

APLICACIÓN DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) PARA EL CÁLCULO DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE): CUENCA DE GUADALFEO (GRANADA)



Carlos Rodríguez López

Sevilla, Julio 2006

carlosrodriguezlopez82@hotmail.com

1.- INTRODUCCIÓN

La valoración de la erosión en las cuencas hidrográficas es un aspecto clave en su gestión. La clasificación de la cuenca en función del riesgo a la erosión determina las zonas prioritarias de protección.

La Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) es el modelo más aplicado en el cálculo de la erosión hídrica. Desde el origen de su formulación, se han expuesto una serie de modificaciones a la ecuación original, pero todas mantienen un esquema en común, donde la erosividad de la lluvia, la pendiente, la longitud de la ladera, la erosionabilidad del suelo, los usos del suelo y las prácticas de conservación son los factores que condicionan la tasa de erosión anual.

En este sentido, los SIG son herramientas útiles en el análisis de la erosión. Éstos resuelven la USLE mediante la superposición de los distintos factores implicados a una escala de mayor detalle y con menor consumo de tiempo que los métodos tradicionales.

2.- OBJETIVOS

La organización temática del presente proyecto pretender ahondar en los conocimientos acerca de la Ecuación Universal del Pérdida del Suelo como herramienta en la gestión de la erosión en la Cuenca del Guadalfeo (Granada) y en el cálculo de dicha ecuación a través de los Sistemas de Información Geográfica

En base a lo anterior, los objetivos que persiguen el presente documento son:

- Detallar las características ambientales de la Cuenca del Guadalfeo, con especial interés de aquellas que sean factores en la ecuación.
- Aportar bases teóricas sólidas dentro del marco de la USLE.
- Resolver la USLE utilizando ArcGIS™.
- Clasificar la cuenca del Guadalfeo según su vulnerabilidad frente la erosión

3.- ZONA DE ESTUDIO

La Cuenca del Guadalfeo se localiza en la falda meridional de Sierra Nevada (Granada) y presenta una superficie de 1295 km². Las principales regiones geográficas que la integran son: La Alpujarra, El Valle del Lecrín y La Costa del Sol. Esta cuenca se caracteriza fundamentalmente por la heterogeneidad de las variables ambientales.

El clima de la cuenca es de tipo mediterráneo. La temperatura media anual ronda los 15 °C. Enero, con 8,7°C, es el mes más frío y agosto, con 23,8 °C, es el mes más cálido. La pluviometría media en su conjunto es de 573 mm/año. El mes más húmedo es Diciembre, con 89 mm, y los meses más secos son julio y agosto, con 3 mm. Existe una buena correlación entre la altura y la temperatura; pero no ocurre lo mismo con la precipitación.

El relieve es muy abrupto, las cotas varían entre 3.481 m. (Mulhacén) y el nivel del mar. El 41% de la superficie total de la cuenca posee alturas comprendidas entre 700 a 1.300 m. Concretamente, la franja altimétrica que ocupa mayor superficie es la de 800 a 900 m, un 8,53 % del total.

La Cuenca del Guadalfeo se sitúa geológicamente en las Cordilleras Béticas, dentro del Dominio del Alborán o Zona Interna. La Zona Interna se constituye, a su vez, por tres conjuntos superpuestos, del inferior al superior son: Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide. Tanto el Complejo Nevado-Filábride como el Alpujárride afloran ampliamente en la zona de estudio. Sobre los complejos del Dominio de Alborán se encuentra una cobertura sedimentaria, en la que los primeros sedimentos son del mioceno inferior.

El río Guadalfeo presenta una longitud de 75 km. con una pendiente media del 8,42 %, desde su nacimiento, en Bérchules, hasta su desembocadura en el Mar Mediterráneo. La vertiente sur del macizo de Sierra Nevada presenta dificultades de regulación hidrológica y un escaso poder de almacenamiento de las aguas, de ahí la existencia de múltiples acequias. Por otro lado, existen dos grandes obras de regulación: la presa de Béznar (en el río Ízbor) y la de Rules (en el Guadalfeo).

Los acuíferos de la cuenca del Guadalfeo se incluyen en la unidad hidrogeológica denominada Sierras de Almiar-Padul-Lújar. El acuífero, de entidad regional, corresponde a la formación carbonatada alpujárride. En términos generales, la responsable de la permeabilidad del acuífero es la intensa fracturación. Las subunidades hidrogeológicas principales de la zona de estudio son: Sierra del Padul, Sierra Albuñuelas, Sierra de Almiar-Las Guájaras, Sierra de Lújar y Sierra de Escalate. Los acuíferos detríticos de mayor importancia son: el cuaternario de Motril-Salobreña y el de la depresión de Padul.

En la cuenca de estudio predomina el pastizal-erial (36% de la superficie), donde destacan las zonas sin vegetación por roturación. La cuenca ha experimentado dos grandes incendios, uno en el paraje del Barranco del Algarrobo que afectó a una superficie forestal de 1.190 Ha (agosto de 2000), y otro en Lanjarón con un total de superficie calcinada de 2.600 Ha. (septiembre del 2005). El uso agrícola (34,6 %) ocupa el segundo lugar, los cultivos de secano, cereales y arborescentes (vid, almendro y olivo), son los más comunes. El tercer gran grupo es el uso forestal (con un 28%), en éste destaca el matorral disperso con quercíneas. Existen tres manchas forestales importantes: vertiente meridional de Sierra Nevada, Sierra de Contraviesa y Sierra de Almiar y Tejeda.

4.- LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DEL SUELO (USLE)

La Ecuación Universal de Pérdida del Suelo se define como un modelo paramétrico donde se aíslan las variables causantes de la erosión y como resultado se obtiene una apreciación cuantitativa del grado de erosión. A su vez, es un modelo cualitativo donde se pone en evidencia la influencia de cada factor y se determina el factor con mayor relevancia en cada caso concreto para actuar sobre él. Todos los datos se refieren al horizonte superficial.

La ecuación se expresa:

$$A = R \times L \times S \times K \times C \times P$$

Siendo:

A = Media anual del pérdida del suelo (Tm/Ha·año)

R = Factor de erosividad. ($\text{J/m}^2 \cdot \text{cm/h}$)

L = Factor de longitud de la pendiente (m)

S = Factor de inclinación de la pendiente (%)

K = Factor de erosionabilidad ($\text{Tm} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{h/Ha} \cdot \text{J} \cdot \text{cm}$)

C = Factor de cultivo (adimensional)

P = Factor de conservación (adimensional)

Las ventajas de un modelo de aplicación universal residen en los caracteres que la definen como una fórmula de concepción general frente a cualquier experiencia de significado local. Además, de la posibilidad de extrapolar de los resultados gracias a su base estadística robusta, manifestándose en este sentido la voluntad de permanencia como modelo.

La validación del modelo es fundamental para la correcta aplicación del mismo, lo que requiere la instalación de parcelas experimentales en la zona de estudio, previendo su operatividad para varios años de toma de datos. Desafortunadamente se carece de información de este tipo.

Los datos cuantitativos deben tomarse con cautela, aunque desde el punto de vista cualitativo (zonas con mayor riesgo de erosión) el modelo demuestra gran utilidad.

5.- METODOLOGÍA SIG PARA EL CÁLCULO DE LA USLE

La unidad mínima de análisis en la zona de estudio es la celda de 100 x 100 m. El sistema de coordenadas utilizado es el WGS-1984-UTM-Zona-30N.

El software utilizado es ArcGis 9.1.TM con nivel de licencia ArcInfo. Y para todos los análisis realizados se ha activado la extensión Spatial Analyst.

Los datos de entrada utilizados son:

- Modelo Digital de Elevaciones de Andalucía (1999). Píxel: 100 m. (Junta de Andalucía, 1999)
- Usos de Suelo de Andalucía (1999).
- Geología de Andalucía (1985)
- Ortofotografía Digital de Andalucía (Color), vuelo fotogramétrico 1:60000 (1998 -1999). Resolución 1 metro. (Junta de Andalucía, 2003)
- Valores de R proporcionados por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2006)

5.1.- FACTOR R

Muchos autores simplifican este factor a una constante para toda el área analizada, por ejemplo en Mitosova y Mitas (1999). Otros calculan este factor a partir de la energía de las gotas y la intensidad de la lluvia, apoyándose en la tabla de energía proporcionada por Wischmeier y Smith (1958), por ejemplo en Agrawal, Dikshit y Ghose (2003). En nuestro estudio se realiza una interpolación de datos puntuales del factor R.

