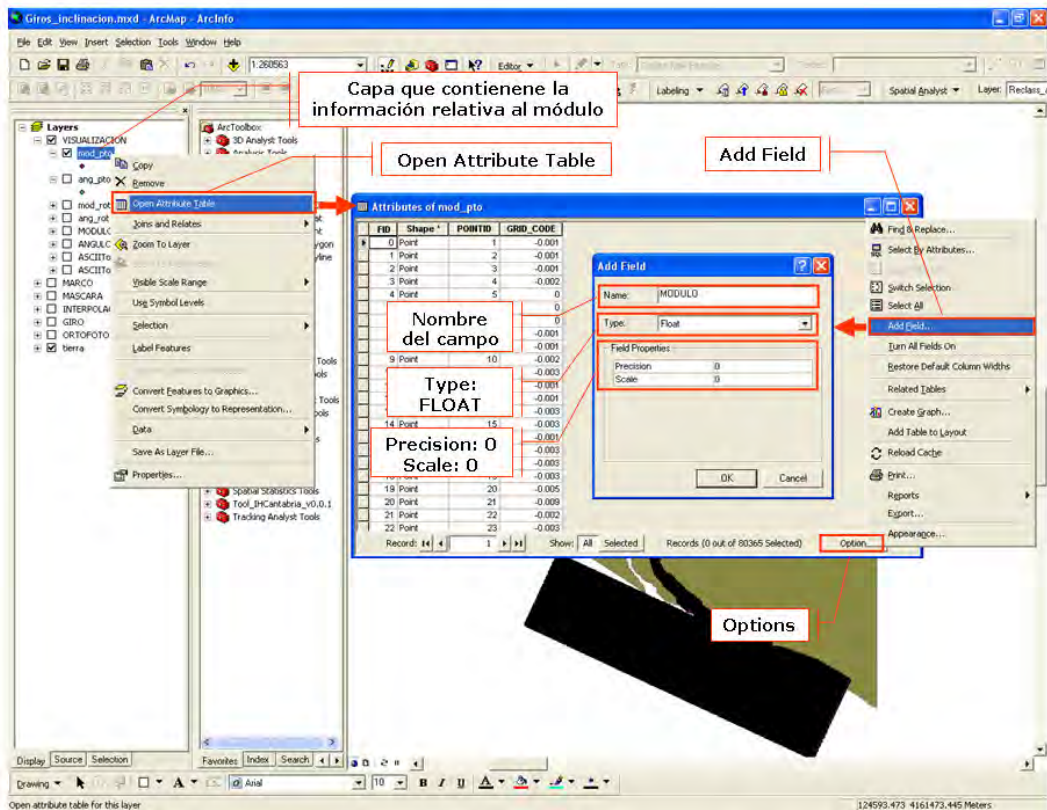


Figura 4-66. Adición de campos dentro de la tabla de atributos.

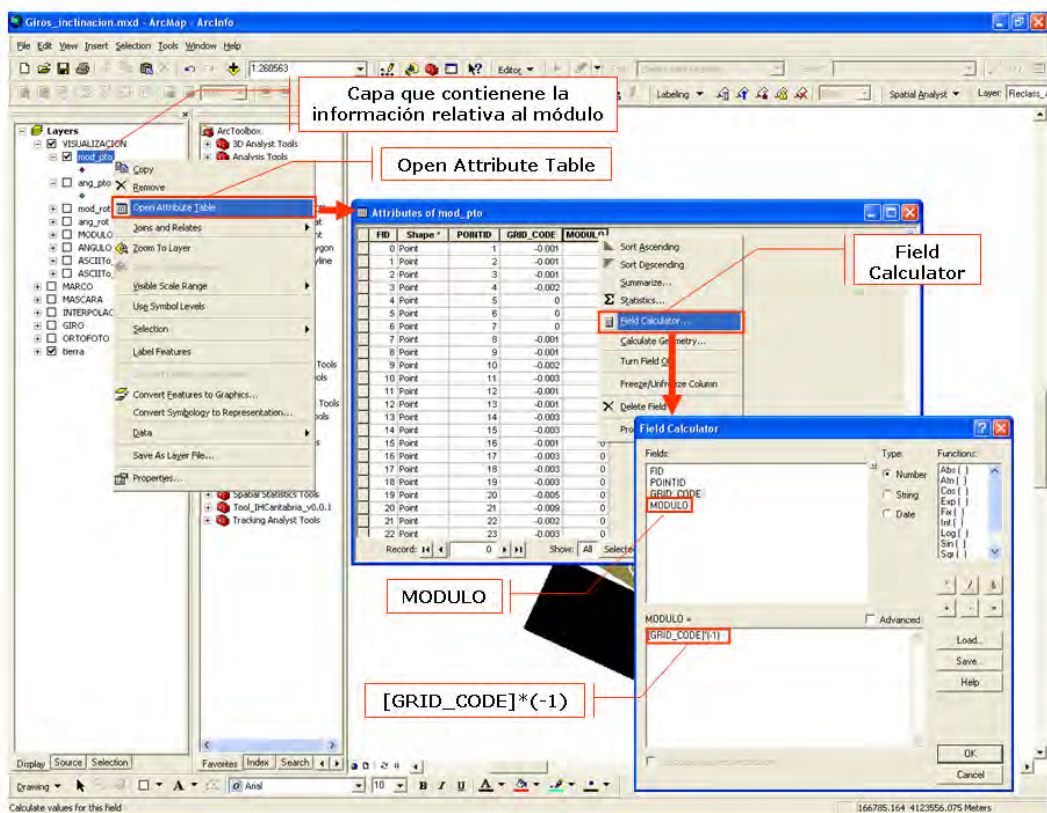


Figura 4-67. Ajuste de los datos de módulo y ángulo.

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

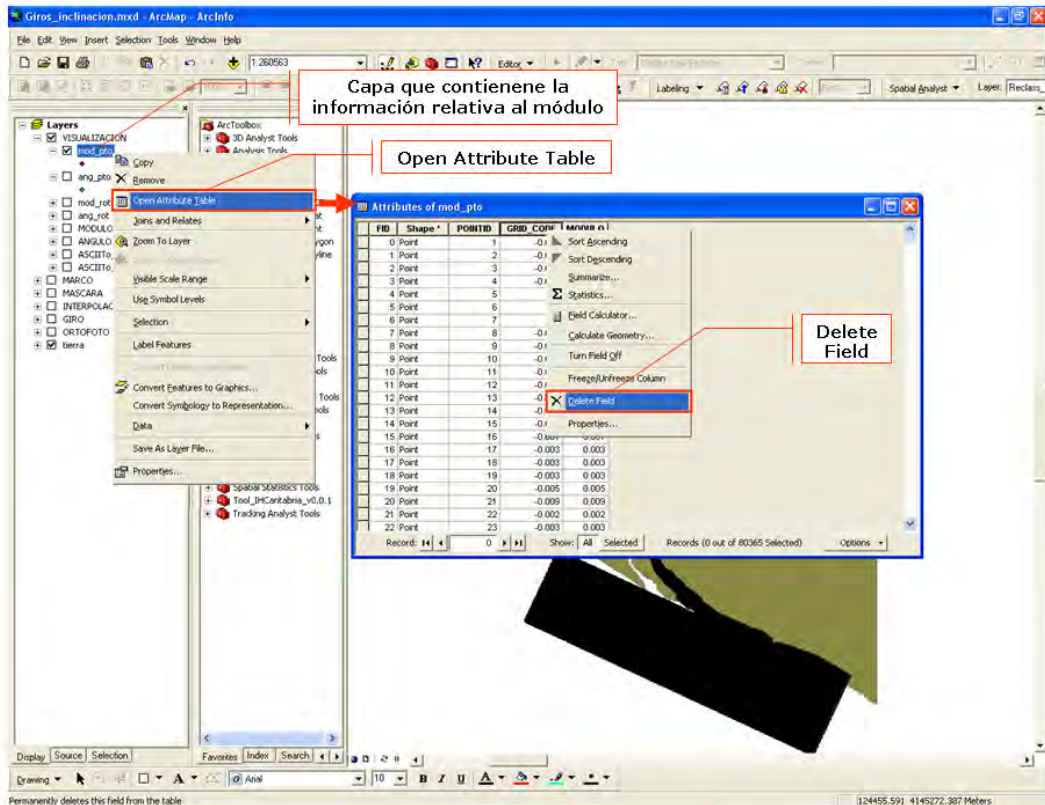


Figura 4-68. Eliminación de los campos innecesarios de la tabla de atributos.

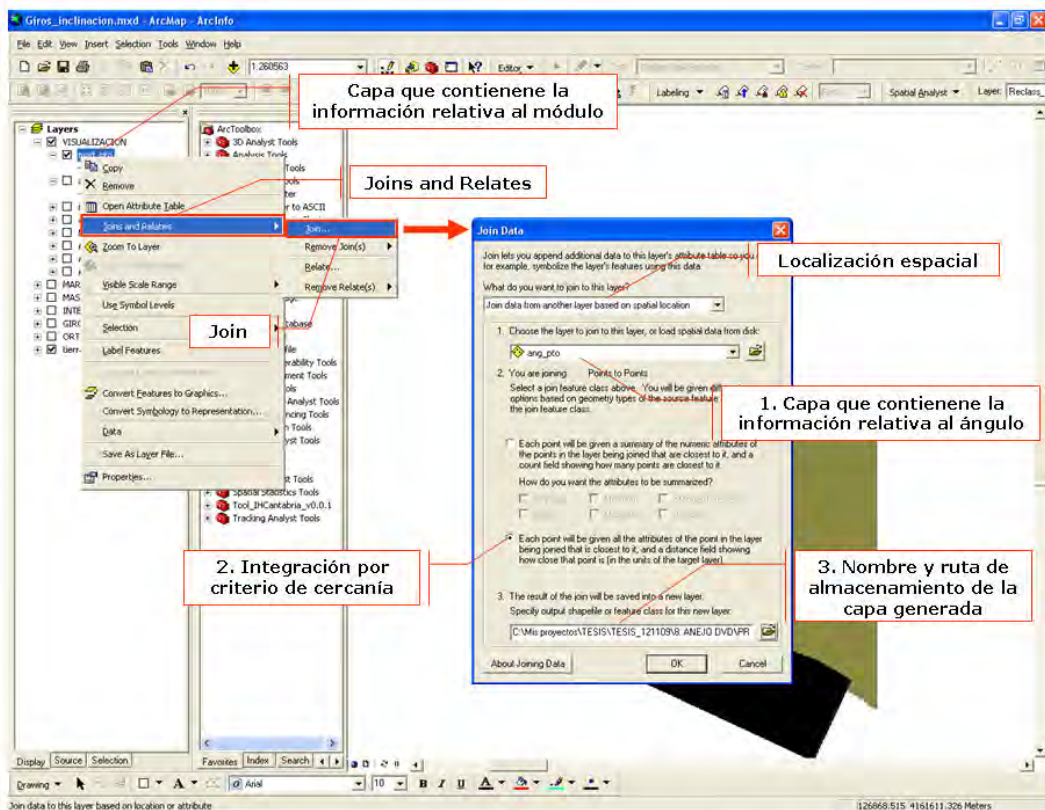
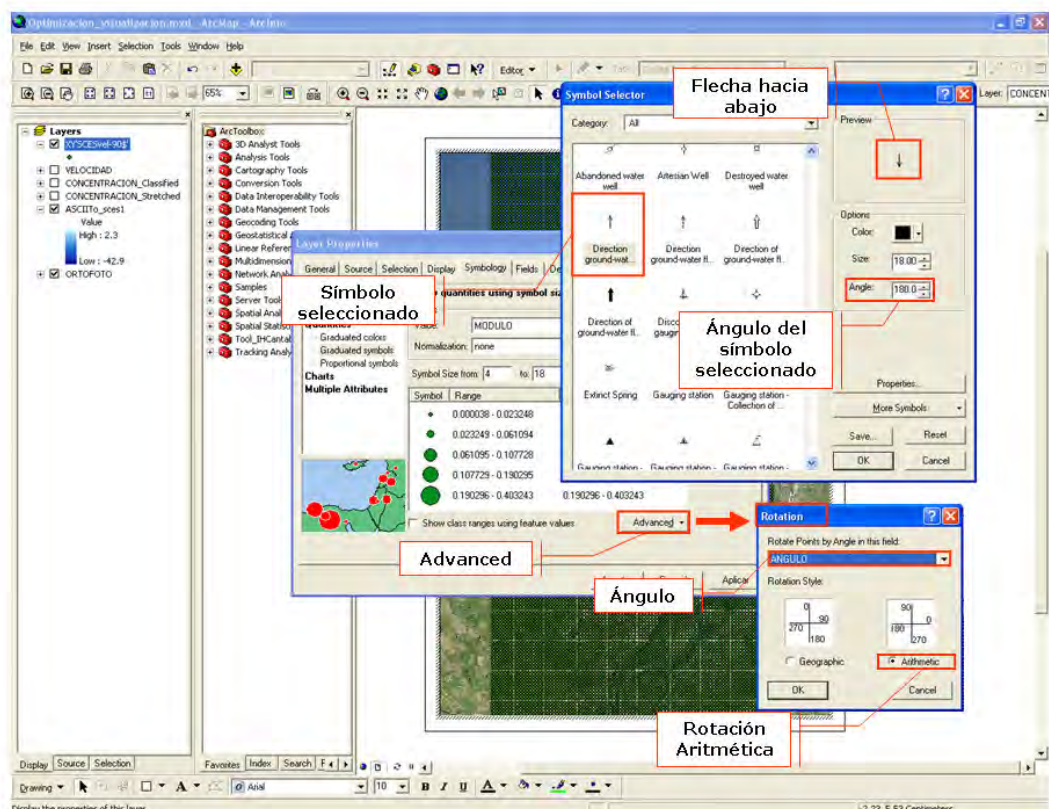


Figura 4-69. Integración de la información de dos capas de puntos en una sola.



**Figura 4-70. Selección del símbolo y tipo de rotación para visualizar en un SIG información generada fuera del entorno AQUALAB 2.0.**

### Método abreviado.

Si bien este método resulta mucho menos complejo, es válido únicamente para mallas que cumplan con las siguientes condiciones:

- i) no presentar inclinación con respecto al norte
- ii) poseer un sistema de referenciación coincidente con la referencia espacial del SIG, para ello, su origen debe localizarse en el extremo inferior izquierdo y,
- iii) no exceder la capacidad de almacenamiento de una hoja de cálculo .XLS.

De este modo, si se quiere representar la información procedente de una malla que cumpla con las características previamente descritas, el procedimiento metodológico requerido para llevar a cabo tal tarea se reduce a lo siguiente:

1. Al igual que para el método genérico, en primer lugar es necesario transformar la configuración matricial de los ficheros generados por los modelos hidrodinámicos a una configuración vectorial haciendo uso del ejecutable "all\_xyz.exe" (disponible en el DVD adjunto). De

este modo se obtendrá como resultado un fichero .DAT de cuatro columnas: celda x, celda y, módulo y ángulo (Figura 4-71).

2. A continuación, la información del fichero .DAT debe copiarse en una hoja de cálculo de un fichero .XLS añadiendo dos columnas al inicio para asignar la referenciación espacial de acuerdo con las formulaciones recogidas en la Tabla 4-1. Asimismo, debe añadirse una columna adicional al final para ajustar la información correspondiente al ángulo con fines de representación. De este modo, se obtendrá un fichero .XLS de siete columnas: UTMX, UTMY, celda x, celda y, módulo, ángulo y ángulo para ser representado gráficamente.