Los datos de partida son los valores de R ofrecidos por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPYA) para la cuenca del Guadalfeo (tabla 5.1). Estos valores son análogos a los utilizados en otros trabajos (Rodríguez, Florentino, Gallardo, *et al*; 2004). Además, los valores del MAPYA se ajustan a los de los polígonos generados a partir de las isolíneas de Thuner (ICONA, 1998) (figura 5.1)

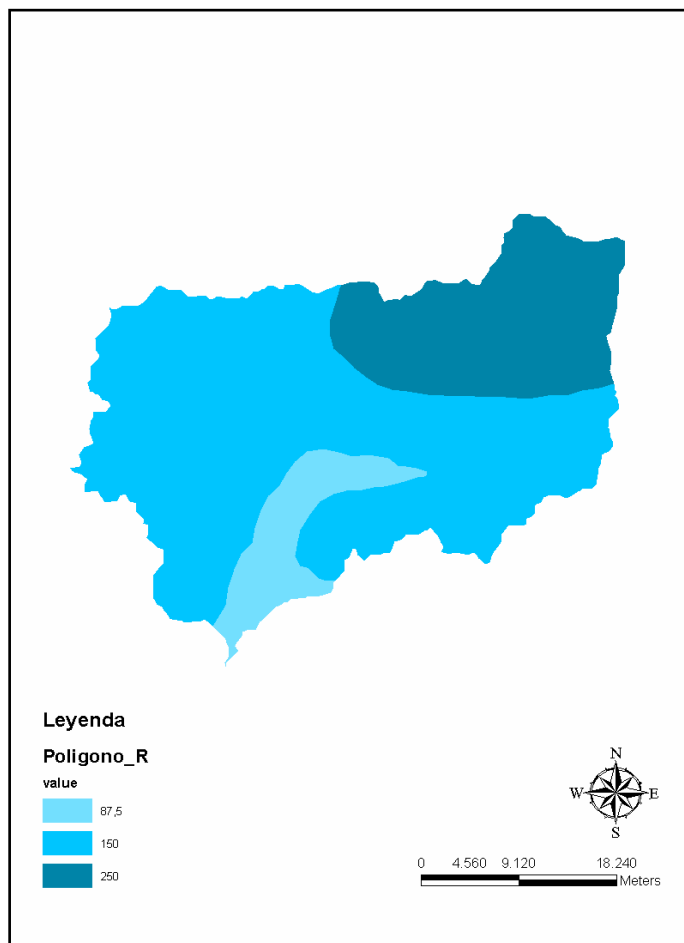


Figura 5.1: Polígonos generados a partir de las isolíneas de R Thuner que pasan por la cuenca del Guadalfeo (modificado de ICONA, 1998)

De todos los valores de R iniciales, se eliminó aquel que presentó un valor sencillamente anómalo respecto a la tendencia general observada. Este valor corresponde con la estación de Sierra Nevada.

Nombre	R Mapya	Altitud(m)	Lat.(º)	Lat.(')	Long. (º)	Long. (')
Dílar 'central eléctrica'	127,5	980	37	4	3	32
Dílar 'el toril'	117,3	990	37	3	3	34
Albuñuelas 'huida'	198,0	1120	36	53	3	43
Lentegi	212,8	631	36	50	3	40
Otivar sequero lenteg	192,7	266	36	48	3	41
Bérchules	152,3	1319	36	58	3	11
Cádiar	150,6	916	36	56	3	10
Torvizcon	128,9	684	36	52	3	17
Trevélez	195,1	1476	37	0	3	16
Portugos	169,1	1120	36	56	3	17
Poqueira 'central eléctrica'	215,1	1530	36	57	3	21
Pampaneira 'central'	140,4	1000	36	56	3	21
Orgiva 'Sierra de Lújar'	219,8	1842	36	49	3	24
Soportujar 'casa forestal'	169,7	1700	36	57	3	24
Orgiva	136,1	450	36	54	3	25
El Padúl	70,5	753	37	1	3	37
El Padúl 'aguadero'	72,7	740	37	1	3	35
Dúrcal 'presa'	156,0	1800	37	2	3	28
Dúrcal 'central'	85,9	890	37	0	3	33
Nigüelas	84,8	931	36	59	3	32
Lanjarón	100,7	710	36	55	3	29
Guajar 'fondon'	140,8	262	36	50	3	34
Presa de Vélez Benaudalla	91,6	235	36	50	3	34
Vélez de Benaudalla 'central'	113,7	130	36	50	3	30
Itrabo	145,8	390	36	48	3	38
Molvizar	110,5	220	36	47	3	36
Salobreña 'guadalfeo'	94,5	50	36	44	3	34
Albuñol a orjiva c p c	126,3	1240	36	48	3	18
Mecina bombaron	142,4	1200	36	58	3	9

Tabla 5.1: Valores del R MAPYA y su localización (www.mapya.es)

En primer lugar se pasan todas las coordenadas geográficas correspondientes a las estaciones pluviométricas de notación sexagesimales a decimal. Estas se introducen en un archivo de texto (tabla 5.2), separando las coordenadas X e Y con el tabulador. A las coordendas X se le añade el signo negativo (-) que indica que la zona de estudio se encuentra al oeste del meridiano de referencia de Greenwich.

X	Y
-3,716	36,883
-3,683	36,733
-3,7	36,8
-3,666	36,833
-3,683	36,8
-3,666	36,766
-3,183	36,966
-3,166	36,933
-3,283	36,866
-3,266	37
-3,283	36,933
-3,35	36,95
-3,35	36,933
-3,4	36,816
-3,4	36,95
-3,416	36,9
-3,616	37,016
-3,583	37,016
-3,466	37,033
-3,55	37
-3,533	36,983
-3,616	36,916
-3,483	36,916
-3,566	36,833
-3,5	36,833
-3,633	36,8
-3,6	36,783
-3,566	36,733
-3,3	36,8

*Tabla 5.2: Archivo de texto con las coordenadas de
cada estación*

Independientemente del sistema de coordenadas original de las estaciones pluviométricas, el shapefile obtenido se proyecta en el sistema de coordenadas de análisis. En la capa de estaciones se crea un nuevo campo en su tabla de atributos con sus respectivos valores de R (www.mapya.es). A continuación, se procede a la interpolación de esos valores para el resto de la cuenca. Tras realizar una serie de pruebas con los distintos métodos de interpolación que ofrece el software se opta por el método que más se adecua a la orografía de la zona: “Spline” (Spline type = Tensión).

Éste trata de ajustar una ecuación a nuestros puntos originales de forma que coincidan exactamente con ellos, asegurando la continuidad en la unión de las diferentes curvas. La opción “Tensión” ajusta la rigidez de la interpolación al carácter del fenómeno que lo modela.

El raster resultado de la interpolación se simboliza de forma clasificada por sus “natural breaks” y se utiliza como “plantilla” para editar las isolíneas de valores de R para toda la cuenca. La extensión de la interpolación no alcanza la cumbre de Sierra Nevada, en estas zonas las isolíneas se digitalizan siguiendo de las curvas de nivel. A la tabla de atributos de este polígono se le añade un nuevo campo para los valores de R, éstos corresponden al valor medio de las isolíneas de R que lo delimitan.

Los mayores valores del factor R ($230 \text{ J/m}^2 \cdot \text{cm/hora}$) se localizan en las grandes formaciones montañosas: Sierra Nevada, las Sierras de los Guájares y el Chaparral, y la Sierra de Contraviesa. Mientras que los valores menores ($88 \text{ J/m}^2 \cdot \text{cm/hora}$) corresponden con las depresiones intramontañosas: Valle del Lecrín y Costa del Sol (mapa 1).

El valor más frecuente de R en la cuenca es de $123,4 \text{ J/m}^2 \cdot \text{cm/h}$ que ocupa más del 25% de la misma (tabla 5.3 y figura 5.2). La media de ponderada de R es de $148,47 \text{ J/m}^2 \cdot \text{cm/h}$.

R_mapya	Area(Ha)	%
88,12	23758,45	18,40
123,64	35665,18	27,62
155,57	32524,37	25,19
191,09	24297,87	18,82
230,20	12886,89	9,98
TOTAL	129132,76	100,00

Tabla 5.3: Área y porcentajes de los valores del factor R

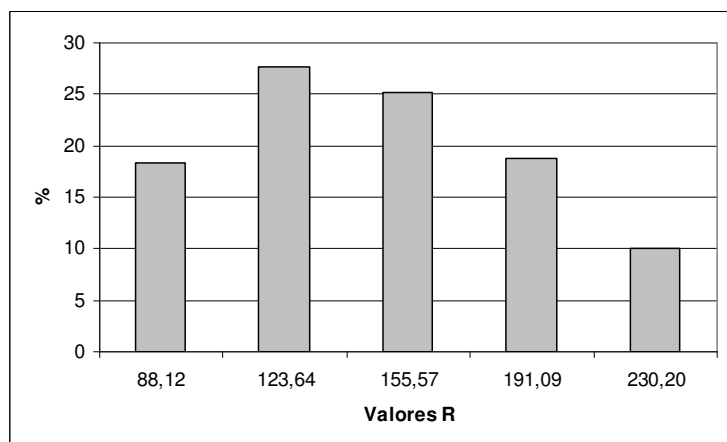


Figura 5.2: Frecuencia de los valores del factor R

A continuación se expone en un diagrama de flujo (figura 5.3), la secuencia de operaciones SIG a realizar para obtener el factor de R.

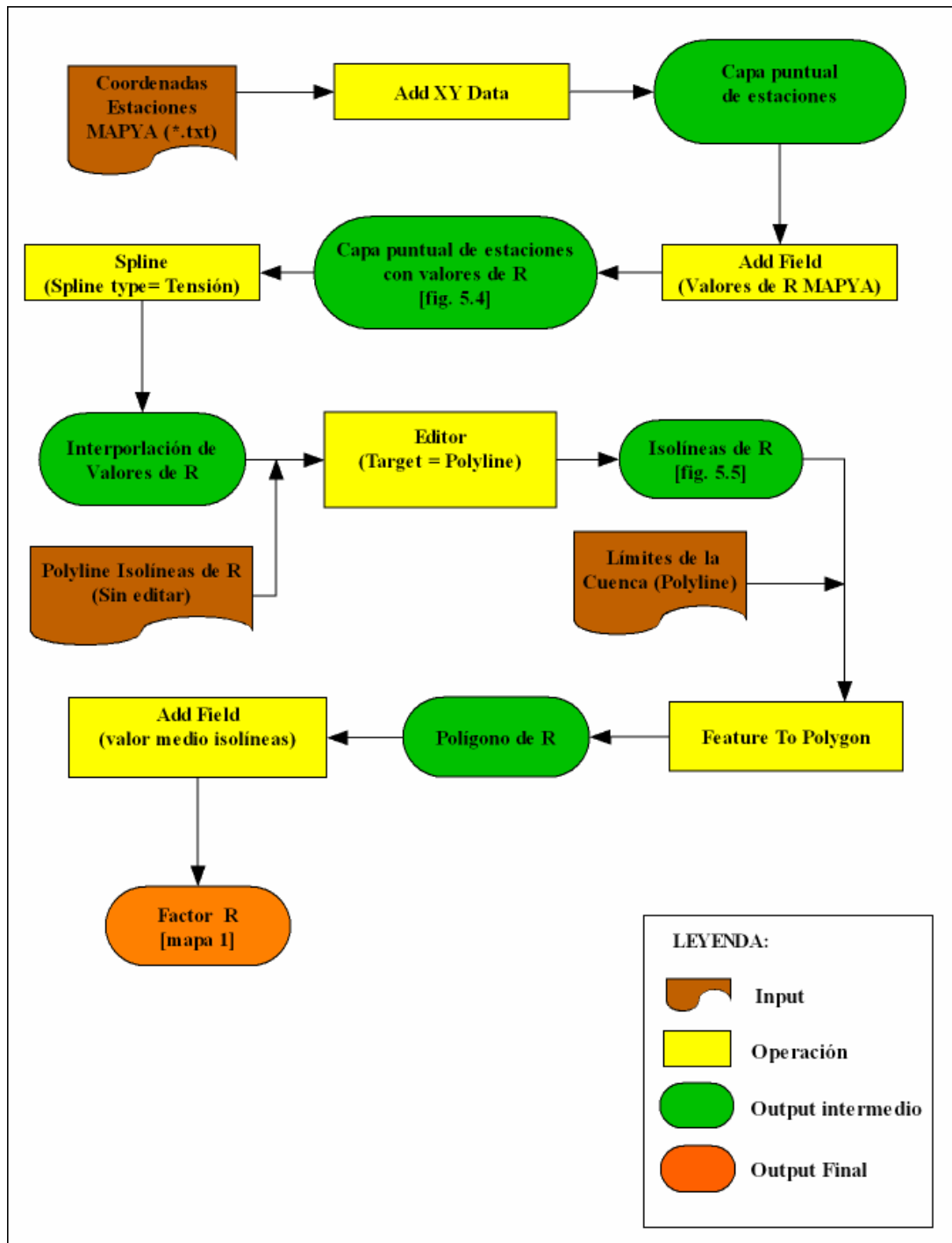


Figura 5.3: Diagrama de flujo de operaciones con ArcGis 9.1 para el cálculo del factor R.