	Formulación	Variables
UTMX	$x_1 = UTMx_o + \frac{dx}{2}$ $x_n = x_1 + (dx \cdot (i - 1))$	$x_1$ : coordenada UTMx de la celda (1,y) UTMx <sub>o</sub> : coordenada UTMx de origen dx: tamaño de celda en x $x_n$ : coordenada UTMx de la celda (x <sub>n</sub> ,y) i: número de celda en dirección x
UTMY	$y_1 = UTM_y_o + \frac{dy}{2}$ $y_n = y_1 + (dy \cdot (j - 1))$	$y_1$ : coordenada UTM <sub>y</sub> de la celda (x,1) UTM <sub>y</sub> <sub>o</sub> : coordenada UTM <sub>y</sub> de origen dy: tamaño de celda en y $y_n$ : coordenada UTM <sub>y</sub> de la celda (x,y <sub>n</sub> ) j: número de celda en dirección y

**Tabla 4-1. Formulaciones para la asignación de una referencia espacial a cada dato.**

3. Para ajustar el ángulo, a fin de que su representación dentro del entorno SIG sea la adecuada, es necesario restar 90 al valor del ángulo de cada celda.
4. Finalmente, desde "ArcCatalog" debe crearse una capa .SHP localizando el fichero .XLS y haciendo click con el botón derecho del ratón sobre la hoja de cálculo que contiene los resultados. Esto desplegará un menú en el que debe seleccionarse la opción de "Create Feature Class" seguido de "From XY Table". Aquí habrá de indicarse que en los campos X e Y deben adoptarse los valores que en el fichero de resultados se han guardado como UTMx y UTM<sub>y</sub>, respectivamente. Asimismo, es preciso establecer el sistema de coordenadas en el que está proyectada la información.



5. Una vez generada la capa de resultados en formato .SHP debe cargarse al proyecto SIG y asignar los atributos propios de la representación gráfica. Para ello, puede optarse por la importación de las propiedades previamente guardadas en un fichero .LYR o por su establecimiento manual de acuerdo con la metodología descrita previamente (ver Epígrafe 4.3.1.1). No obstante, en todo caso, resulta imprescindible seleccionar como símbolo una **flecha hacia abajo** y una **rotación aritmética** para la representación del ángulo. Para obtener la flecha hacia abajo basta con indicar que el ángulo del símbolo seleccionado es "180" (Figura 4-70). Estos cambios obedecen al hecho de que el manejo que se ha dado previamente a la información para construir el fichero .XLS responde a patrones distintos del manejo interno que se lleva a cabo dentro del entorno AQUALAB 2.0.

Cabe comentar, asimismo, que únicamente sería posible la aplicación de este método abreviado sobre una malla inclinada cuando éste sea precedido por el procedimiento descrito en el Epígrafe 4.2.2.4 que alude a la transformación entre celdas y coordenadas a través del cual se establece la referenciación geográfica de cada celda. No obstante, en todo caso, es requisito imprescindible que el número de datos no exceda la capacidad de la hoja de cálculo .XLS, de ser así, tendría que aplicarse el método genérico basado en la transformación de la información en rasters temporales tal y como se ha detallado previamente. Así pues, en caso de cumplir la exigencia correspondiente a la capacidad de almacenamiento, una vez obtenida la capa de puntos que contiene la información relativa a las celdas y a sus correspondientes coordenadas X e Y, es posible exportarla (Figura 4-72) a un fichero de texto en formato .TXT seleccionando la opción "Export" del menú que se despliega al pulsar el botón "Options" dentro de la tabla de atributos de la capa que contiene la información.

A su vez, este fichero .TXT debe ser importado a una hoja de cálculo con formato .XLS. Una vez que se ha almacenado la información en dicho formato, habrá que segregar la columna correspondiente a "CELDAS" en sus respectivas componentes "celdas en x" y "celdas en y". Para ello, es preciso recordar que la parte entera del número se corresponde con la componente "celdas en x", mientras que la fracción decimal representa a la componente "celdas en y". De este modo, dichas componentes pueden calcularse, respectivamente, a través del uso de las siguientes formulaciones: "Truncar(CELDAS)" y "(CELDAS-celdas en x)\*1000" aplicando, a este último cálculo, un posterior truncamiento de la fracción decimal. De este modo, tras esta serie de transformaciones, es posible dar inicio a la aplicación del método abreviado descrito previamente.

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

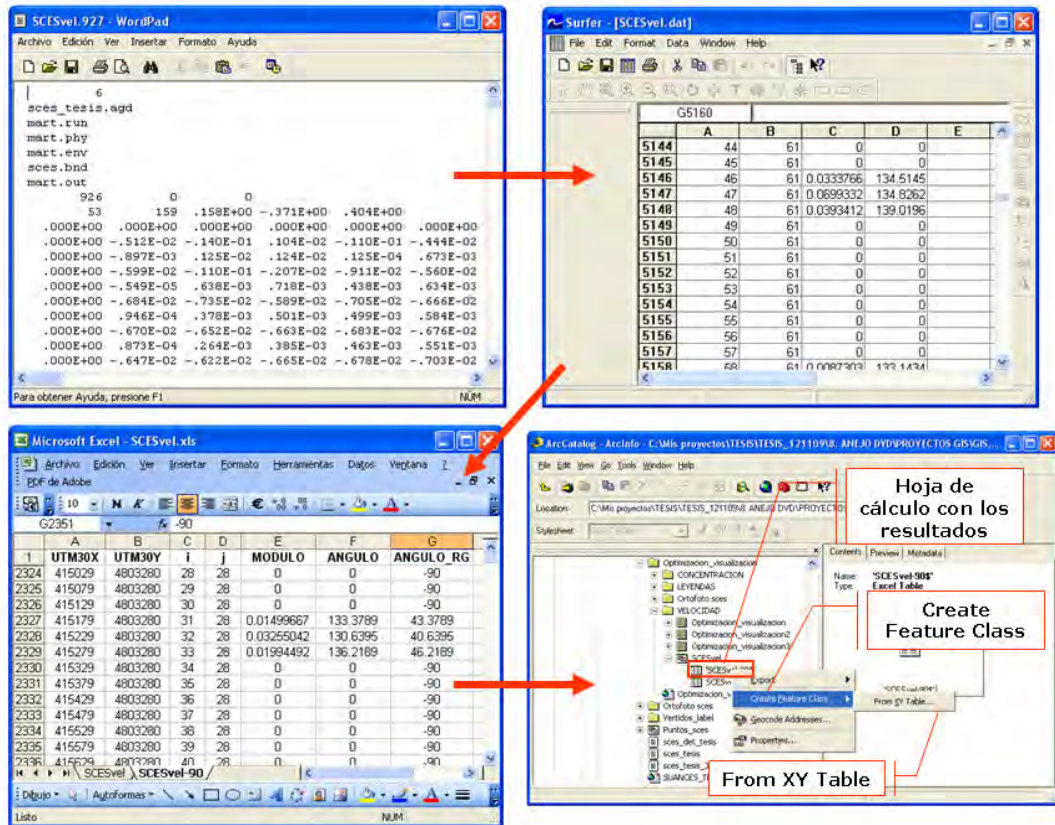


Figura 4-71. Transformaciones requeridas para visualizar en un SIG información generada fuera del entorno AQUALAB 2.0 que implica magnitud y dirección.

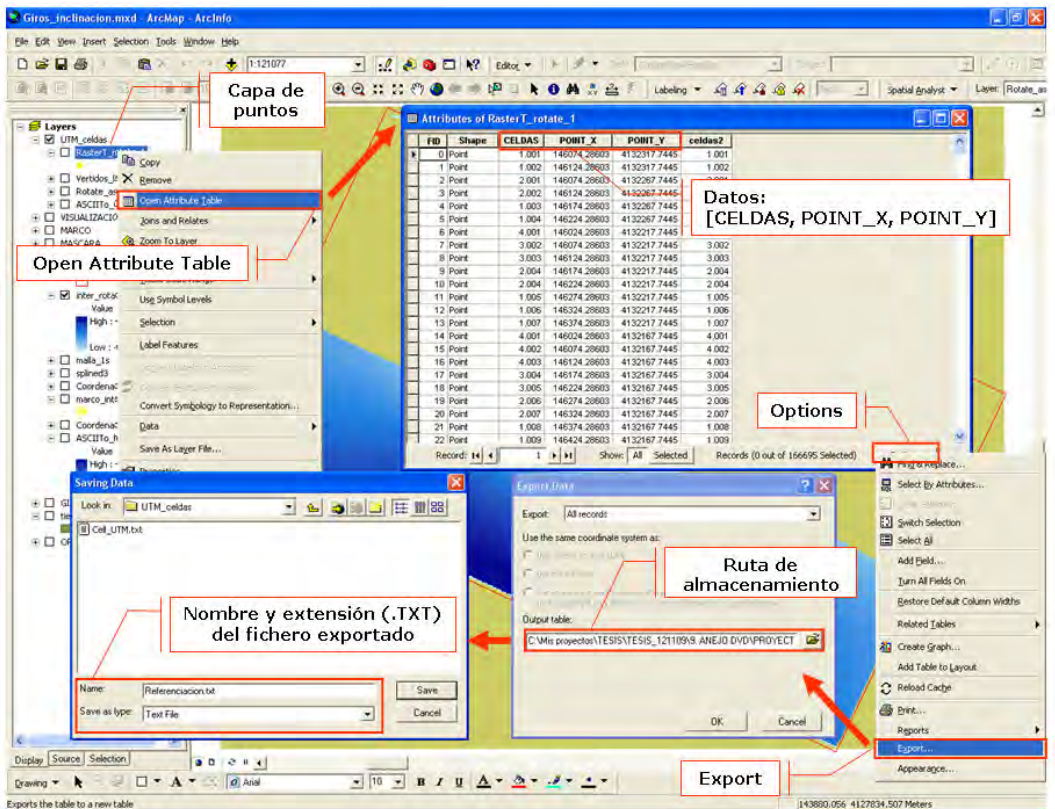


Figura 4-72. Exportación de los atributos de una tabla a un fichero de texto.

#### 4.3.2.2. Resultados que implican únicamente una magnitud

El modelo que se ha desarrollado en esta tesis analiza la evolución de algunas sustancias contaminantes considerando su interacción con los sólidos en suspensión generando dos tipos de resultados, ambos en formato .TXT. Por un lado, genera ficheros de **variación temporal** que contienen, para un punto de control, la variación de: el módulo de velocidad (V\_mod), la concentración de sólidos en suspensión (SS) y de un contaminante (Toxico) en la columna de agua, las tensiones de erosión (tero), sedimentación (tsed) y del lecho (tlch), las tasas de erosión (qero) y sedimentación (qsed), la concentración de sólidos cercana al lecho (Cb) y el espesor de la capa activa del sedimento (Hca).

Por otro lado, genera ficheros de mapas de **variación espacial** utilizando una configuración matricial para cada una de las variables que se mencionan a continuación. Estos ficheros pueden distinguirse entre si en función de los 4 caracteres predefinidos que el modelo añade al nombre del caso ejecutado. Dichas variables se corresponden con: concentración de un contaminante en la columna de agua (cntx) y en el lecho (cbtx), concentración de sólidos en suspensión en la columna de agua (cnss) y cercana al lecho (cncb), variaciones de espesor del lecho (hlch), tasas de erosión (qero) y sedimentación (qsed) y tensiones de lecho (tlch), erosión (tero) y sedimentación (tsed).

Los resultados contenidos en ambos tipos de ficheros pueden ser visualizados en el SIG a través de los siguientes procedimientos:

#### Visualización de resultados de variación temporal

Puesto que estos ficheros se corresponden con la información de un único punto geográfico en el que los parámetros varían con respecto al tiempo, no es posible su interpretación espacial directa a través de un SIG, por tal motivo, resulta más conveniente, en términos de agilidad y disponibilidad de funciones, procesarlos con programas aptos para el manejo de hojas de cálculo y creación de gráficos. No obstante, si se desea tener esta información cargada como parte del proyecto SIG, este entorno permite crear gráficos utilizando la opción "Create" del submenú "Graphs" contenido dentro del menú "Tools" siempre y cuando se asigne la localización geográfica correspondiente. Para ello es preciso:

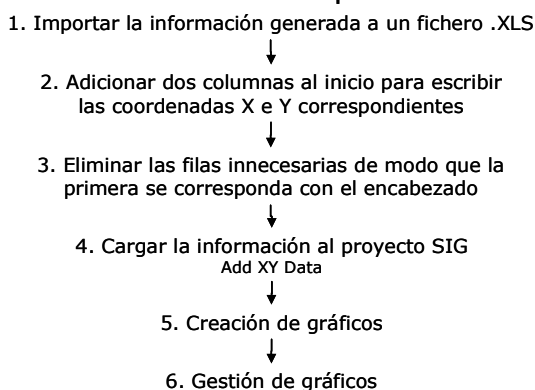
1. Importar desde Excel el fichero correspondiente al punto de control mediante la secuencia: Datos/Obtener datos externos/Importar datos. Una vez seleccionado el fichero de interés, indicar que los

- datos se encuentran delimitados por espacios y que no existe separador de miles dando click en el botón "Avanzadas".
2. Una vez que se tiene la información en una hoja de cálculo .XLS adicionar al inicio dos columnas en las que se escribirá la coordenada UTMX y UTM Y correspondiente a ese punto de control para cada paso de tiempo (Figura 4-73).
  3. Si fuera necesario, eliminar tantas filas como sea preciso para que la primera de ellas se corresponda con el encabezado de las columnas.
  4. Cargar esta información al proyecto SIG haciendo uso del menú "Tools" y del submenú "Add XY Data" seleccionando la hoja de cálculo del fichero que contiene la información y el sistema de coordenadas acorde al proyecto (Figura 4-37).
  5. Crear el gráfico correspondiente mediante la utilización de la opción "Create" (Tools/Graphs/Create) seleccionando a través de las opciones que ofrece el asistente de generación de gráficos: el tipo de gráfico que se desea, la capa de puntos que quiere graficarse, las variables que deben aparecer en los ejes de abscisa y ordenada, si se quiere o no, una leyenda, dónde y cómo se quieren los ejes, la forma, tamaño y color del símbolo utilizado para representar los datos, etc. (Figura 4-74).
  6. Los pasos anteriores se repiten para cada uno de los puntos de control que se desee graficar. Posteriormente, todos los gráficos generados pueden ser consultados o modificados a través del gestor de gráficos ubicado en la opción "Manage" del submenú "Graph" del menú "Tools". Este gestor de gráficos permite, entre otras opciones, copiar los gráficos generados para poder ser pegados en otras aplicaciones (.DOC, .XLS, .PPT, etc.), exportar los gráficos generados a distintos formatos de imagen (.PDF, .GIF, .JPG, etc.) y añadir los gráficos generados al "Layout" (Figura 4-75).

7. Cabe mencionar que dentro de un mismo fichero .XLS se puede tener la información de todos los puntos de control si se asigna un nombre distinto a cada hoja de cálculo, puesto que, al cargar los datos al entorno SIG, se debe seleccionar, para cada uno de ellos, la hoja que contiene la información correspondiente.

El Esquema 4-8 muestra de forma resumida la secuencia de pasos requerida para poder visualizar de forma adecuada los resultados referentes a la variación temporal de la magnitud de una variable. Tal y como se ha comentado, este tipo de ficheros de resultados se corresponde con los ficheros grabados para los puntos de control.