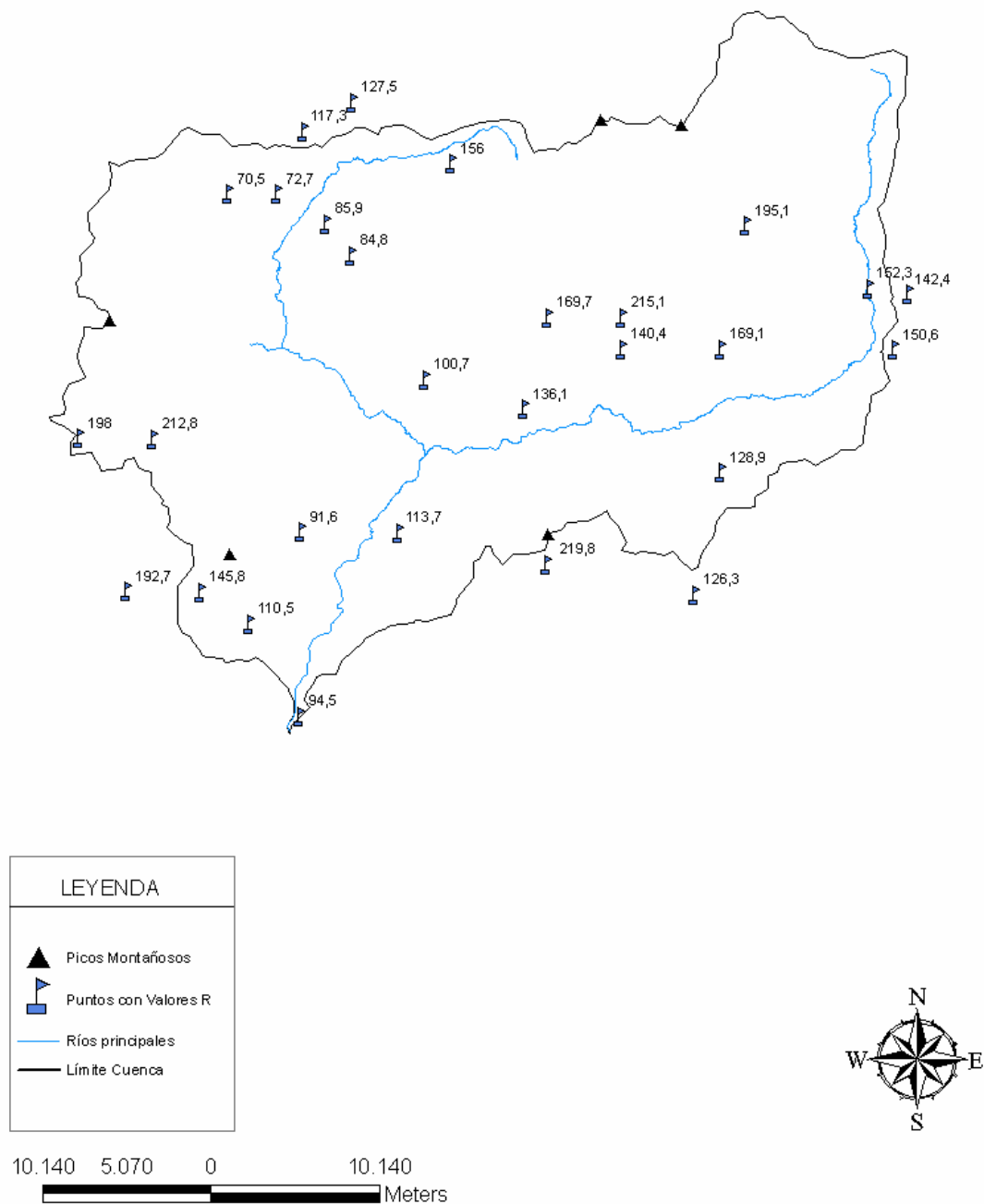


Figura 5.4: Capa puntual de estaciones con valores de R

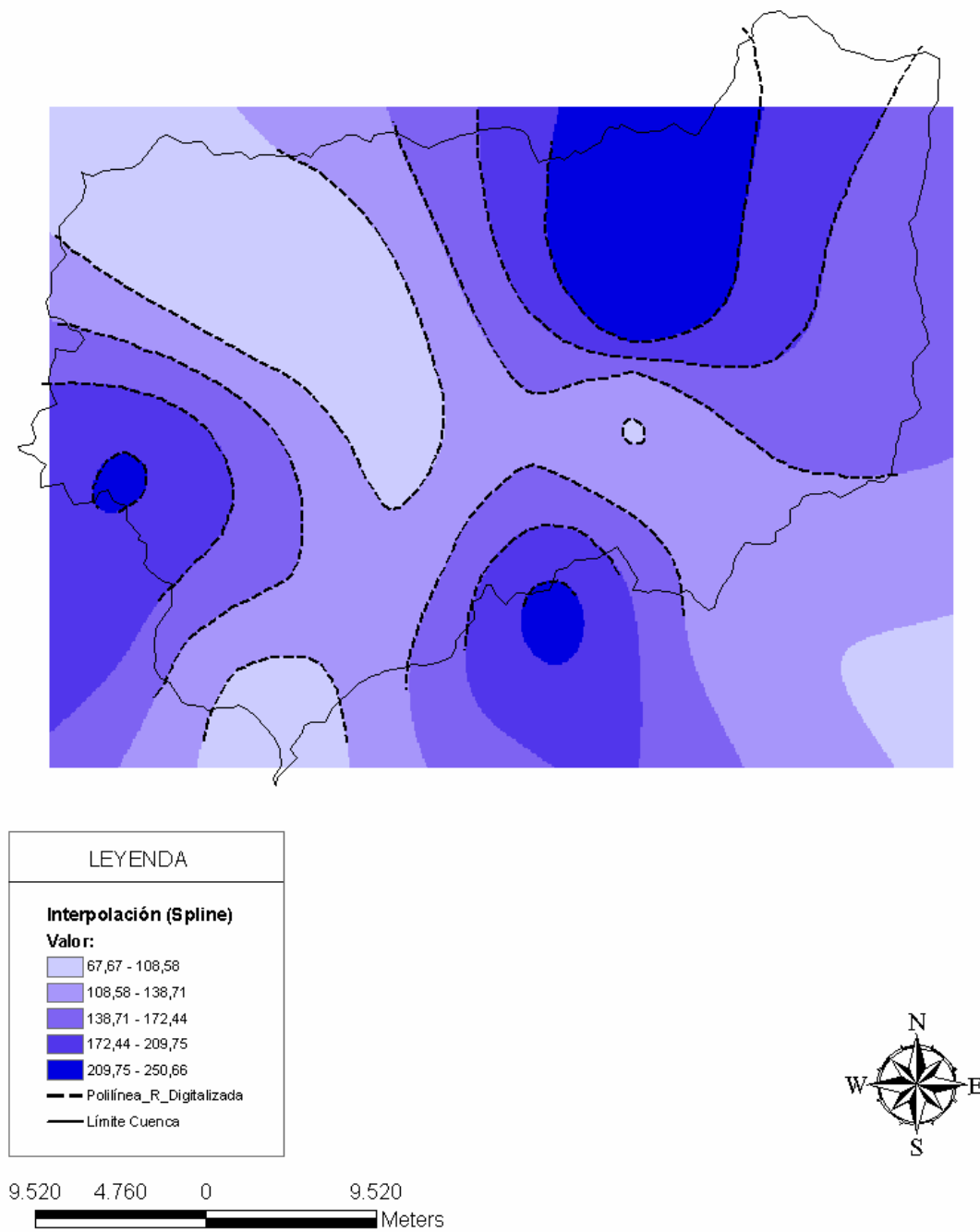
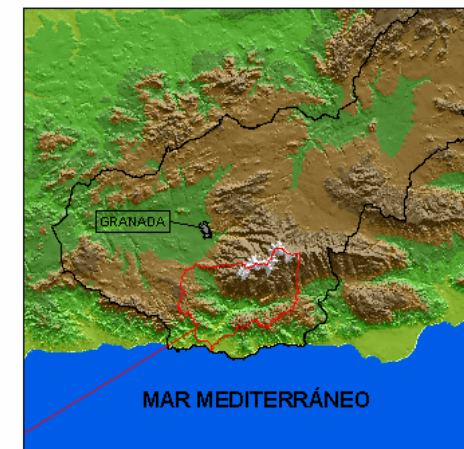
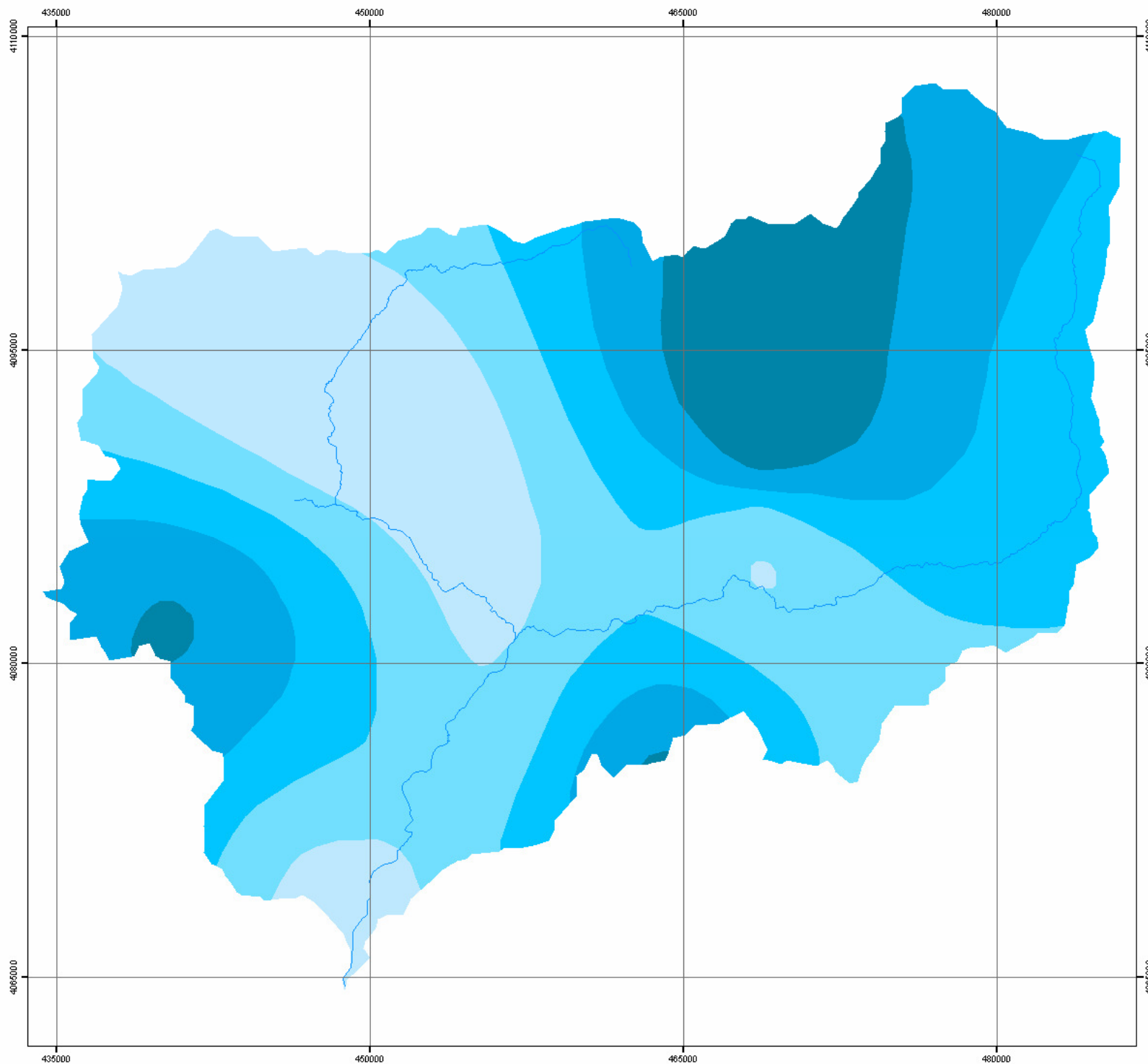


Figura 5.5: Isolíneas de R a partir de la interpolación de los valores del MAPYA.



LEYENDA

— Ríos


Valor R MAPYA

J/m²·cm/h

- 88,12
- 123,84
- 155,57
- 191,09
- 230,2

5.130 0 5.130 m.



MAPA 1	FACTOR R
Proyecto	Erosión Cuenca del Guadalfeo
Fecha	Junio 2006
Autor:	<div>  </div>
	Carlos Rodríguez López

5.2.- FACTOR LS

El dato de partida es el modelo digital de elevaciones (MDE) de Andalucía. En primer lugar, se realiza una máscara al MDE con el polígono de la cuenca para acotar nuestra zona de estudio y acelerar los cálculos durante el resto del proceso.

La fórmula a aplicar para el cálculo de LS procede de Moore y Burch (1986) (Formula 5.1):

$$LS = [(FA * Tp / 22.13)]^{0.4} * [(\sin(Pdte) / 0.0896)]^{1.3}$$

Fórmula 5.1: Ecuación para el cálculo de LS de Moore y Burch (1986)

Siendo:

FA = Flujo acumulado

Tp = Tamaño del píxel

Pdte = Pendiente

Dicha fórmula presta más importancia al factor de pendiente que al de la longitud de la ladera (Grams, 1999). Distintos autores han introducido modificaciones a la ecuación relacionadas con las condiciones locales de su zona de estudio o con especificaciones de determinados factores físicos como el aumento de la erosión en las partes más bajas de la ladera. No obstante, no se introduce ningún tipo de modificación en este estudio.

El cálculo del factor topográfico se opera en tres bloques: cálculo del flujo acumulado, cálculo de la pendiente y resolución de la ecuación.

El cálculo del flujo acumulado pertenece al primer miembro de la ecuación y se relaciona con la longitud de la pendiente (L). Algunos autores recomiendan un valor constante para este factor como Hunter (2001) que le otorga un valor de 100 pies, es decir, 30,48 m. (Bill Forbes et. al., 2001). Sin embargo, teniendo en cuenta la

heterogeneidad altimétrica de la Cuenca del Guadalfeo no tiene cabida la simplificación de este factor como constante.

El flujo acumulado representa la cantidad de lluvia que fluiría a cada celdilla, asumiendo que toda la lluvia va pendiente abajo, y que no hay intercepciones, evotranspiración, o infiltración. En el cálculo del flujo acumulado se adjudica a cada celdilla un valor que indica el número de celdillas que vierten a ella, de modo que es máximo en las desembocaduras y mínimo en las crestas y cumbres. Las celdillas que posean los valores mas elevados son áreas de flujo concentrado e identifican la red de canales.