**Visualización de resultados generados fuera del entorno  
AQUALAB 2.0 que implican únicamente una magnitud:  
Variación temporal**



**Esquema 4-8. Procedimiento para la visualización de resultados de variación temporal generados fuera del entorno AQUALAB 2.0 que implican únicamente una magnitud.**

### **Visualización de resultados de variación espacial**

Los ficheros de este tipo poseen un encabezado de dos líneas que indican, respectivamente, la fecha y hora de ejecución y los valores mínimo y máximo para la variable en cuestión. Esta información, aunque útil, no permite una integración con el entorno SIG puesto que no aporta la información geográfica que éste requiere para poder ubicar espacialmente los datos. Por tal motivo, a fin de lograr su visualización dentro de dicho entorno, es necesario llevar a cabo el procedimiento que se describe a continuación:

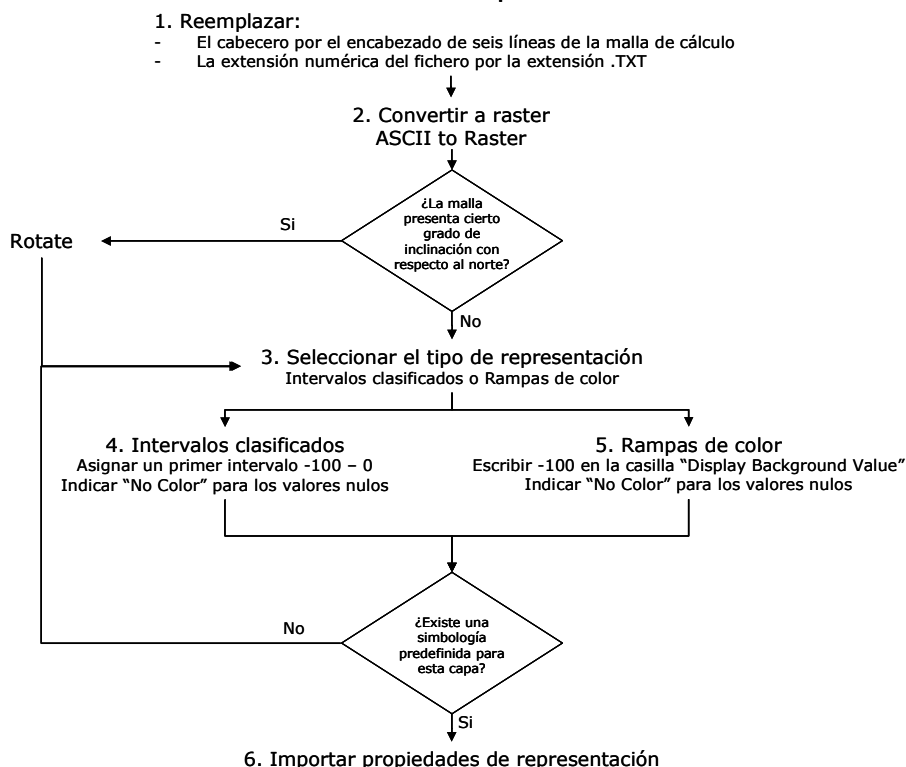
1. Reemplazar estas 2 líneas por el encabezado de 6 líneas (número de filas y columnas, UTMX y UTMY de origen, tamaño de celda y valor nulo) que describe las características y localización de la malla de estudio. Asimismo, es necesario reemplazar la extensión numérica de estos ficheros por la extensión .TXT (Figura 4-76).
2. Posteriormente los ficheros .TXT deben ser convertidos a raster mediante el uso de la herramienta SIG "ASCII to Raster" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster) (Figura 4-16). Si la malla posee cierto grado de inclinación, será necesario, asimismo, rotar el raster mediante la herramienta SIG "Rotate" (ArcToolbox/Data Management Tools/Projections and Transformations/Raster/Rotate) (Figura 4-18).
3. Una vez cargado el raster dentro del proyecto SIG existen dos formas de mostrar los resultados: por intervalos clasificados o por rampas continuas de color. Ambas resultan muy ilustrativas (Figura 4-79), de tal forma que, queda a decisión del usuario la selección de aquella que mejor convenga al propósito específico al que se encuentre destinada tal información.
4. Si se ha optado por la visualización mediante intervalos clasificados (Figura 4-77) debe darse click con el botón derecho del ratón sobre el ráster previamente cargado y seleccionar "Properties", presionar la pestaña "Symbolology" y seleccionar "Classified". Indicar el número de intervalos que se desean a través del desplegable "Classes". Estos intervalos adquirirán una partición automática asignada por el SIG. No obstante, si el usuario desea realizar la partición de los intervalos de otra forma es posible modificarlos presionando el botón "Classify". De este modo, es posible asignar un primer intervalo entre "-100 y 0" que se considera como de valores nulos indicando "0" en el primer valor de "Break Values". Finalmente, se debe seleccionar una rampa de color asignando "No Color" a los valores nulos.
5. Si por el contrario, se ha optado por la visualización mediante rampas de color (Figura 4-78) al presionar la pestaña "Symbolology" debe seleccionarse "Stretched". Escoger una rampa de color y activar la opción "Display Background Value" escribiendo -100 en el campo

adjunto e indicando que no tiene color seleccionando "No Color" en la pestaña desplegable de "as".

6. Cabe mencionar que una vez establecidas las propiedades de un raster es posible importar dichas características a todos los rasters que se carguen con posterioridad. Para ello solo es necesario dar click en el botón "Import" de la pestaña "Symbology" y seleccionar el raster del cual se quieren copiar las propiedades.

Al igual que en el caso anterior, el Esquema 4-9 indica de forma sintética los pasos que deben seguirse para poder representar, dentro del entorno SIG, la variación espacial de una variable calculada con el modelo de sustancias contaminantes considerando su interacción con los sólidos en suspensión.

### Visualización de resultados generados fuera del entorno AQUALAB 2.0 que implican únicamente una magnitud: Variación espacial



**Esquema 4-9. Procedimiento para la visualización de resultados de variación espacial generados fuera del entorno AQUALAB 2.0 que implican únicamente una magnitud.**

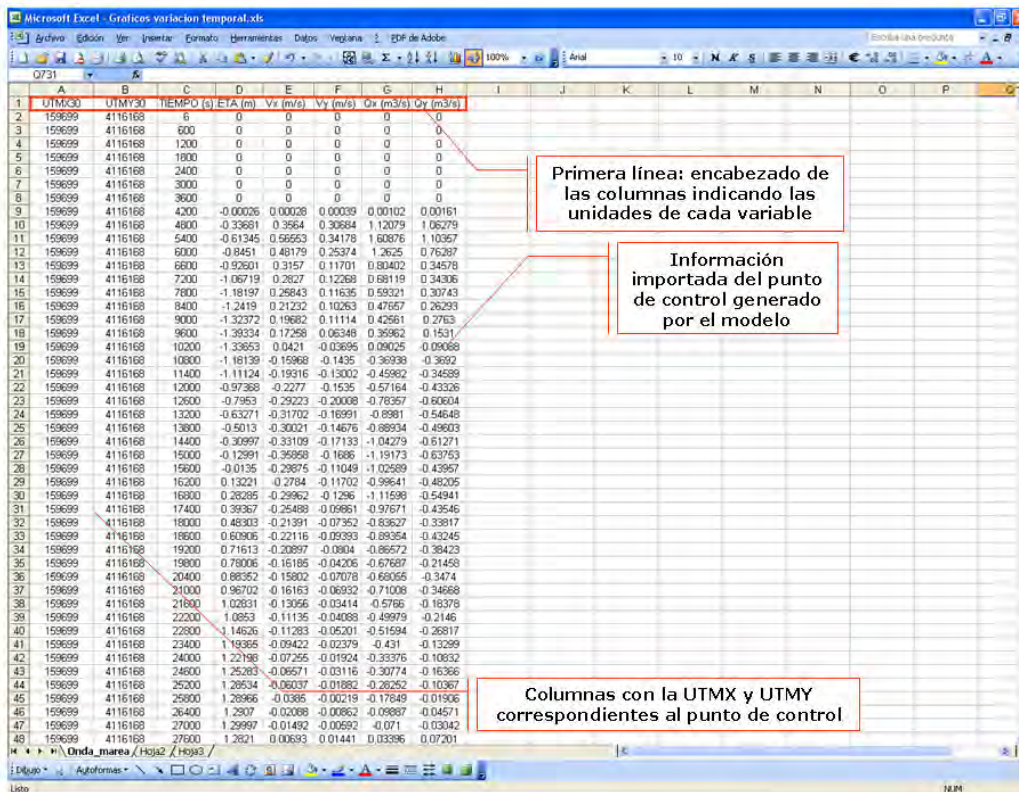


Figura 4-73. Formato que debe presentar el fichero .XLS para poder ser introducido al entorno SIG.

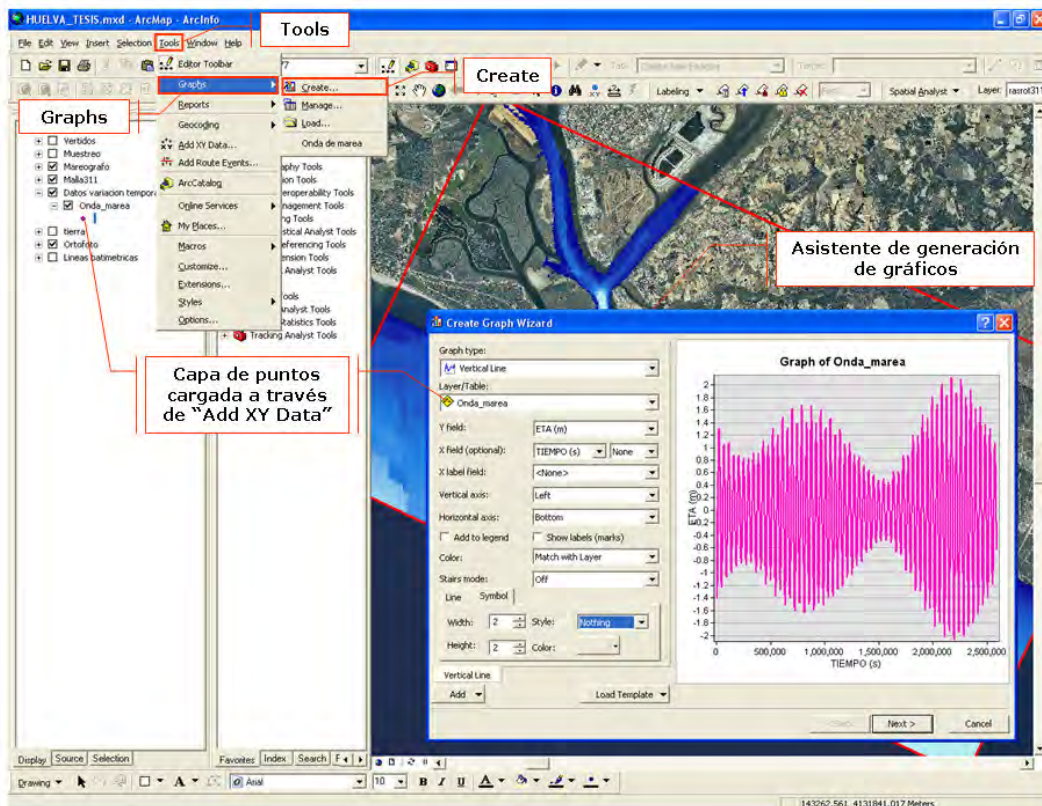


Figura 4-74. Generación de gráficos de puntos de control.



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

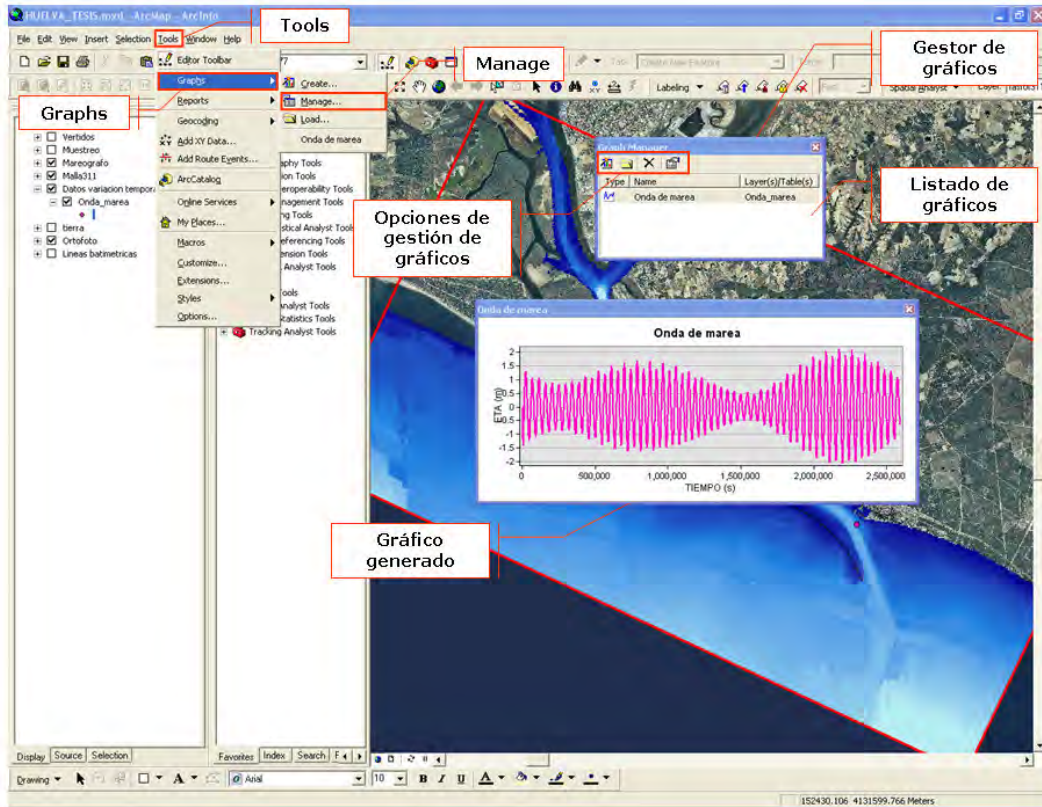


Figura 4-75. Gestión de gráficos de puntos de control.