La dirección de flujo indica la dirección de máxima pendiente por la que un fluido se desplazaría por la ladera. La dirección de flujo se calcula a partir del MDE corregido hidrológicamente. El cálculo de la dirección de flujo asigna a cada celdilla un valor determinado (figura 5.6) relacionado con la dirección de máxima pendiente. Por ejemplo, si la dirección de la máxima pendiente es hacia el norte, a la celdilla se le adjudica el valor 64; si es hacia suroeste, el valor asignado sería 8.

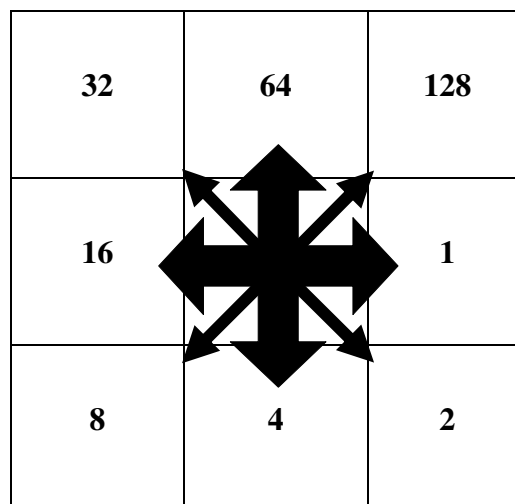


Figura 5.6: Valores posibles de la dirección de flujo.

Para la realización de los análisis hidrológicos es necesario disponer de un MDE en donde la esorrentía tenga un comportamiento similar al real, es decir, que el fluido que sea vertido en una localización alcance la desembocadura, encauzado por una red fluvial. Esto no suele ocurrir en la mayoría de los MDE generados por interpolación

porque estos métodos tienden a generar una serie de puntos de altura inferior a los que le rodean, que en su mayoría corresponden a la realidad, y que interrumpen el fluir continuo de la escorrentía. Estos puntos se conocen como “depresiones artificiales” o “sinks”. Para la detección y eliminación de los “sinks” a partir del MDE de partida se utiliza la operación conocida como “Fill”. Esta herramienta los selecciona y les hace aumentar su altura hasta igualarlos al nivel de las celdillas que la rodean.; además, elimina las elevaciones aisladas denominadas “peaks”. Se trata de un proceso interactivo ya que el relleno de unas celdillas puede hacer que otras hasta ahora no consideradas como “sinks”, pasen a serlo. En el presente estudio, sólo se ha realizado la operación una vez, para que el modelo no quede excesivamente suavizado.

El segundo bloque es el cálculo de la pendiente (S). La pendiente en un punto se define como el ángulo existente entre el vector normal a la superficie en ese punto, y la vertical. La pendiente se calcula a partir del MDE sin corrección hidrológica.

Una vez calculadas las dos incógnitas de la ecuación de LS, se procede a obtener el valor del factor. Para ello utilizamos la calculadora raster del software e introducimos la siguiente expresión (Fórmula 5.2):

$$(\text{Pow}([\text{FlujoAcumulado}] * 100 / 22.13, 0.4)) * (\text{Pow}(\text{Sin}([\text{Pendiente}] * 3.14 / 180) / 0.0896, 1.3))$$

Fórmula 5.2: Cálculo de LS (Moore y Burch, 1986) en la calculadora raster

El valor medio de LS es de 13,28 (longitud en metros y pendiente en porcentaje). Los mayores valores de este factor coinciden con las laderas próximas a los cauces fluviales. Los menores con las crestas de las formaciones montañosas (mapa 2).

Por regiones, los valores más elevados del factor comprenden Sierra Nevada y Sierra de Lújar. Los más bajos a las depresiones intramontañosas (El Padúl y Órgiva) y a la llanura litoral, junto a la desembocadura.

A continuación se expone en un diagrama de flujo (figura 5.7), la secuencia de operaciones SIG a realizar para obtener el factor de LS.

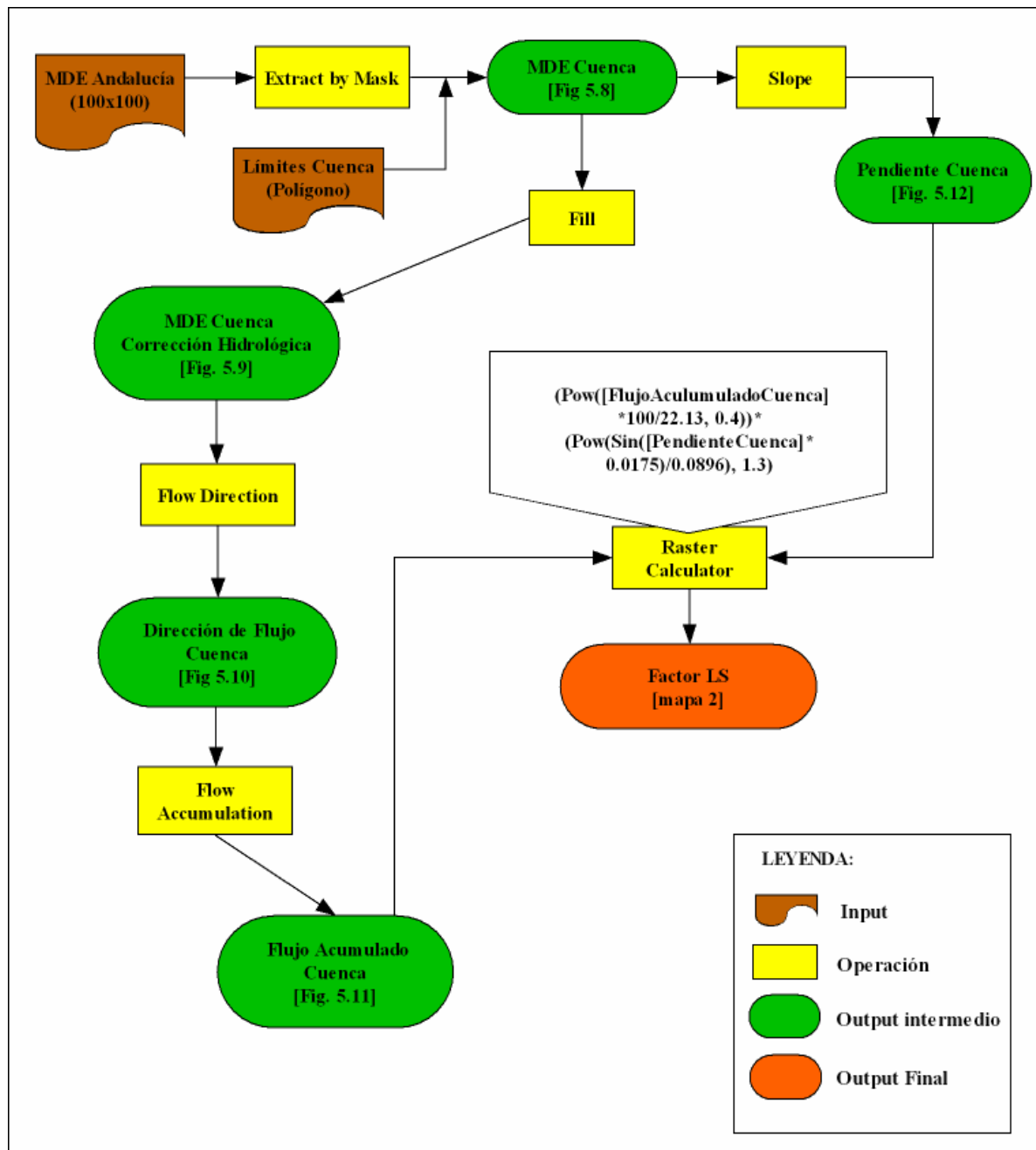


Figura 5.7: Diagrama de flujos de operaciones con ArcGis 9.1 para el cálculo del factor LS