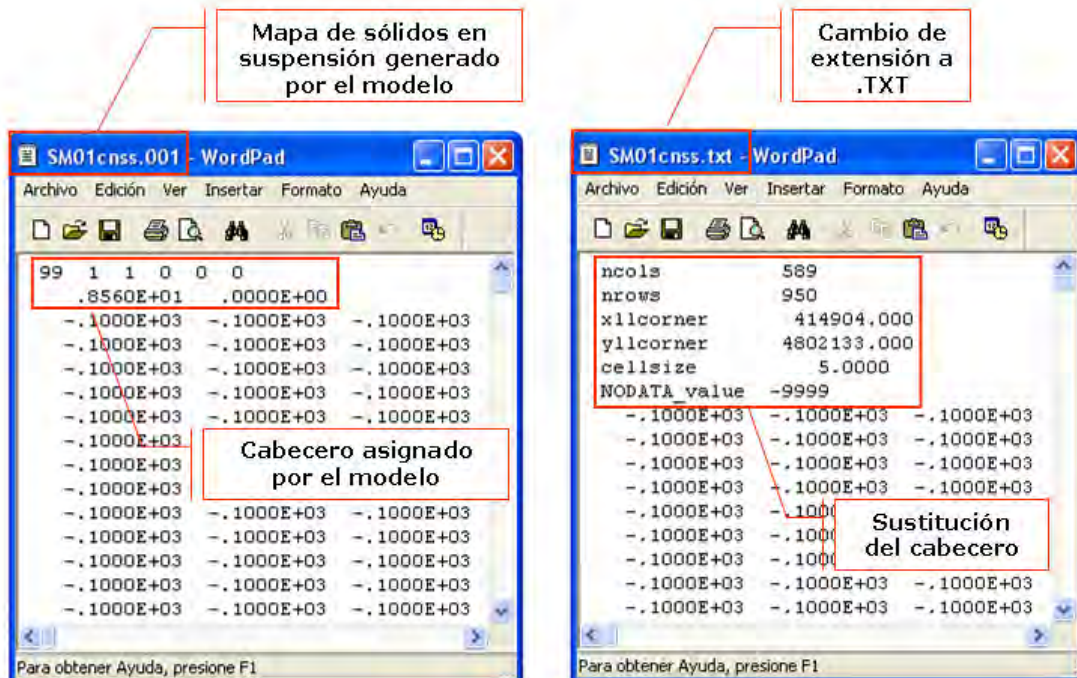


Figura 4-76. Adaptación de los ficheros de resultados generados por el modelo.

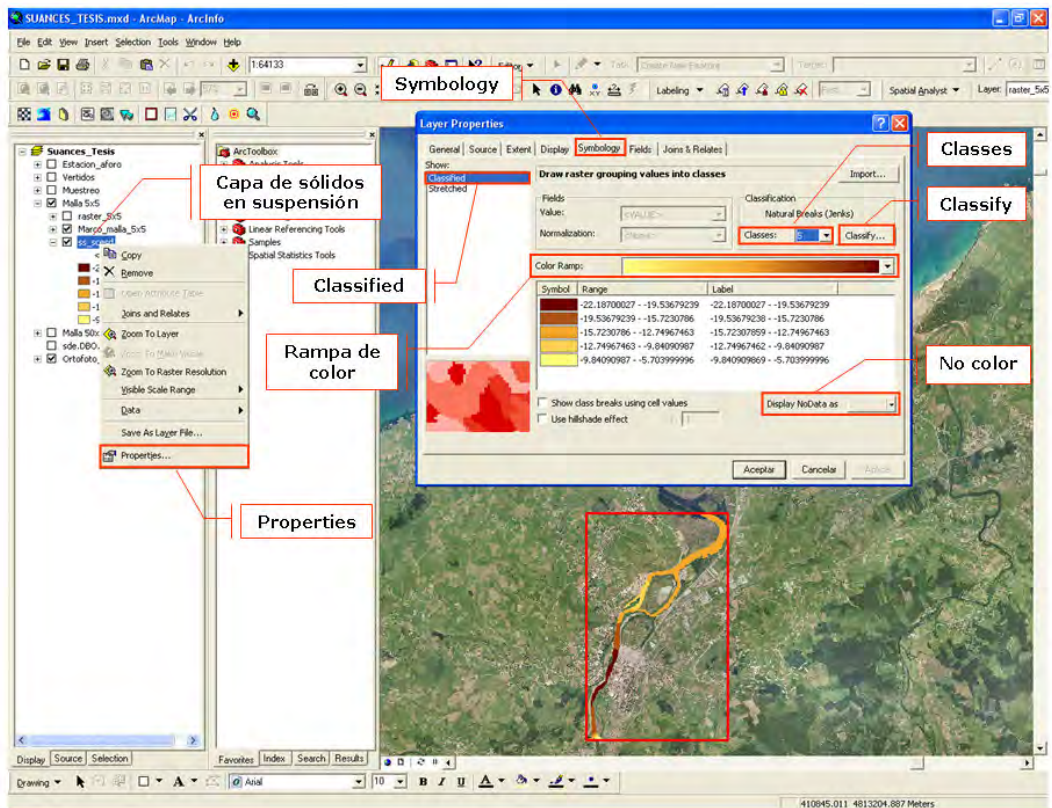


Figura 4-77. Visualización de resultados mediante intervalos clasificados.

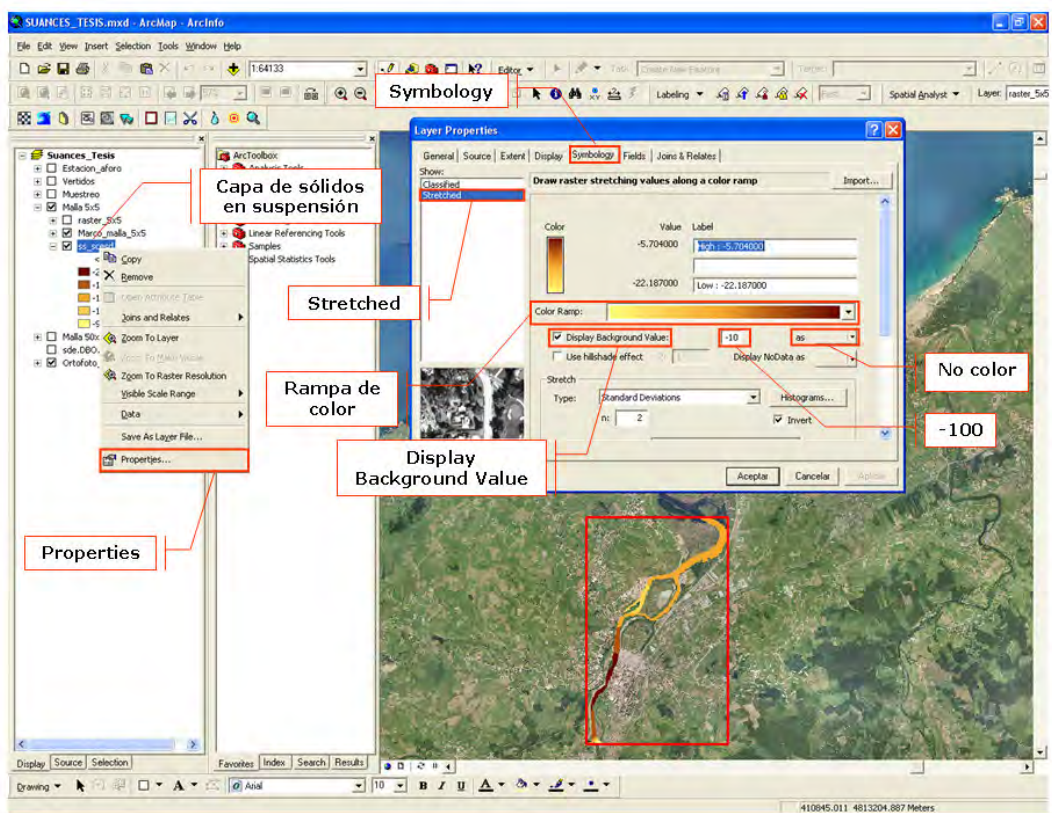


Figura 4-78. Visualización de resultados mediante rampas de color.

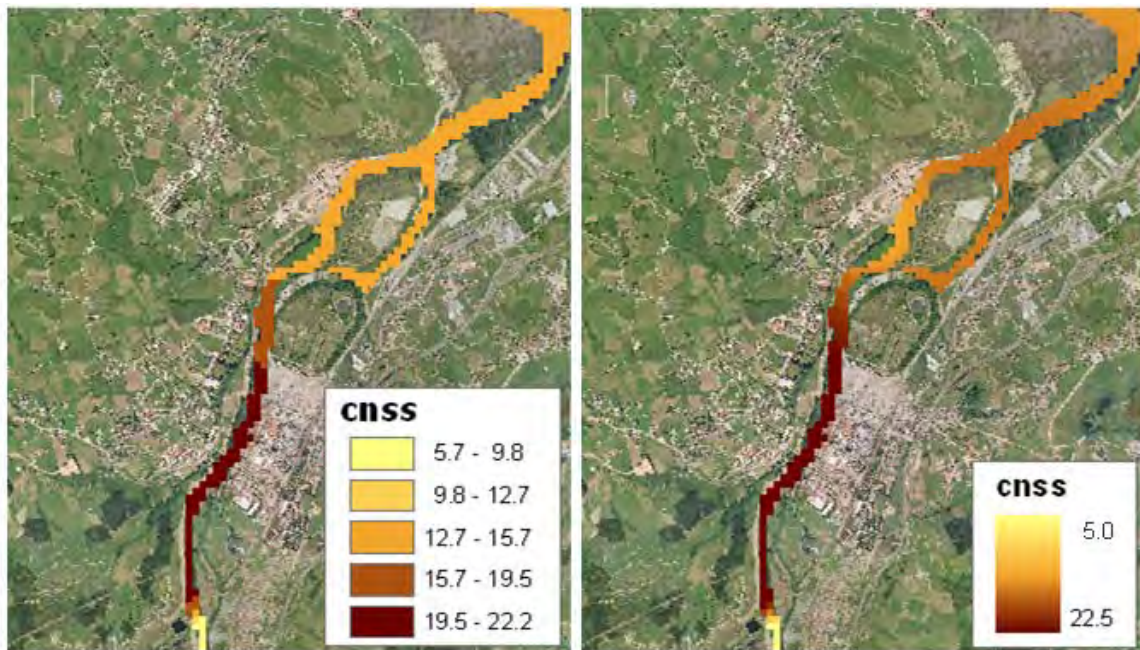


Figura 4-79. Visualización de resultados por intervalos clasificados (izq.) y rampa de color (dcha.).

#### 4.4. ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN ENTRE EL MODELO DESARROLLADO Y EL ENTORNO SIG DESDE UNA PERSPECTIVA DE GESTIÓN

Tal y como se ha comentado, todo este esfuerzo de integración de los modelos numéricos dentro de un SIG pretende constituir una herramienta capaz de evaluar los riesgos ambientales derivados de las descargas industriales en aguas estuarinas. Con base en ello, hasta ahora, se han desarrollado todos los procedimientos metodológicos necesarios para llevar a cabo tal integración, no obstante, se requiere aún del establecimiento de procedimientos adicionales que permitan realizar el análisis de toda la información generada a fin de que la herramienta resultante sea, efectivamente, un elemento capaz de integrar la totalidad de la información con el objeto de simplificar a los gestores competentes la toma de decisiones.

#### **4.4.1. Gestión de hidrogramas y polutogramas de vertido**

La información relativa a los hidrogramas y polutogramas de vertido debe ser tratada tal y como se ha hecho para llevar a cabo la visualización de resultados de variación temporal. Así pues, es necesario dar seguimiento al procedimiento que se describe a continuación:

1. Construir un fichero .XLS que contenga seis columnas con los siguientes cabeceros: UTMX de vertido, UTMY de vertido, Tiempo, Caudal, Concentración de la sustancia vertida y Concentración límite autorizada para el vertido. Cabe mencionar que es importante que los cuatro últimos se encuentren acompañados de sus respectivas unidades desde el fichero .XLS puesto que una vez introducida la información al SIG, únicamente es posible llevar a cabo su representación gráfica sin la adición de nueva información.
2. La introducción de la información se lleva a cabo a través del uso del menú "Tools" y del submenú "Add XY Data" (Figura 4-37) 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, tal y como se ha comentado previamente, es necesario establecer el sistema de coordenadas de acuerdo con el sistema adoptado para el proyecto.
3. Posteriormente, se procede a la creación del gráfico utilizando la opción "Create" del submenú "Graphs" contenido dentro del menú "Tools" de acuerdo con el procedimiento previamente descrito (Figura 4-74).

No obstante, pensando en términos de gestión, puede resultar interesante el poder observar en un mismo gráfico combinaciones de variables como por ejemplo la concentración vertida en determinados momentos y el límite de vertido autorizado. De este modo, es posible contrastar la información para detectar si se está incurriendo en un incumplimiento o no, y con qué frecuencia se ve excedido dicho límite lo largo de un periodo de tiempo establecido.

Así pues, a fin de que los gráficos generados fuesen suficientemente ilustrativos, se ha procesado la información de un vertido ficticio a través del asistente para gráficos del SIG introduciendo dos series de datos

correspondientes al límite autorizado y a la concentración de zinc vertida (Figura 4-80).

El resultado final que se obtiene dentro del SIG permite disponer de la totalidad de la información en un único entorno de forma que es posible, además de ubicar la localización del vertido con la precisión que aporta una ortofoto, visualizar los hidrogramas y polutogramas correspondientes (Figura 4-81).

De este modo, la gama de posibles combinaciones puede ser tan amplia como se desee en función del objetivo que se pretenda cumplir con la representación de la información dentro del entorno SIG. Cabe mencionar, como requisito indispensable, que la totalidad de la información que se desee representar debe estar contenida en una única hoja de cálculo formato .XLS a partir de la cual se introducirá dicha información al Sistema.

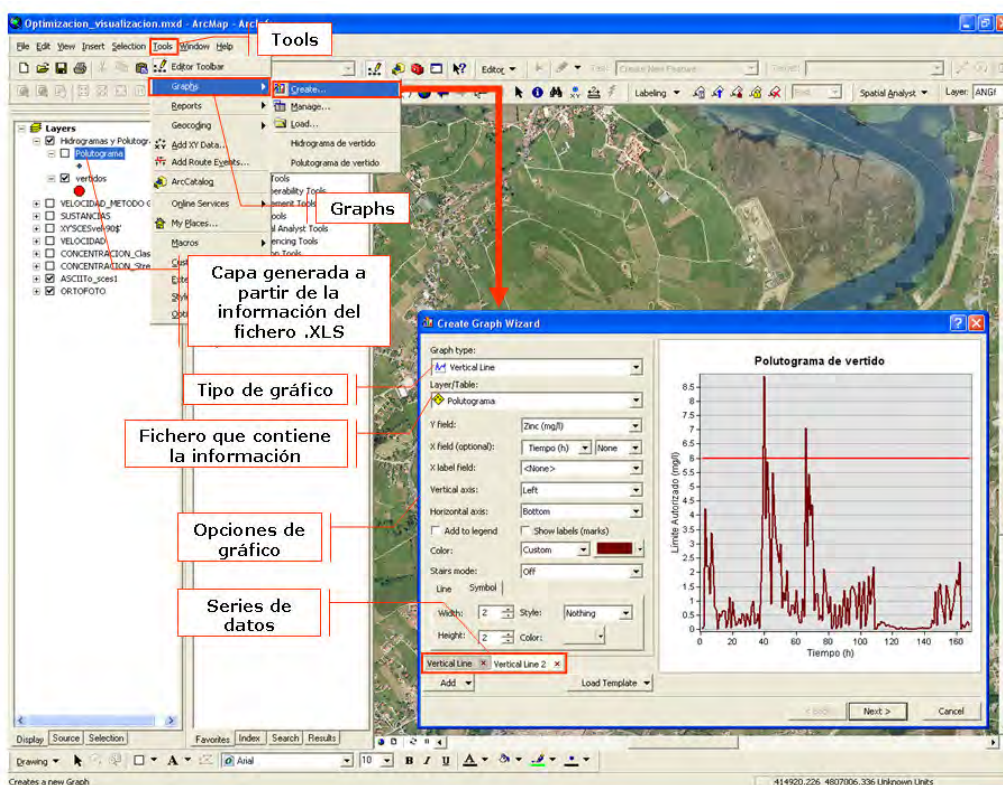


Figura 4-80. Creación de un gráfico a partir de dos series de datos.