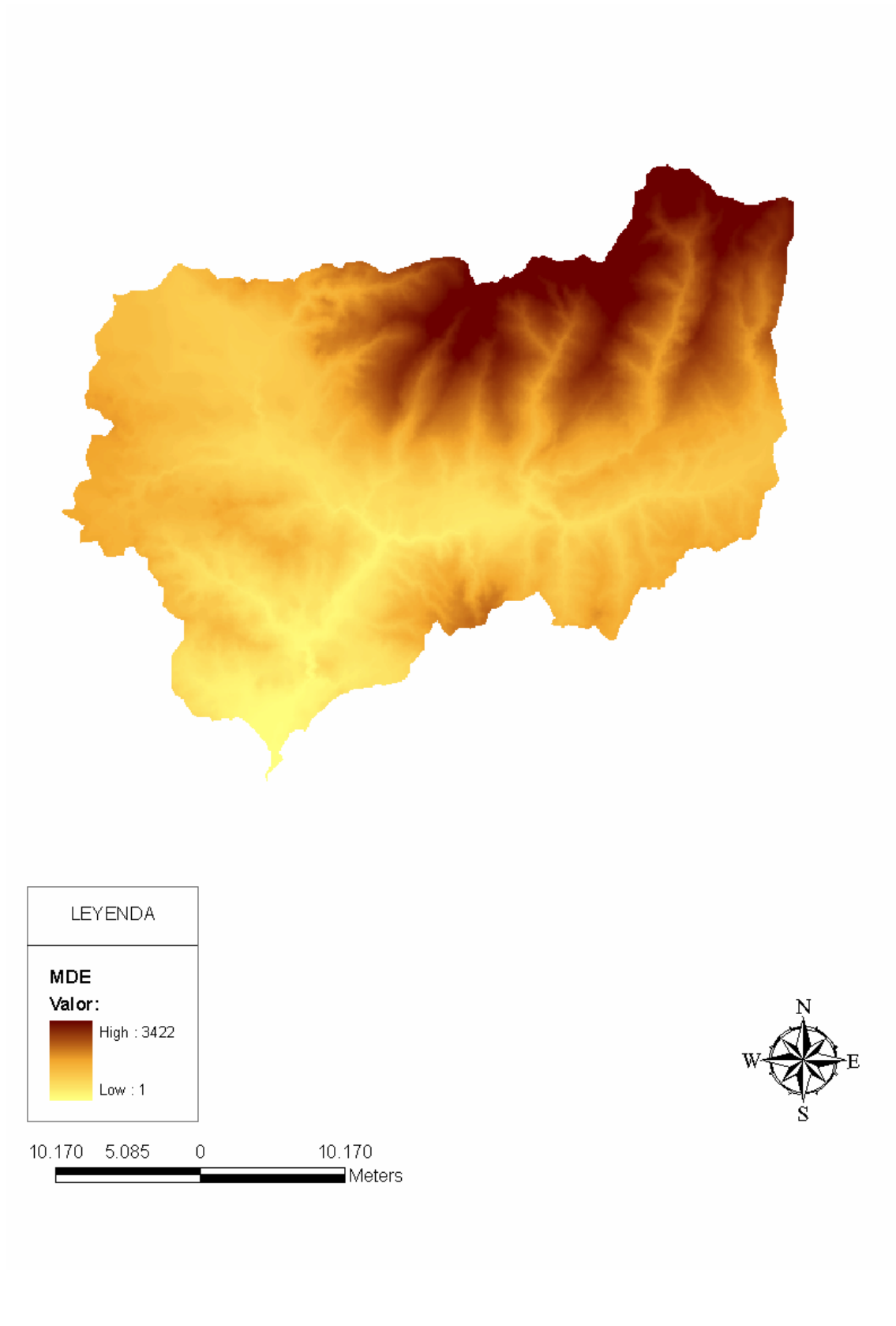


Figura 5.8: Modelo digital de elevaciones de la Cuenca del Guadalfeo

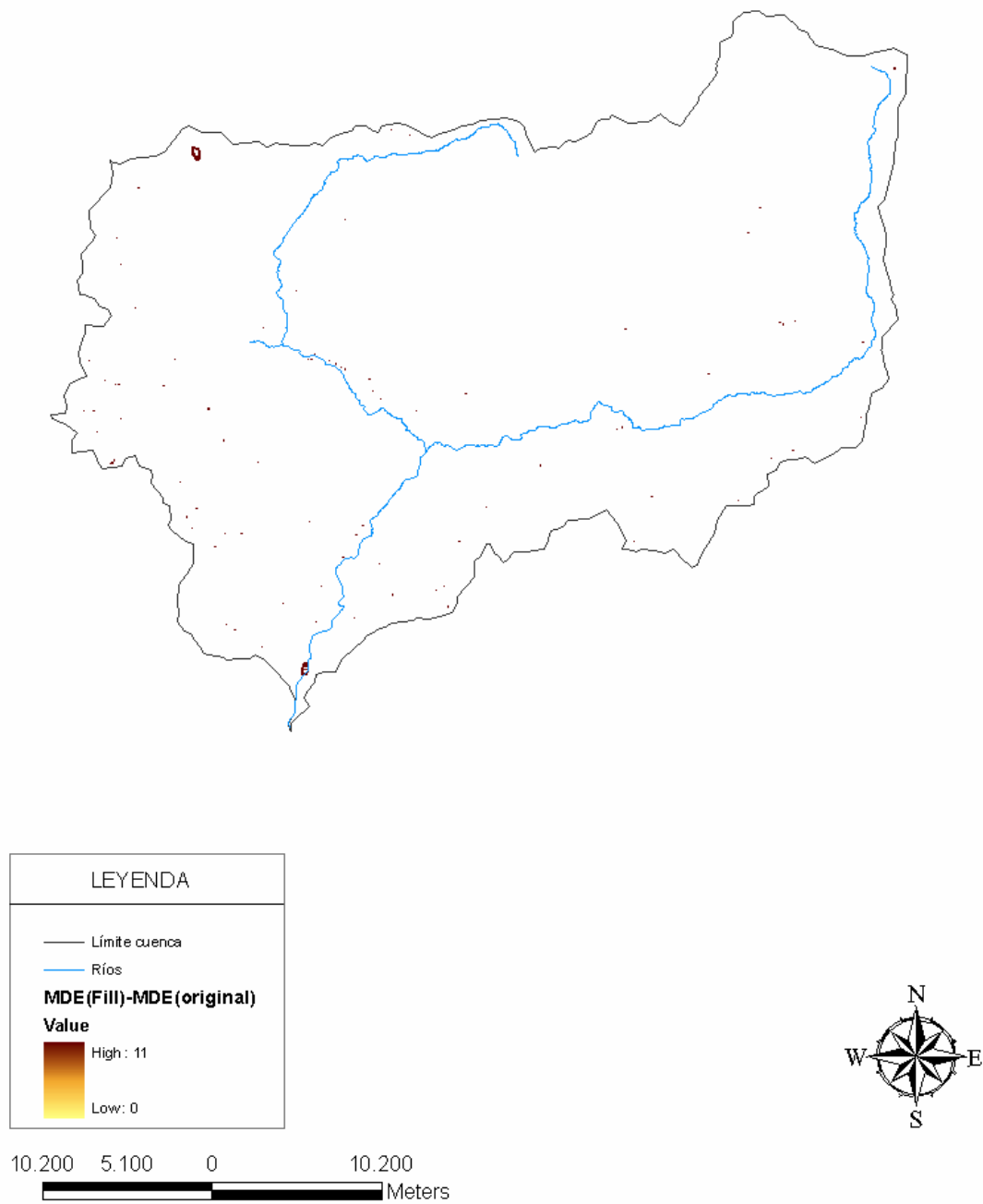


Figura 5.9: Localización de las correcciones hidrológicas aplicadas a la Cuenca del Guadalfeo

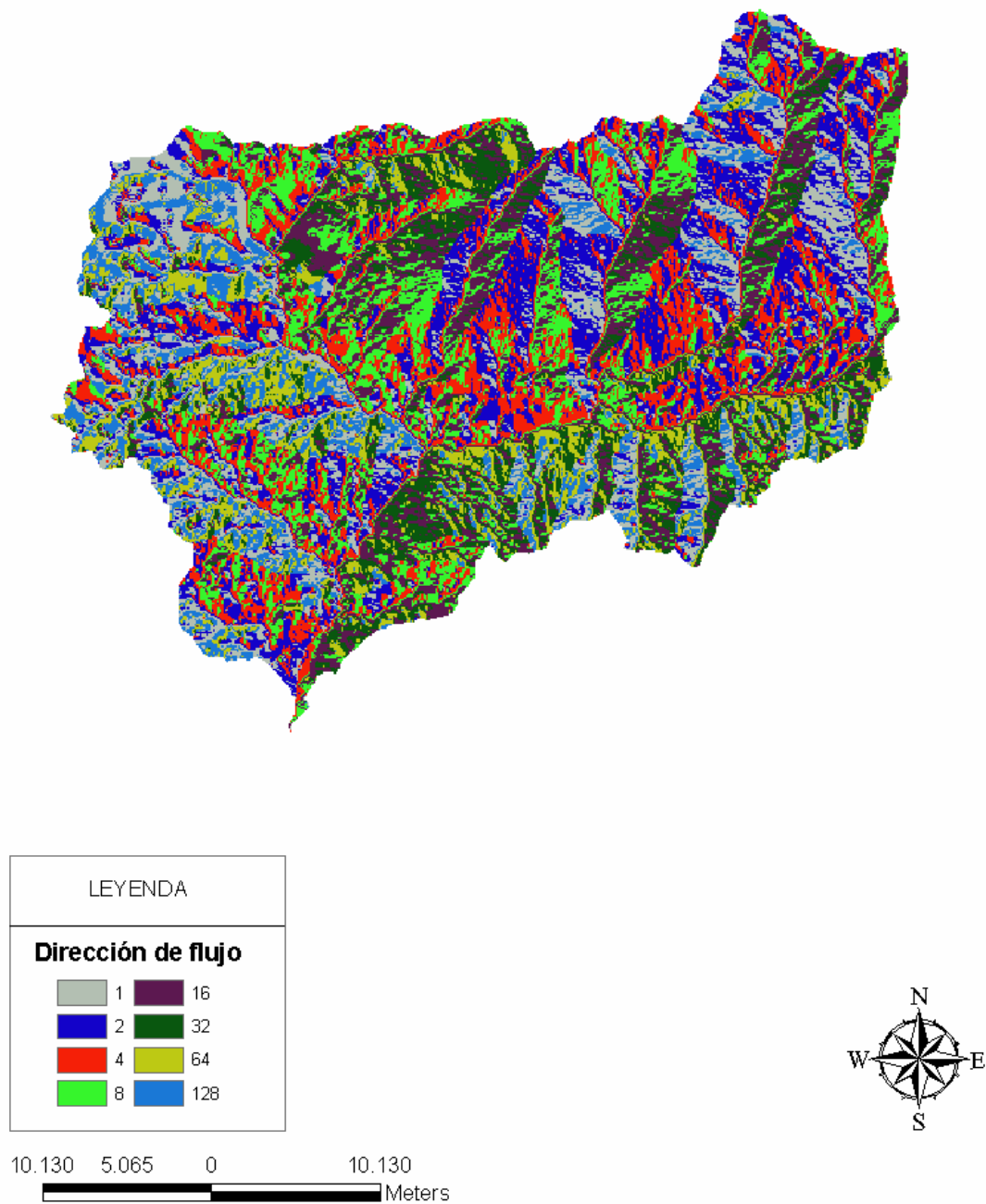


Figura 5.10: Direcciones de flujo en la Cuenca del Guadalfeo

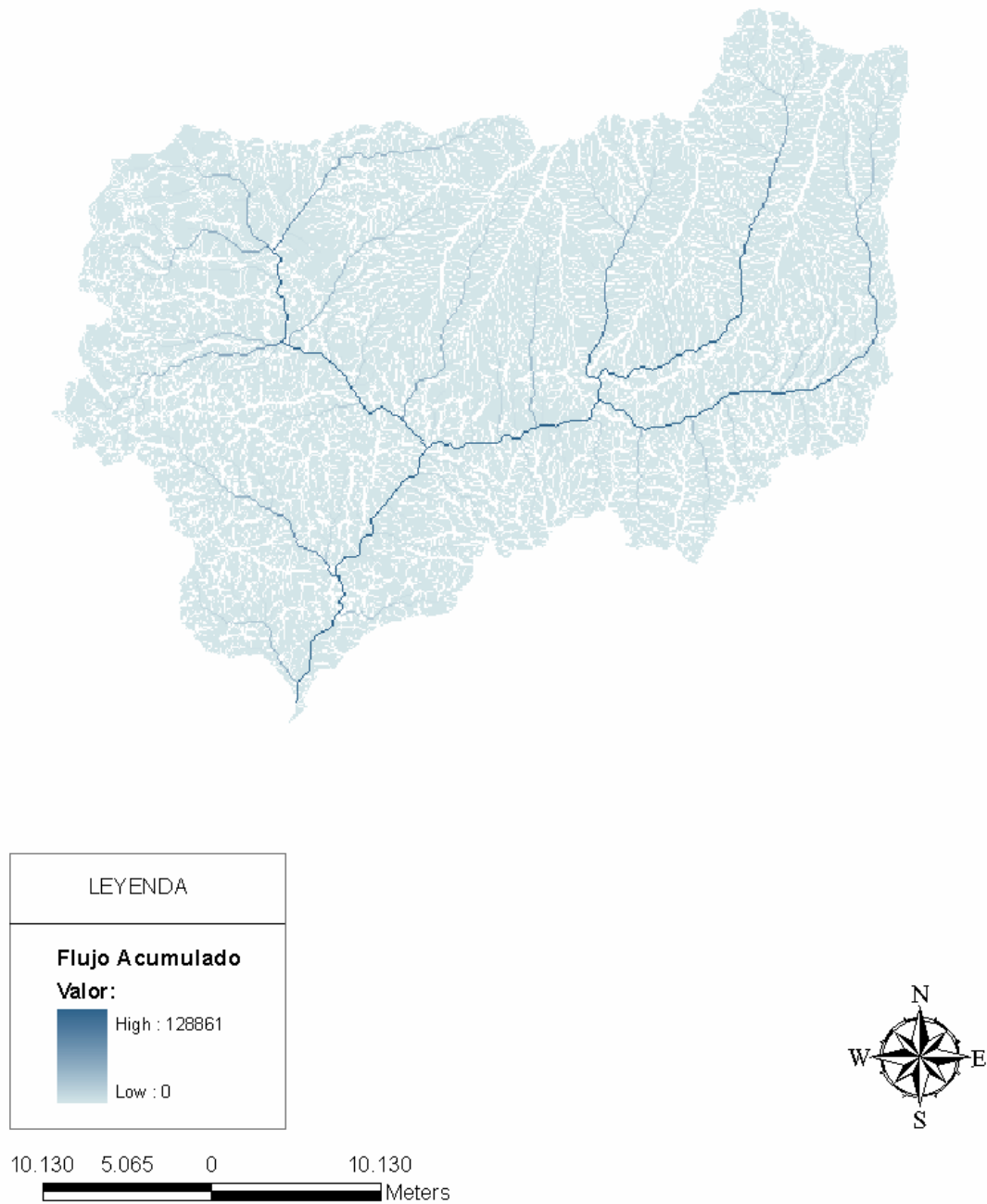


Figura 5.11: Flujo acumulado en la Cuenca del Guadalupe

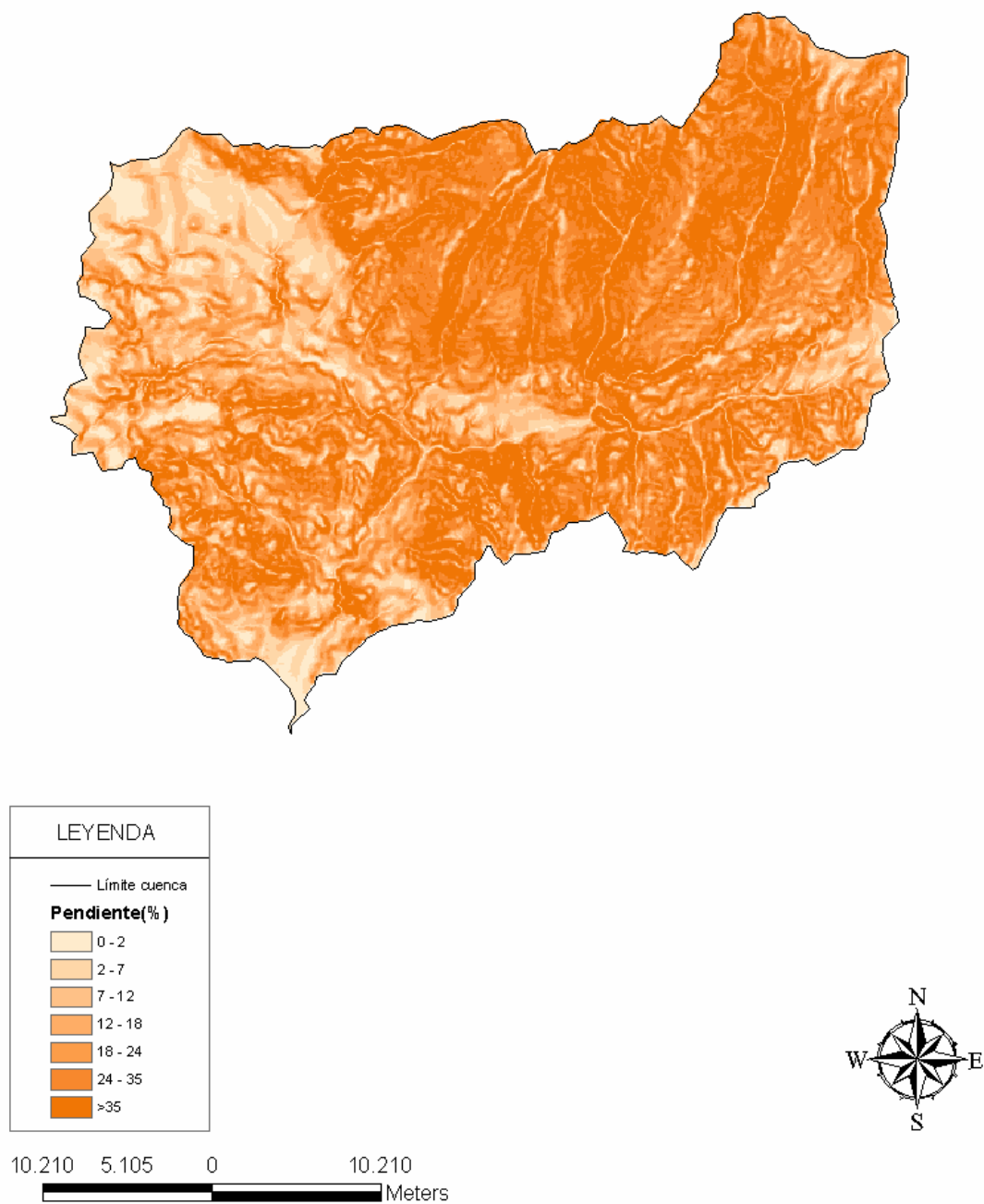
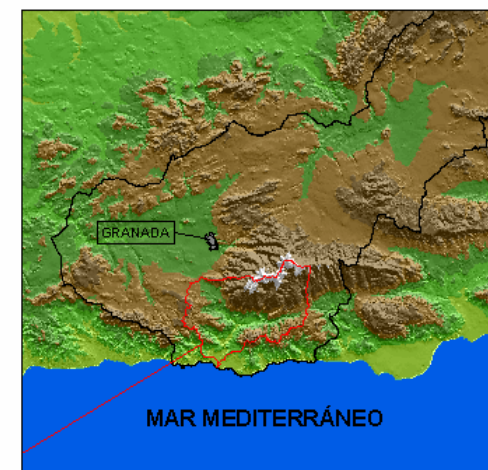
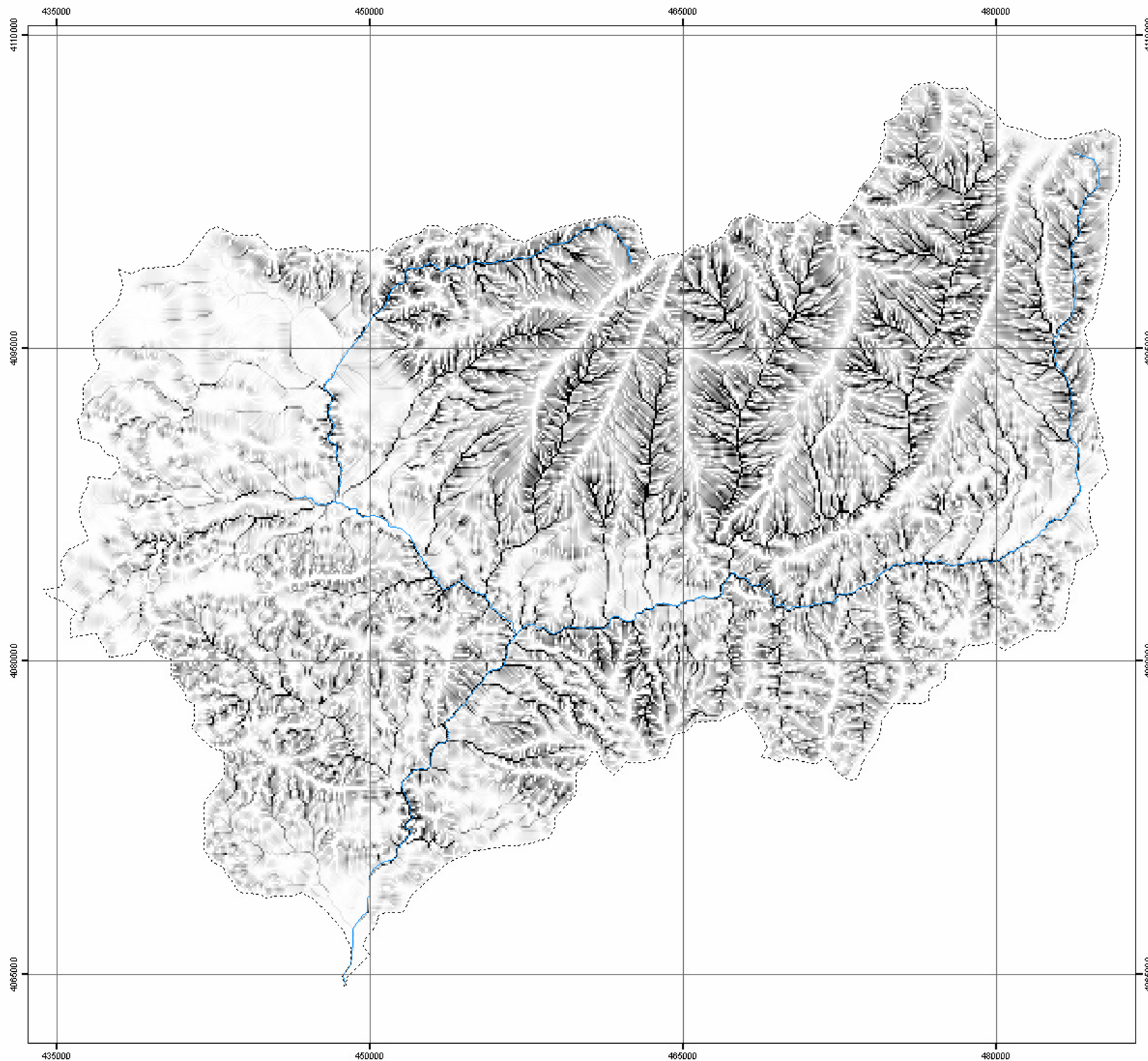