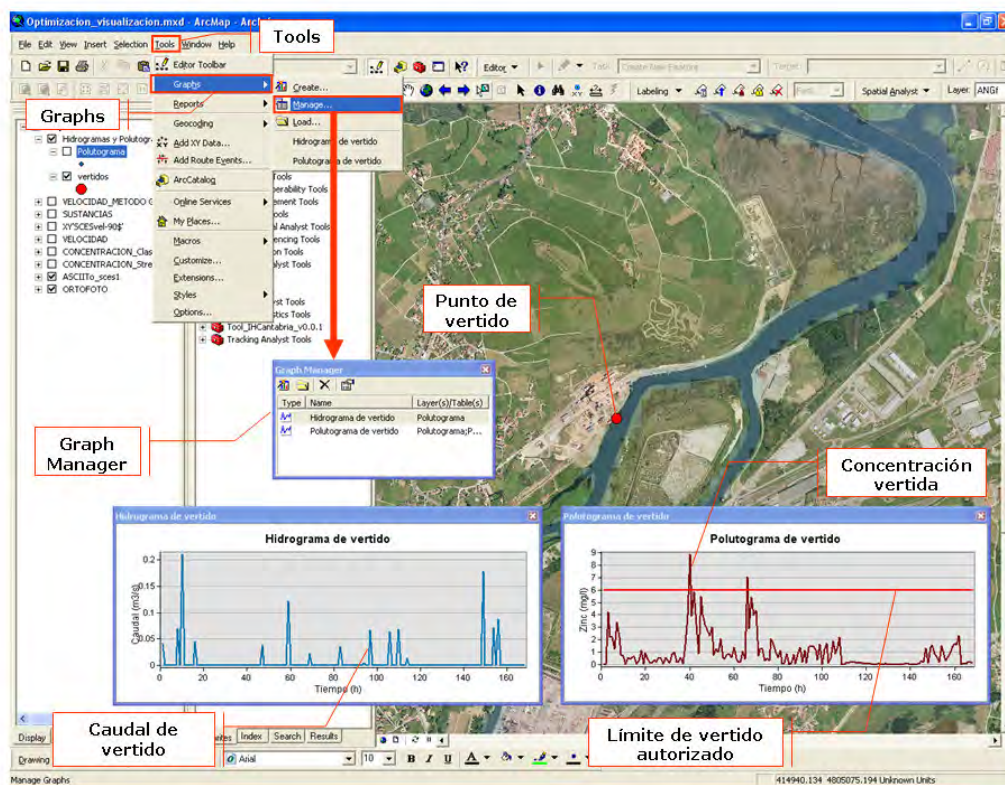


Figura 4-81. Gestión de hidrogramas y polutogramas de vertido dentro de un entorno SIG.

#### 4.4.2. Visualización del grado de cumplimiento de las Normas de Calidad Ambiental

El modelo desarrollado está preparado para generar distintos mapas de concentración de tóxicos, es decir, ficheros que graban, para cada celda del dominio de cálculo, la concentración total en agua y en sedimentos en la que se encuentra presente la sustancia analizada en un instante determinado. Así pues, considerando estos mapas de concentración y, aplicando una escala apropiada, es posible detectar si el resultado de la simulación evidencia un incumplimiento de la Norma de Calidad Ambiental (NCA) correspondiente. Al respecto, cabe mencionar que, con excepción del cadmio, plomo, mercurio y níquel, las NCA establecidas en el Anexo I de la Directiva 2008/105, se expresan como concentraciones totales en toda la muestra de agua. En el caso de los metales previamente mencionados, la NCA se refiere a la concentración disuelta.

Por otro lado, de acuerdo con el nivel de cumplimiento de las NCA observado, es posible establecer si es necesaria la aplicación de medidas preventivas o correctoras o, si por el contrario, se requiere únicamente de la vigilancia rutinaria que se lleva a cabo de forma habitual. Partiendo de esta base y, a fin de poder visualizar los resultados de forma fácil y eficaz,

se propone el siguiente procedimiento basado en la creación de leyendas específicas tal y como se describe a continuación.

Cabe comentar que, de acuerdo con la Directiva 2008/105, una masa de agua superficial cumple la NCA media anual (NCA-MA) cuando la media aritmética de las concentraciones medidas distintas veces durante el año, en cada punto de control representativo de la masa de agua, no excede la norma. Por otro lado, dicha Directiva expresa, asimismo, que una masa de agua superficial cumple la NCA máxima admisible (NCA-CMA) cuando la concentración medida en cualquier punto de control representativo de la masa de agua no supera la norma.

Puesto que se ha observado que la mejor manera de visualizar este tipo de resultados se corresponde con el uso de leyendas de color, se propone la creación de una leyenda específica para cada sustancia en la cual existan tres intervalos diferenciados con base en una NCA. A modo de ejemplo, a continuación se propone una clasificación con base en tres intervalos diferenciados en función de la concentración máxima admisible. Tales intervalos han sido definidos como:

- Mayor que la NCA-CMA correspondiente, en cuyo caso se considera como incumplido dicho objetivo y es, por tanto, sinónimo del requerimiento de la adopción inmediata de las medidas de corrección oportunas.
- Entre el 90% y el 100% del valor de la NCA-CMA correspondiente, en cuyo caso habrán de establecerse las medidas de prevención pertinentes a fin de no alcanzar dicho valor límite y
- Entre cero y 89.99% del valor de la NCA-CMA correspondiente, en cuyo caso bastará únicamente con mantener los programas de seguimiento al respecto.

De este modo, para cada una de las sustancias que pueden ser estudiadas a través del modelo desarrollado, los intervalos de representación de la concentración máxima admisible de acuerdo con la NCA correspondiente (Directiva 2008/105/CE (sustancias prioritarias) y Ley 42/2007 (sustancias peligrosas)) quedarían establecidos tal y como se indica en la Tabla 4-2.

A partir de estos intervalos se han construido 41 leyendas (disponibles en el DVD adjunto) haciendo uso del siguiente procedimiento para cada sustancia modelada:

1. Sustituir el cabecero del fichero que contiene la concentración del tóxico por el cabecero de la malla de estudio (formato .TXT) indicando que el valor nulo es "-.1000E+03". A continuación, sustituir la extensión numérica que posee el fichero por la extensión .TXT (Figura 4-76).

2. Cargar este fichero al proyecto SIG como un raster haciendo uso de la herramienta "ASCII to Raster" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster) (Figura 4-16).
3. Establecer 3 intervalos de clasificación de acuerdo con la información provista por la Tabla 4-2 (Figura 4-77).
4. Guardar la leyenda generada utilizando la opción "Save As Layer File" (Figura 4-55).

Sustancia	0 – 89.99% NCA-CMA (µg/l)	90 – 100 % NCA-CMA (µg/l)	> NCA -CMA (µg/l)
Alacloro	0 - 6.299E-01	6.300E-01 - 7.00E-01	7.00E-01
Antraceno	0 - 3.600E-01	3.600E-01 - 4.00E-01	4.00E-01
Atrazina	0 - 1.800E-00	1.800E-00 - 2.00E-00	2.00E-00
Benceno	0 - 4.500E+01	4.500E+01 - 5.00E+01	5.00E+01
Pentabromodifenileter	0 - 7.199E-02	7.200E-02 - 8.00E-02	8.00E-02
Octabromodifenileter	0 - 7.199E-02	7.200E-02 - 8.00E-02	8.00E-02
Decabromodifenileter	0 - 7.199E-02	7.200E-02 - 8.00E-02	8.00E-02
Cadmio	0 - 7.199E-01	7.200E-01 - 8.00E-01	8.00E-01
C10-13-cloroalcanos	0 - 1.260E-00	1.260E-00 - 1.40E-00	1.40E-00
Clorofenvinfos	0 - 2.700E-01	2.700E-01 - 3.00E-01	3.00E-01
Cloropirifos	0 - 8.999E-02	9.000E-02 - 1.00E-01	1.00E-01
1.2-Dicloroetano	0 - 3.339E+01	3.339E+01 - 3.71E+01	3.71E+01
Diclorometano	0 - 6.677E+01	6.678E+01 - 7.42E+01	7.42E+01
Di(2etilhexil)ftalato	0 - 4.410E-00	4.410E-00 - 4.90E-00	4.90E-00
Diuron	0 - 1.620E-00	1.620E-00 - 1.80E-00	1.80E-00
Alfa-endosulfan	0 - 3.600E-03	3.600E-03 - 4.00E-03	4.00E-03
Fluoranteno	0 - 8.999E-01	9.000E-01 - 1.00E-00	1.00E-00
Hexaclorobenceno	0 - 4.500E-02	4.500E-02 - 5.00E-02	5.00E-02
Hexaclorobutadieno	0 - 5.399E-01	5.400E-01 - 6.00E-01	6.00E-01
Lindano	0 - 1.800E-02	1.800E-02 - 2.00E-02	2.00E-02
Isoproturon	0 - 8.999E-01	9.000E-01 - 1.00E-00	1.00E-00
Plomo	0 - 2.403E+01	2.403E+01 - 2.67E+01	2.67E+01
Mercurio	0 - 6.299E-02	6.300E-02 - 7.00E-02	7.00E-02
Naftaleno	0 - 4.050E-00	4.050E-00 - 4.50E-00	4.50E-00
Niquel	0 - 6.677E+01	6.678E+01 - 7.42E+01	7.42E+01
4-Nonilfenol	0 - 1.800E-00	1.800E-00 - 2.00E-00	2.00E-00
Para-ter-octilfenol	0 - 4.500E-01	4.500E-01 - 5.00E-01	5.00E-01
Pentaclorobenceno	0 - 8.999E-02	9.000E-02 - 1.00E-01	1.00E-01
Pentaclorofenol	0 - 8.999E-01	9.000E-01 - 1.00E-00	1.00E-00
Benzo(a)pireno	0 - 8.999E-02	9.000E-02 - 1.00E-01	1.00E-01
Benzo(b)fluoranteno	0 - 1.800E-01	1.800E-01 - 2.00E-01	2.00E-01
Benzo(g,h,i)perileno	0 - 8.099E-02	8.100E-02 - 9.00E-02	9.00E-02
Benzo(k)fluoroanteno	0 - 1.800E-01	1.800E-01 - 2.00E-01	2.00E-01
Indeno(1.2.3-cd)pireno	0 - 8.099E-02	8.100E-02 - 9.00E-02	9.00E-02
Simazina	0 - 3.600E-00	3.600E-00 - 4.00E-00	4.00E-00
Tributiltin	0 - 1.350E-03	1.350E-03 - 1.50E-03	1.50E-03
1.2.4-Triclorobenceno	0 - 1.440E-00	1.440E-00 - 1.60E-00	1.60E-00
Triclorometano	0 - 8.369E-00	8.370E-00 - 9.30E-00	9.30E-00
Trifuralina	0 - 1.800E-01	1.800E-01 - 2.00E-01	2.00E-01
Cobre	0 - 2.250E+01	2.250E+01 - 2.50E+01	2.50E+01
Zinc	0 - 5.400E+01	5.400E+01 - 6.00E+01	6.00E+01

**Tabla 4-2. Intervalos de clasificación para la visualización del cumplimiento de la Norma de Calidad Ambiental (NCA).**



De esta forma, cada vez que quieran visualizarse los resultados de una simulación basta con cargar como un raster el fichero que contiene la información de la concentración del compuesto tóxico en el medio acuático e importar la leyenda correspondiente (Figura 4-82). Para ello, debe tomarse en consideración que estas leyendas han sido generadas como "Classified", por tal motivo, para importar las propiedades almacenadas en éstas debe hacerse la importación desde este mismo tipo de simbología.

A modo de ejemplo, en la Figura 4-82 se representa el mapa de concentraciones de Zinc provenientes de dos vertidos ficticios en los que se observa que la zona próxima al Vertido 1 se encuentra en riesgo de incumplir la NCA correspondiente, mientras que para el Vertido 2 se advierte un claro incumplimiento de la misma. Por tal motivo, este último vertido exigiría la aplicación de medidas correctoras de forma inmediata. Por su parte, de acuerdo con esta visualización de resultados, el Vertido 1 requeriría de la aplicación de medidas preventivas a fin de evitar que se produzca el incumplimiento de la NCA correspondiente.

Cabe comentar que, de acuerdo con esta misma estrategia, podrían generarse mapas capaces de representar las zonas de mezcla correspondientes a los vertidos más significativos de un estuario.

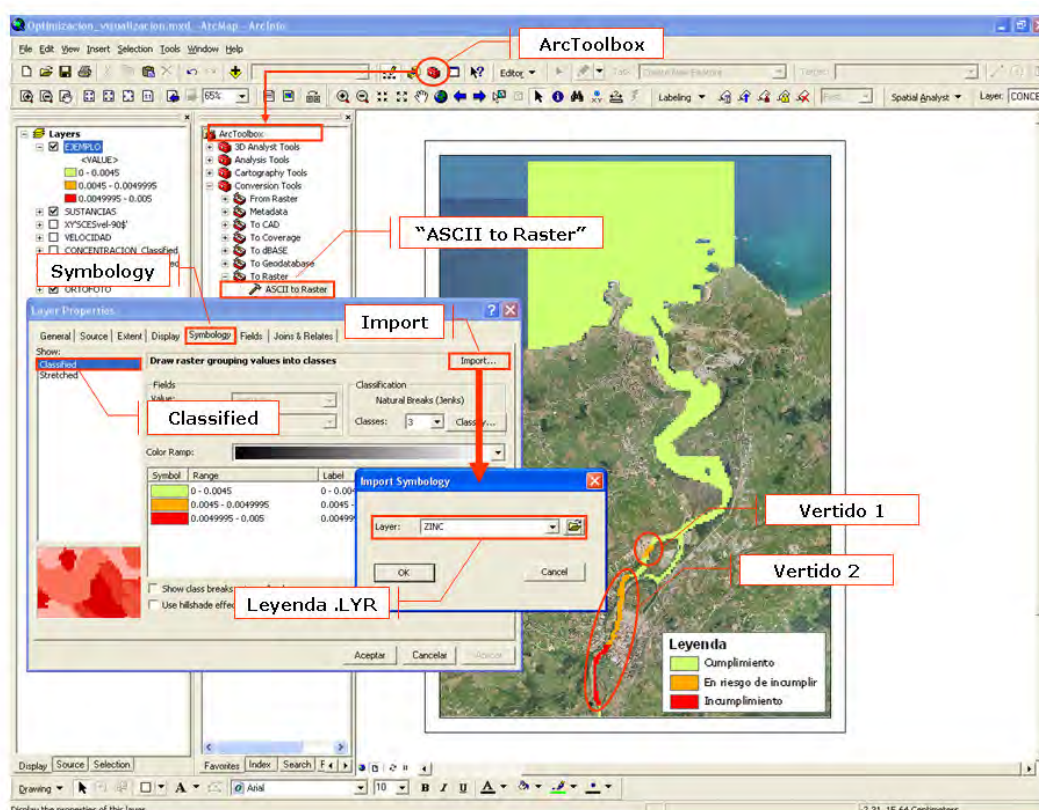


Figura 4-82. Visualización del grado de cumplimiento de las NCA.

### 4.4.3. Análisis estadístico

Sin duda, la adecuada visualización del grado de cumplimiento de las NCA se constituye como un elemento básico para dirigir la atención del gestor hacia las zonas que sufren una afección (real o potencial) debida a la presencia de emisiones contaminantes. No obstante, en ocasiones, no basta con la localización cualitativa de estas zonas afectadas, sino que se requiere de la cuantificación del nivel de incumplimiento con el objeto de establecer las actuaciones de gestión oportunas. Por tal motivo, resulta fundamental el apoyo de herramientas estadísticas, ya sean propias o no, del entorno SIG.

En este sentido, el tiempo durante el cual se supera el nivel máximo admisible de acuerdo con una NCA (denominado como **tiempo de superación**) puede aportar una idea sobre la gravedad de la afección o la recurrencia de la misma. Este parámetro se calcula mediante un ejecutable externo denominado "his\_con.exe" (disponible en el DVD adjunto) que debe ser alimentado con todos los ficheros de concentración que se hayan ido grabando a lo largo de la simulación. Asimismo, debe ser indicada la concentración máxima admisible de acuerdo con la NCA correspondiente a la sustancia vertida. Como resultado, este ejecutable genera dos ficheros de configuración matricial que contienen el tiempo de superación absoluto (abs\_con.001) y relativo (rel\_con.001).

Para su introducción al SIG, tal y como ya se ha llevado a cabo para otro tipo de resultados generados fuera de dicho entorno, es preciso:

1. Establecer como cabecero de ambos ficheros las seis líneas que encabezan el fichero de la malla de estudio y cambiar la extensión numérica por la extensión .TXT.
2. De este modo, será posible generar un raster dentro del entorno SIG utilizando la herramienta "ASCII to Raster" (ArcToolbox/Conversion Tools/To Raster/ASCII to Raster) (Figura 4-16).
3. A fin de poder visualizar los resultados generados por el ejecutable, es preciso establecer la clasificación deseada (Figura 4-77).

Así pues, como resultado, en la Figura 4-83 se observan manchas concéntricas que, mediante una escala de color, indican el porcentaje de tiempo durante el cual se ha superado la NCA correspondiente.

Esta metodología podría constituir, asimismo, un apoyo fundamental para el adecuado establecimiento, interpretación y definición de la **zona de mezcla** que, de acuerdo con la Directiva 2008/105/CE, habrá de definir cada Estado Miembro.

Por su parte, resulta muy útil también el establecimiento de la **probabilidad de rechazo** ya que permite conocer en términos probabilísticos en qué porcentaje de las ocasiones en que se llevara a cabo una inspección, por ejemplo, podría derivarse de ésta una sanción. Actualmente, este tipo de análisis se aplica en la determinación del cumplimiento de la normativa de calidad de aguas en términos de contaminación microbiológica. La normativa vigente en materia de sustancias prioritarias no establece restricciones de este tipo, se fundamenta en cumplimientos o incumplimientos, únicamente. No obstante, este tipo de análisis puede contemplarse como una alternativa interesante en el caso de que en un futuro llegara a ocurrir un cambio en la normativa incorporando este tipo de restricciones o, por si en un momento dado, el responsable de las aguas receptoras decidiera llevar a cabo inspecciones sobre los vertidos presentes en ellas con el objetivo de mantener la calidad de las mismas.

Al respecto del cumplimiento de la Norma de Calidad Ambiental establecida para sustancias prioritarias, de acuerdo con la Directiva 2008/105/CE, una masa de agua superficial cumple con los criterios de concentración media de la NCA cuando la media aritmética de las concentraciones medidas distintas veces durante el año, en cada punto de control representativo de la masa de agua, no excede de la norma. El cálculo de la media aritmética, el método de análisis empleado y, cuando no se disponga de un método de análisis adecuado que reúna los criterios mínimos de realización, el modo de aplicación de la NCA deberán ajustarse a los actos de ejecución por los que se adopten especificaciones técnicas para el control técnico y la calidad de los resultados analíticos, de conformidad con la Directiva 2000/60/CE.

Por su parte, con respecto a las sustancias consideradas como peligrosas, de acuerdo con la Ley 42/2007, el objetivo de calidad en agua se corresponde con la concentración media anual calculada como la media aritmética de los valores medidos en las muestras recogidas durante un año. El 75% de las muestras recogidas durante un año no deben exceder los valores de dicho objetivo de calidad y, en ningún caso, los valores encontrados pueden sobrepasar en más de un 50% el valor del objetivo de calidad establecido. Cabe comentar que para aquellos casos en los que la concentración sea inferior al límite de cuantificación, para calcular la media, debe utilizarse el límite de cuantificación dividido por dos. Con respecto al objetivo de calidad relativo a los sedimentos, la citada Ley únicamente estipula que la concentración de este contaminante no debe aumentar significativamente con el tiempo.

De este modo, para poder generar y visualizar los resultados correspondientes a la probabilidad de rechazo de una muestra bajo determinadas condiciones es necesario aplicar el siguiente procedimiento:

1. Para llevar a cabo el cálculo de la probabilidad de rechazo debe utilizarse el ejecutable "*norma.exe*" (disponible en el DVD adjunto) indicando desde una ventana de MSDOS la siguiente línea de instrucción: *norma n d > tablaP.txt*. Este programa calcula la probabilidad de obtener *d* muestras defectuosas (con concentración superior a la máxima admisible) cuando se toman *n* muestras de una población de *N* individuos sabiendo que existen *m* individuos defectuosos. A dicho suceso le corresponde la conocida distribución hipergeométrica. Este cálculo genera como resultado un fichero de dos columnas (*tablaP.txt*) que recoge la probabilidad de rechazo para las condiciones fijadas. De este modo, en la primera columna queda grabado el porcentaje de tiempo en el que se ha visto superada la NCA en cuestión y, en la segunda, la probabilidad de rechazo correspondiente.

Así, por ejemplo, si se quiere calcular la relación entre el porcentaje del tiempo de incumplimiento y la probabilidad de rechazo para un caso en el que se analizan 20 muestras y la normativa aplicable al caso indica que no se debe superar el objetivo de calidad en más de un 20% de las ocasiones, la instrucción que debe escribirse en la ventana MSDOS sería la siguiente: *norma 20 20 > tablaP.txt*.

2. Una vez terminada la ejecución, a partir de los resultados contenidos en el fichero .TXT, se puede interpolar el valor de tiempo de superación para los porcentajes de probabilidad de rechazo que se estimen oportunos. Suelen ser valores de interés las probabilidades de rechazo correspondientes al 1, 2, 5, 10, 20 y 50% (Figura 4-84).
3. De este modo, conocidos los porcentajes de tiempo de superación que se corresponden con las probabilidades de rechazo establecidas para el estudio, se procede a generar una doble leyenda para la visualización de los resultados. Después de haber generado el raster de tiempo de superación, por un lado, debe establecerse una escala de colores mediante intervalos clasificados (Figura 4-77) indicando como límite de cada intervalo los valores obtenidos de la interpolación anterior. Por otro lado, debe insertarse una leyenda con los valores de probabilidad para los cuales fueron obtenidos los valores interpolados. Así, por ejemplo, puesto que el resultado de la

interpolación para un 5 y un 10% de probabilidad de rechazo fueron 10.4540 y 12.7210 (Figura 4-84), respectivamente, los intervalos de clasificación deberán adoptar dichos valores mientras que en la leyenda deberá aparecer 5% y 10% (Figura 4-85) a fin de facilitar la lectura del mapa de resultados.

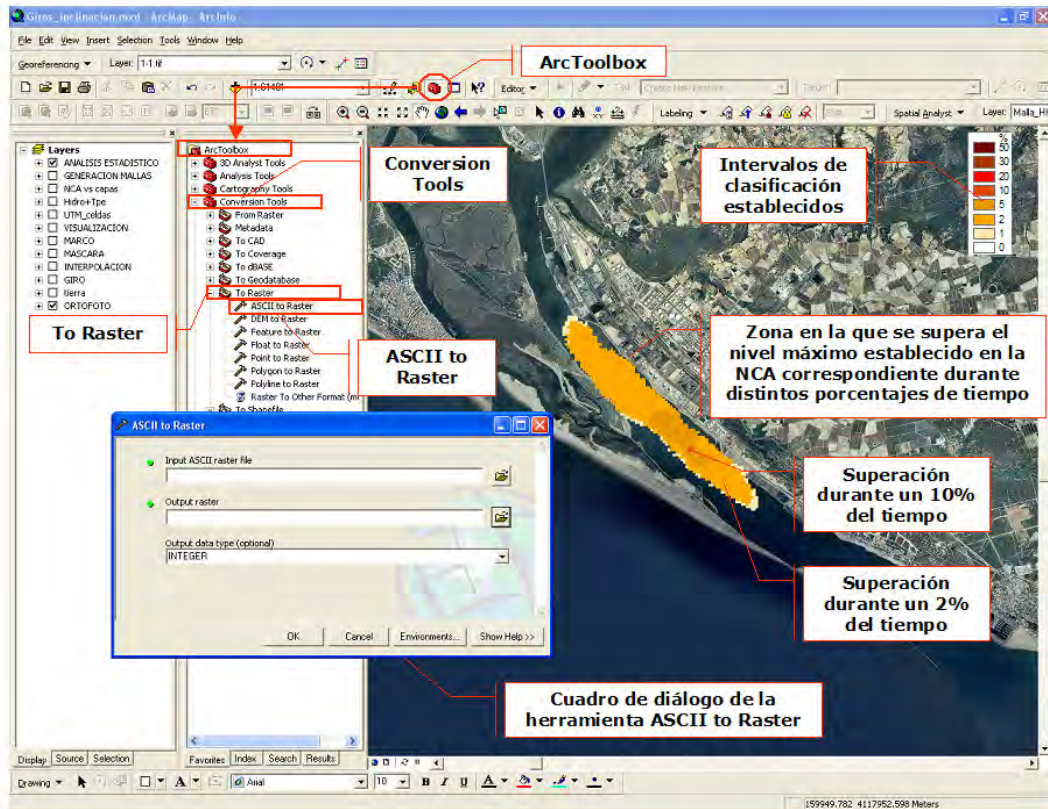
Por su parte, en cuanto a las herramientas de análisis estadístico que ofrece el SIG, la lista es larga y variada. No obstante, desde el punto de vista de la gestión de aguas estuarinas, con respecto a la recepción de vertidos que puedan contener sustancias prioritarias, se han seleccionado dos de ellas con un doble propósito, por un lado, describir el uso de ambas herramientas ya que, tal y como se ha dicho, se ha supuesto pueden resultar muy útiles en términos de la gestión de este tipo de masas de agua y, por otro lado, presentar una muestra de la enorme gama de posibilidades que brinda este Sistema.

La primera herramienta seleccionada se corresponde con un **análisis estadístico por celda**. Se ha considerado que este tipo de análisis puede resultar de interés en términos de la predicción o seguimiento de las variaciones de concentración de un contaminante en un punto determinado. Así pues, la herramienta "*Cell Statistics*" (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Local/Cell Statistics) permite calcular, para cada celda, los siguientes parámetros estadísticos: media, mediana, máximo, mínimo, mayoría, minoría, rango, suma, desviación estándar y varianza. El uso de esta herramienta requiere únicamente de la introducción de los distintos rasters de concentración generados a lo largo de la simulación y como resultado arroja un raster que contiene la información del parámetro estadístico seleccionado. De tal forma que, al pulsar cualquier celda de este último con la herramienta "*Identify*" en modo *<Visible layers>* se desplegará, para el punto concreto en el cual se esté haciendo la consulta, la información correspondiente a cada uno de los rasters de entrada y al raster calculado que contiene la información del parámetro estadístico seleccionado (Figura 4-86).

Por otro lado, se ha seleccionado la herramienta "*Zonal Statistics*" (ArcToolbox/Spatial Analyst Tools/Zonal/Zonal Statistics) que permite calcular parámetros estadísticos (media, mediana, máximo, mínimo, mayoría, minoría, rango, suma, desviación estándar y varianza) para una **zona especificada**. Para ello, es preciso indicar: el raster/polígono que delimita la unidad de gestión sobre la cual se quiere llevar a cabo el análisis estadístico (*Input raster or feature zone data*), el campo del raster/polígono anterior que se tomará en consideración para llevar a cabo el análisis estadístico (por defecto se carga automáticamente "*Zone field*"), el raster que contiene la información general a partir de la cual se llevará a cabo el análisis estadístico (*Input value raster*), el nombre y localización de

almacenamiento para el raster que se generará como resultado (*Output raster*) y el parámetro estadístico que se desea calcular (*Statistic type*).

Al igual que en el caso anterior, la herramienta "*Identify*" permite conocer el resultado obtenido para la zona seleccionada (Figura 4-87).



**Figura 4-83. Visualización del tiempo de superación de la concentración máxima admisible de acuerdo con una NCA.**

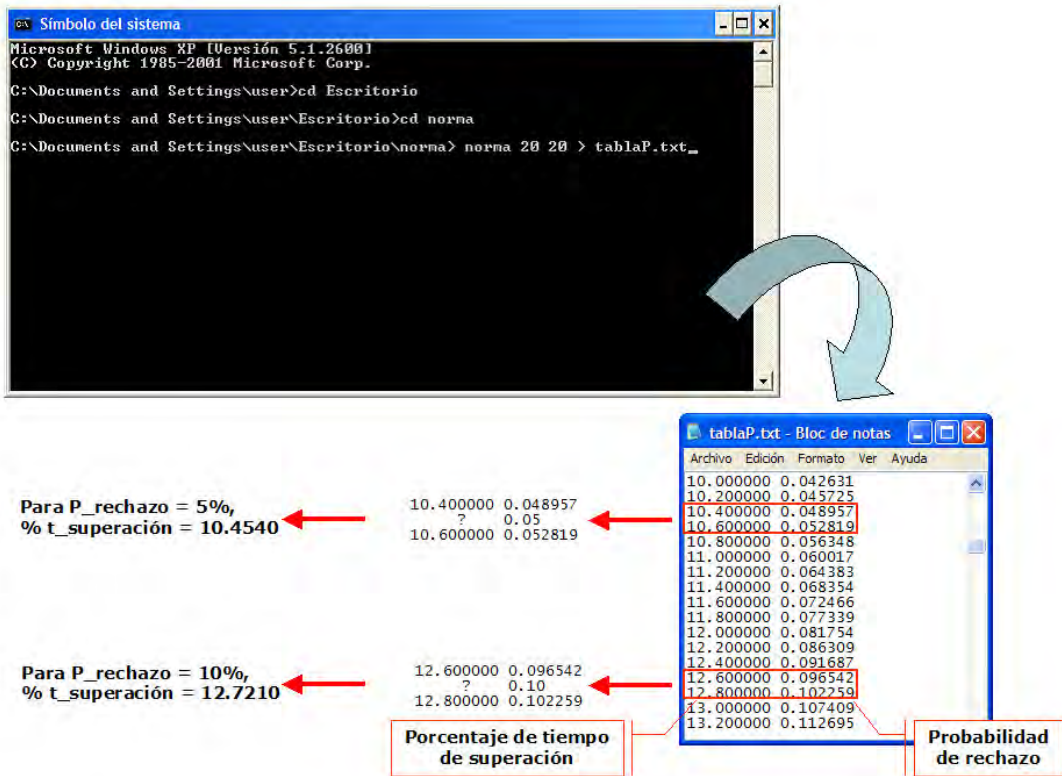


Figura 4-84. Establecimiento de los límites de los intervalos de clasificación para la visualización de la probabilidad de rechazo.

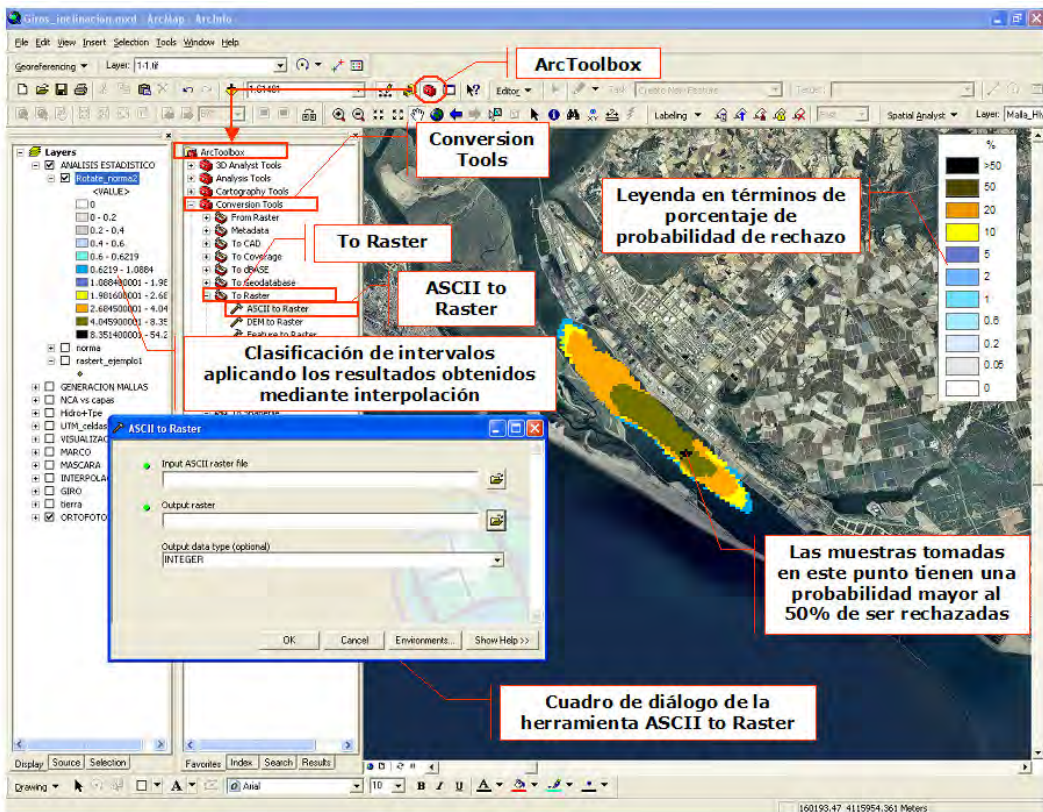


Figura 4-85. Establecimiento de los intervalos de clasificación y leyenda para la visualización de la probabilidad de rechazo.

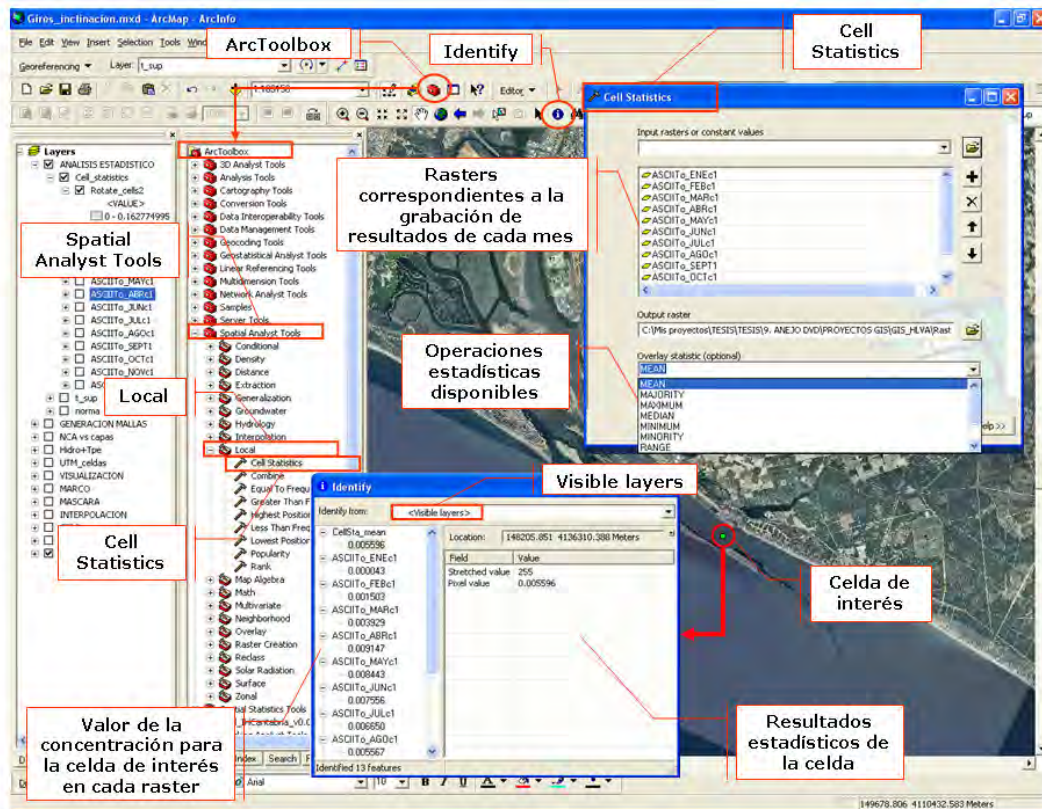


Figura 4-86. Análisis estadístico por celda ("Cell Statistics").

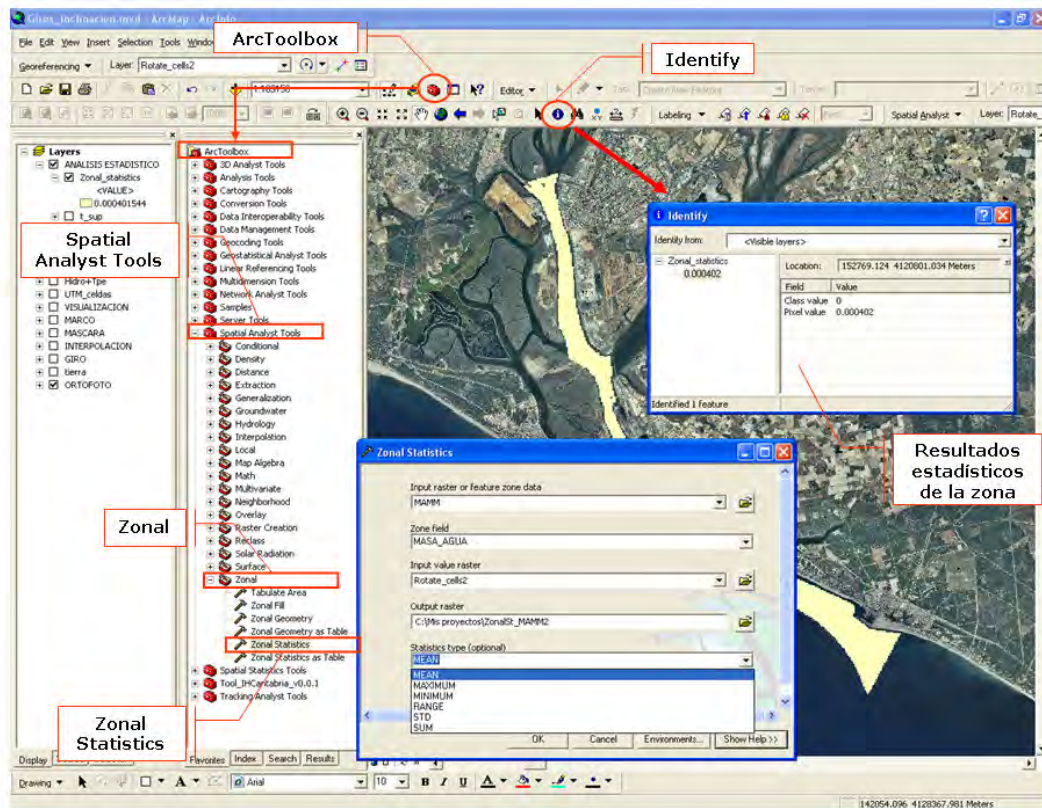


Figura 4-87. Análisis estadístico por zona ("Zonal Statistics").



#### **4.4.4. Superposición de distintas capas de información**

Como ya se ha venido comentando, si bien la aplicación más directa de las ventajas que ofrece un entorno SIG en términos de la superposición de información es la posibilidad de solapar capas de datos con la ortofoto de la zona de estudio, dista mucho de ser la única. De hecho, a nivel de gestión, esta posibilidad puede extenderse tanto como la creatividad del gestor de acuerdo con las necesidades específicas que exhiba cada caso concreto. Así pues, aquí se presentan algunas otras aplicaciones que pueden resultar muy útiles desde esta perspectiva.

##### **4.4.4.1. Establecimiento de puntos de control y puntos de vertido/muestreo**

Tal y como se ha comentado, el modelo desarrollado es capaz de generar resultados que muestren la variación temporal en determinados puntos de la malla. Estos puntos se denominan puntos de control y, en principio, deben ser establecidos con arreglo a las estaciones de muestreo y a los puntos de vertido existentes en la realidad, puesto que de este modo, es posible contar con un continuo control sobre el desempeño del modelo numérico.

Una vez que el modelo ha sido calibrado y validado, es posible suprimir algunas estaciones de muestreo, no obstante, resulta imprescindible mantener, en todo caso, algunas de ellas en puntos estratégicos a fin de poder contrastar los datos reales con los simulados. Obviamente, esta reducción en el número de estaciones de muestreo se traduce en una significativa disminución de los costes de las campañas.

De este modo, a fin de obtener la información correspondiente a las estaciones de muestreo que se hayan juzgado prescindibles y que, por tanto, hayan sido suprimidas, es necesario establecer puntos de control que se correspondan con la ubicación de dichas estaciones a fin de que éstos aporten la información que podría haber arrojado el análisis experimental del medio.

A pesar de que esta alternativa, obviamente, representa una apreciable ventaja económica, tiene el inconveniente de que el modelo desarrollado se maneja en celdas, mientras que la información correspondiente a las estaciones de muestreo y a los puntos de vertido suele estar referida en coordenadas. En este sentido, el uso de un entorno SIG permite solventar esta discrepancia de una manera muy sencilla que, además, permite al gestor intuir cual será la mejor estrategia para llevar a cabo la distribución

de los puntos de control. Para ello, es preciso dar seguimiento al procedimiento que se detalla a continuación:

1. Generar una capa de puntos que contenga la información necesaria para establecer la equivalencia entre celdas y coordenadas a lo largo de toda la malla de estudio de acuerdo con el procedimiento descrito en el Epígrafe 4.2.2.4.
2. Por otro lado generar un fichero .XLS de tres columnas en el siguiente orden: coordenada UTMX, coordenada UTMY y código de la estación de muestreo o del vertido. Este fichero debe cargarse al proyecto SIG mediante el submenú "Add XY Data" del menú "Tools" seleccionando la hoja de cálculo que contiene la información y las columnas que deben alimentar a los campos X e Y. Asimismo, es preciso establecer el sistema de coordenadas acorde al proyecto (Figura 4-37).
3. Solapar ambas capas de información sobre una ortofoto de la zona de estudio y con la herramienta "Identify" pulsar directamente sobre los puntos de muestreo o los puntos de control asegurándose de que en el cuadro de diálogo que despliega dicha herramienta aparece seleccionada la opción <Visible layers>, de este modo, se obtendrá simultáneamente la información del punto de muestreo o vertido y de la celda con la que se corresponde (Figura 4-88).

Así pues, tal y como puede observarse en la Figura 4-88 el gestor puede identificar rápidamente que la estación de muestreo consultada (estación P1) se corresponde con la celda (67,81) de acuerdo con la información desplegada por la herramienta "Identify". Asimismo, esta superposición de información permite establecer puntos de interés en función tanto de la distribución de los vertidos y de las estaciones de muestreo, como de las características fisiográficas de la zona de estudio, entre otros. Esto permite conocer, de forma paralela, las celdas que habrán de definirse para llevar a cabo la ejecución del modelado numérico y que servirán como los puntos de control adicionales previamente mencionados.

#### **4.4.4.2. Superposición de resultados hidrodinámicos y de transporte**

En ocasiones, resulta de interés conocer las condiciones precisas de las corrientes de marea en un instante determinado para poder explicar o evaluar adecuadamente el transporte y destino que sufre una sustancia contaminante en el medio. Así, por ejemplo, puede explicarse que dentro de una unidad de gestión acuática, en un instante determinado, correspondiente a una marea llenante, se observe un aparente aumento de la concentración de una sustancia que en realidad está experimentando procesos de degradación debido a que parte de la concentración dispersada hacia el exterior de la unidad de gestión puede volver a ella por efecto de la marea.

Si bien es cierto que dicha explicación gráfica puede ser obtenida por otro tipo de software, las ventajas adicionales de visualización que ofrece un entorno SIG hacen que su uso sea altamente recomendable, sobre todo, en el caso de que el conocimiento de toda la información asociada a cada celda resulte de interés para el gestor.

En la Figura 4-89 se muestran los resultados de la simulación de la dispersión de un trazador conservativo en la Ría de Huelva para dos instantes de tiempo diferenciados por un mes de simulación. Aparentemente, el alcance de la sustancia contaminante dentro de la Ría es mayor tras un mes de simulación. Esto puede explicarse de forma muy clara solapando la información correspondiente a la concentración del trazador conservativo con la de las corrientes de marea, para ello, puede recurrirse a software tipo Surfer o Matlab. Así pues, puede observarse que en el primer instante (Figura 4-89 izq.), se presenta una marea llenante que, de alguna manera, impide el avance de la mancha de trazador. En contrapartida, para el otro instante (Figura 4-89 dcha.), la marea vaciante ayuda a dispersarlo hacia la desembocadura de la Ría.

Tal y como se ha comentado, distintos tipos de software permiten llevar a cabo tal representación, no obstante, el uso de un entorno SIG permite, asimismo, la superposición simultánea con otro tipo de información, como por ejemplo, la profundidad de cada celda. De este modo, para el caso presentado, es posible conocer el módulo y el ángulo de la corriente de marea, la concentración de trazador conservativo y la profundidad de cada celda utilizando la herramienta "Identify" previamente descrita. Además, tal y como puede observarse en la Figura 4-90, es posible establecer, además de la graduación del tamaño del símbolo, una gama de colores para distinguir el cambio de intensidad en el módulo de las corrientes de marea.

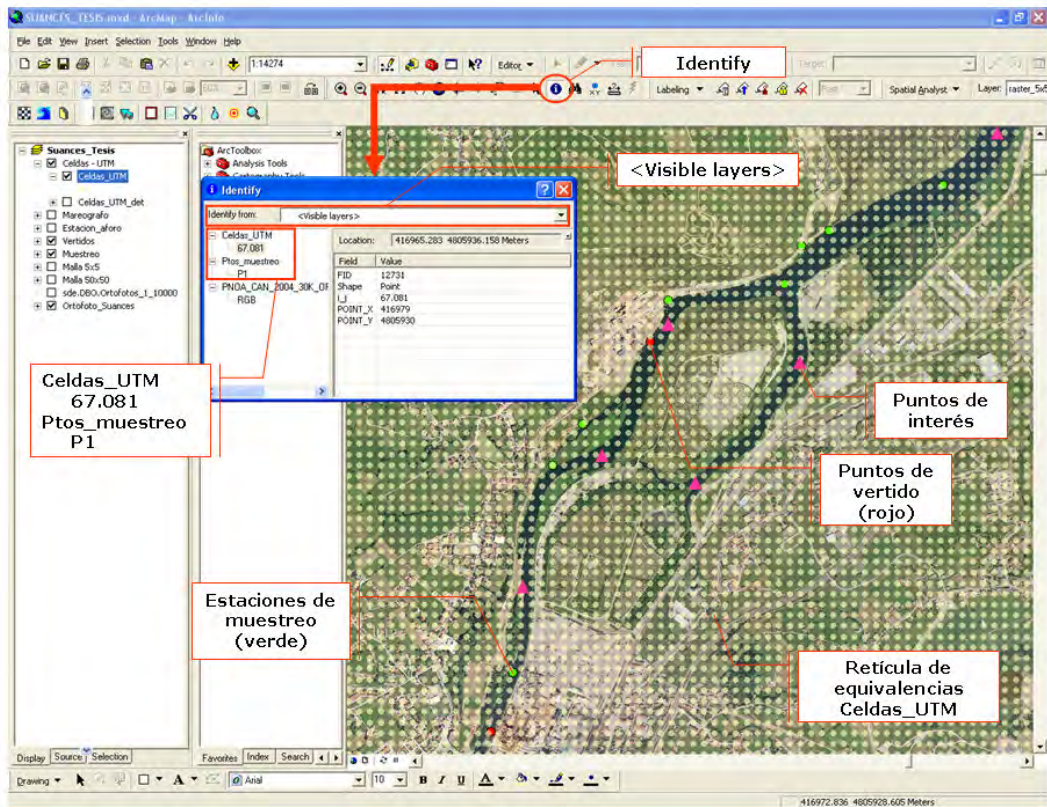


Figura 4-88. Superposición de información de puntos de control, estaciones de muestreo y puntos de vertido.

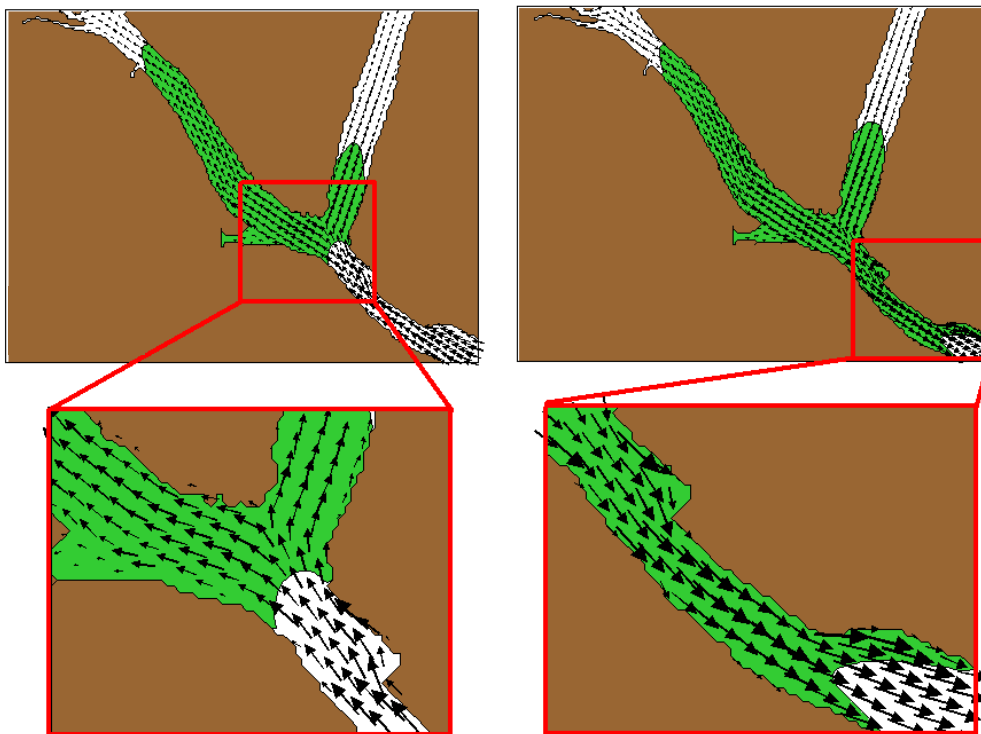


Figura 4-89. Superposición de información hidrodinámica y de transporte en un software convencional.

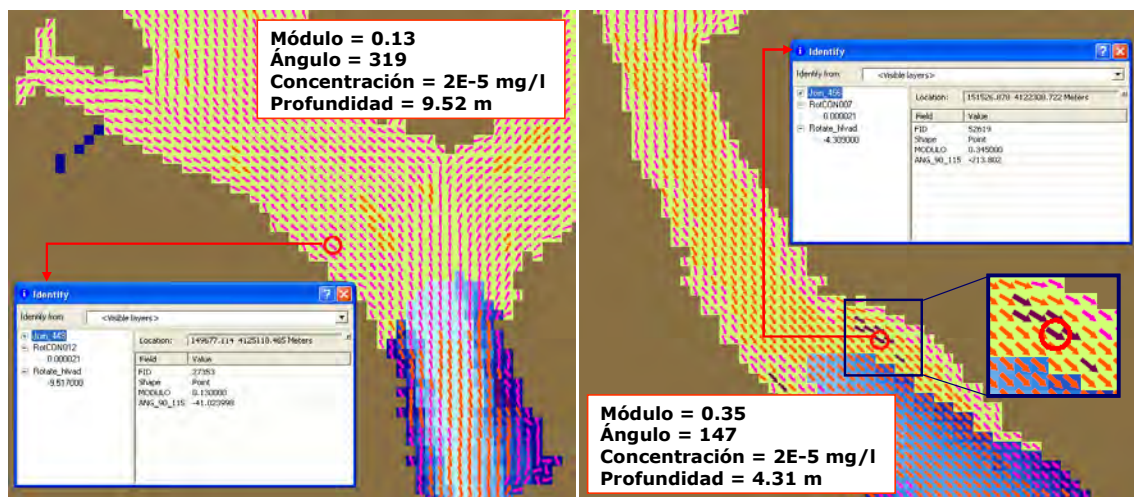


Figura 4-90. Superposición de información hidrodinámica y de transporte en un entorno SIG.

#### 4.4.4.3. Establecimiento de distintas estrategias de gestión

Habitualmente, las Normas de Calidad Ambiental (NCA) están referidas a determinados tipos de aguas receptoras, de tal forma que, no se aplican los mismos límites para determinar la concentración máxima admisible en aguas superficiales continentales que en otro tipo de aguas superficiales. Asimismo, la presencia de zonas de baño, zonas dedicadas a la producción de moluscos, Lugares de Interés Comunitario (LICs) y Zonas de Especial Protección para Aves (ZEPAs), podrían exigir la aplicación de NCAs específicas que, a su vez, podrían resultar más restrictivas. Por tal motivo, a efectos de gestión, la superposición de la información del grado de cumplimiento de las NCAs con las capas correspondientes a las zonas protegidas previamente mencionadas y a las distintas masas de agua (muy modificadas o no modificadas) representa una ventaja considerable.

A modo de ejemplo, en la Figura 4-91 se presenta un caso ficticio que muestra una zona en la que, debido al vertido de una sustancia contaminante, se incumple la NCA correspondiente. No obstante, tal incumplimiento no afecta por igual a las distintas zonas adyacentes, puesto que la susceptibilidad de éstas varía de acuerdo con sus características. En este sentido, la superposición de información permitiría desarrollar la estrategia más oportuna de gestión puesto que no se requieren de las mismas medidas, en términos de intensidad, urgencia e importancia, para gestionar eficazmente la afección a zonas protegidas y la que se observa dentro de la Zona I del Puerto de Huelva considerada como masa de agua modificada.

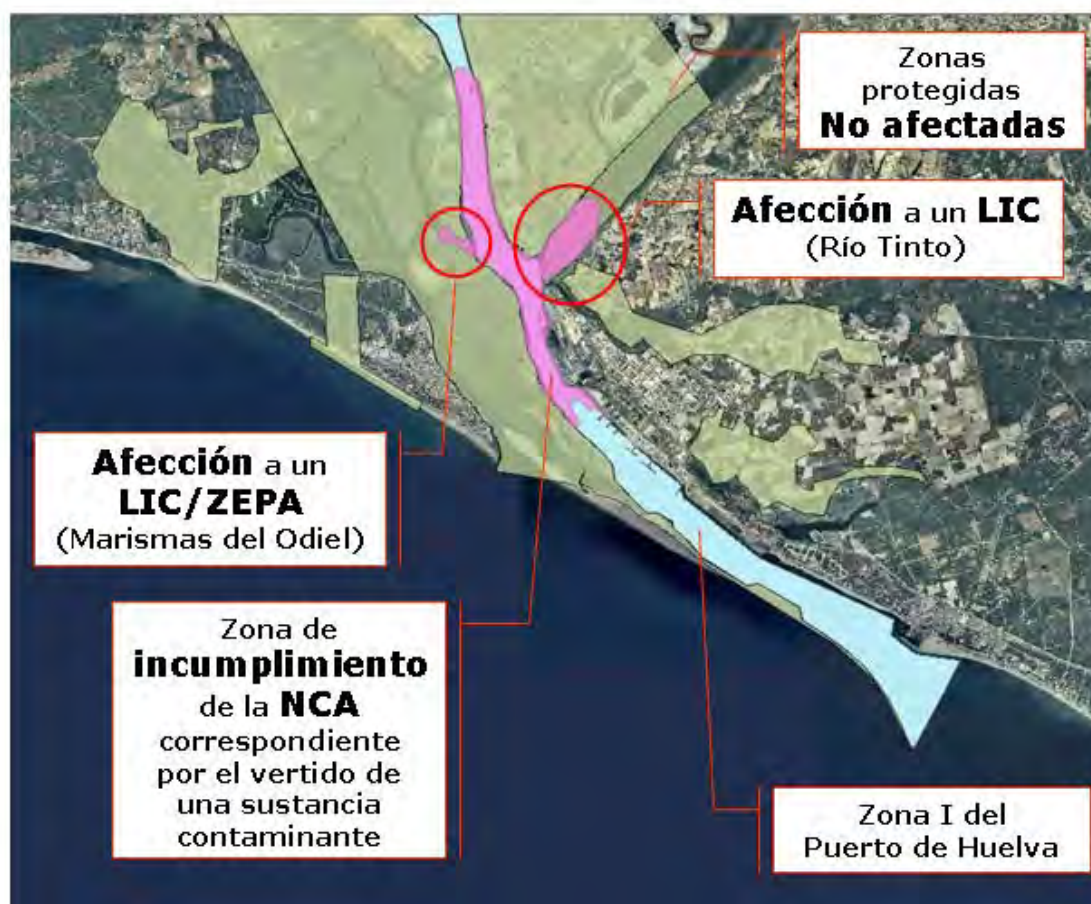


Figura 4-91. Superposición de información proveniente de modelos de transporte con capas de información propias de un entorno SIG.

## 4.5. CONCLUSIONES

Sin duda, la integración de los modelos numéricos en un entorno SIG amplía el abanico de posibilidades tanto de gestión, como de visualización de los resultados generados por éstos. De hecho, este Sistema ofrece muchas más posibilidades de las que han sido expuestas en este capítulo. Éstas tan sólo representan una pequeña muestra de la infinidad de opciones y herramientas que un gestor puede hallar en un entorno SIG para facilitar el desarrollo del trabajo específico que esté llevando a cabo.

Si bien es cierto que algunos de los procedimientos metodológicos descritos a lo largo de este capítulo pueden parecer, en principio, algo complejos y extensos, resultan sumamente sencillos una vez que el usuario se ha familiarizado con ellos. No obstante, cabe mencionar que los procedimientos descritos pueden ser automatizados dentro de ArcGIS Desktop, en forma de scripts o herramientas. Para ello se puede utilizar el lenguaje de

programación Python y/o diseñar visualmente flujos de trabajo mediante la herramienta ModelBuilder, integrada en el entorno de ESRI. Asimismo, dentro de los scripts, es posible utilizar los geoprosesos incluidos en la librería nativa de ESRI (arccgisscripting) o añadir otros componentes (p.ej. enlaces o "bindings" para Python de software de análisis de imágenes, software estadístico, etc.).

Del análisis en detalle los procedimientos de integración del modelo desarrollado, así como los procedimientos de visualización de resultados generados dentro o fuera del entorno SIG se han obtenido las siguientes conclusiones:

- El trabajo y dedicación que requiere la generación de una buena malla de cálculo justifica que si se cuenta con una malla generada fuera del entorno SIG se lleven a cabo las transformaciones necesarias para su aprovechamiento. No obstante, si la malla de cálculo debe ser generada, se recomienda hacerlo desde el entorno SIG puesto que la fidelidad que ésta adquiere con respecto a la realidad física es ostensiblemente mayor.
  
- Asimismo, se recomienda que en las mallas de cálculo que se generen, se establezca, por defecto, el origen en la esquina inferior izquierda puesto que es este el sistema de referencia utilizado por el SIG.
  
- Sería recomendable mejorar la vinculación entre la interfaz de visualización de capas que ofrece el SIG y los gráficos generados dentro de éste a fin de que al pulsar sobre un punto pudiese desplegarse el gráfico asociado a éste sin necesidad de acceder al gestor de gráficos.

Finalmente y, al margen de las conclusiones obtenidas, cabe plantear una última reflexión con respecto al mejor método o sistema de integración de los modelos numéricos en un entorno SIG.

Por un lado, se cuenta ya con la experiencia previa aportada por AQUALAB 2.0 que, aún en su temprana fase de desarrollo, logró la obtención de buenos resultados presentando tres fortalezas principales: i) el control de la información evitando pérdidas o confusiones de ficheros, ii) la organización y simplificación de algunos procedimientos tales como la generación de la onda de marea o el ajuste de la información batimétrica con respecto al nivel medio del mar y, iii) la automatización de algunos

procesos. No obstante, a través de dicha experiencia, ha sido posible detectar, asimismo, ciertas debilidades en esta herramienta tales como: i) la rigidez absoluta con la cual maneja la información manifestada en problemas de seguimiento de rutas si el proyecto cambia de ordenador o incluso de carpeta, ii) únicamente está preparado para trabajar con mallas que no presenten ningún ángulo de inclinación con respecto al norte, iii) requiere de programación especializada cada vez que se quiera integrar un modelo nuevo y iv) requiere de una instalación especial.

Por otro lado, los procedimientos de integración desarrollados en este capítulo han permitido obtener los mismos resultados, pero a diferencia de AQUALAB 2.0, siempre abiertos al usuario, con lo cual, si bien existe un mayor riesgo de confusión de la información utilizada como datos de alimentación, resulta mucho más flexible y, permite que, aún de forma manual, cualquiera de estos procedimientos pueda ser llevado a cabo en cualquier ordenador que disponga de ArcMap.

En este sentido, se ha considerado que la opción más viable no es la continuidad de AQUALAB 2.0 tal y como fue concebido por sus diseñadores, ni la aplicación de los procedimientos de integración desarrollados en forma independiente y manual, tal y como ha sido descrito a lo largo de este capítulo. Se ha considerado que la mejor opción se encuentra, como es habitual, en el justo medio, es decir, en realizar un esfuerzo futuro para programar todos estos procedimientos como rutinas integrables al entorno SIG de tal forma que puedan aplicarse en forma automática tal como si fueran "nuevas herramientas" propias de dicho Sistema.