Figura 5.12: Pendientes de Cuenca del Guadalupe



LEYENDA

- Ríos
- - - Límite cuenca


LS Ecuación Moore y Burch

Valor



N



MAPA 2	FACTOR LS
Proyecto	Erosión Cuenca del Guadalfeo
Fecha	Junio 2006
Autor:	<div>  </div>
	Carlos Rodríguez López

5.3.- FACTOR K

El dato de partida es la capa vectorial de geología de Andalucía. Se corta dicho shapefile con el límite de la cuenca. Se agrupan los polígonos con las mismas características geológicas como un único polígono y como resultado se obtienen la clasificación geológica de la cuenca con 18 tipos.

Posteriormente, se verifica esta clasificación geológica con el mapa de geología de la Cordillera Bética (Vera et al., 2004) y se observa que coinciden los grandes grupos geológicos: el Complejo Alpujárride, el Complejo Nevado-Filábride y el Mioceno-Cuaternario.

En “La restauración hidrológico-forestal en la cuencas hidrográficas de la vertiente mediterránea” (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 1993; en Confederación Hidrográfica del Sur de España, 1993) existe una clasificación de los materiales geológicos de la cuenca del Guadalfeo y sus correspondientes valores de K (tabla 5.4). Por tanto, se reclasifican los 18 registros para que adapten a los grupos establecidos por la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía (tabla 5.5).

Clasificación CAP	Valor K
Conglomerados, arcillas y aluviales	0,61
Esquistos Alpujárrides	0,30
Filitas	0,49
Micasquistos Nevado-Filábrides	0,11
Rocas Carbonatadas	0,19

Tabla 5.4: Clasificación de los materiales geológicos con su valor de K correspondiente (Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía, 1993; en Confederación Hidrográfica del Sur de España, 1993)

Tipo Geológico inicial	Reclasificación
Cuaternario. conglomerados, arenas, arcillas	Conglomerados, arcillas y aluviales
Mioceno sup. calcarenitas ,margas.,yesos y caliza	Conglomerados, arcillas y aluviales
Paleozoico, esquistos oscuros	Esquistos Alpujárrides
Paleozoico, micasquistos con granate	Esquistos Alpujárrides
Paleozoico, esquistos oscuros con biotita	Esquistos Alpujárrides
Paleozoico, metabasitas anfibolitas y serpentinitas	Micasquistos Nevado-Filábride
Paleozoico. micasquistos grafitosos	Micasquistos Nevado-Filábride
Paleozoico. micasquistos grafitosos (con cloritoide)	Micasquistos Nevado-Filábride
Plioceno. Arenas y margas	Conglomerados, arcillas y aluviales
Triásico paleozoico, esquistos y cuarcitas	Esquistos Alpujárrides
Triásico paleozoico, metapelitas y filitas	Filitas
Triásico paleozoico, esquistos grises	Esquistos Alpujárrides
Triásico paleozoico, filitas y cuarcitas	Filitas
Triásico paleozoico, micasquistos feldespáticos	Micasquistos Nevado-Filábride
Triásico, mármoles	Rocas Carbonatadas
Triásico, rocas carbonatadas poco metamórficas	Rocas Carbonatadas
Triásico, calizas y dolomías	Rocas Carbonatadas
Centro de recursos geológicos	Conglomerados, arcillas y aluviales

Tabla 5.5: Reclasificación de la geología de la cuenca

Por último, se añade un nuevo campo a la tabla de atributos de la capa reclasificada y se completa con los valores de K correspondientes para cada tipo geológico.

El mapa del factor K (mapa 3) muestra una mancha homogénea de micasquistos Nevado-Filábride en Sierra Nevada. Los esquistos Alpujárrides aparecen fragmentados en varios afloramientos, siendo los más importantes los de la Sierra de Contraviesa y Sierra de las Guájares. Por otro lado, las rocas carbonatadas predominan en la Sierra de Lújar y en las montañas del sector occidental (montañas que rodean a la depresión de El Padúl y Valle del Lecrín, Sierra de las Guájares, y Sierra de Escalate).

Finalmente, los afloramientos de filitas más importantes se localizan en los alrededores de Sierra de Lújar (valle medio del Guadalfeo); mientras que los materiales detríticos rellenan las depresiones intramontañas y forman la llanura costera.

El tipo geológico reclasificado más frecuente en la cuenca es el de micasquistos Nevado-Filábrides (36%) y le sigue el de las rocas carbonatadas (31%). Por el contrario el menos frecuente es el de las filitas (8%) (tabla 5.6 y figura 5.13). El valor medio de K en la cuenca es de $0,25 \text{ Tm}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}/\text{Ha}\cdot\text{J}\cdot\text{cm}$.

Clasificación CAP	Área(Ha)	%
Conglomerados, arcillas y aluviales	15114,77	11,70
Esquistos Alpujárrides	17094,55	13,24
Filitas	10720,05	8,30
Micasquistos Nevado-Filábrides	45970,96	35,60
Rocas Carbonatadas	40232,42	31,16
TOTAL	129132,76	100,00

Tabla 5.6 Área y porcentajes de los valores del factor K

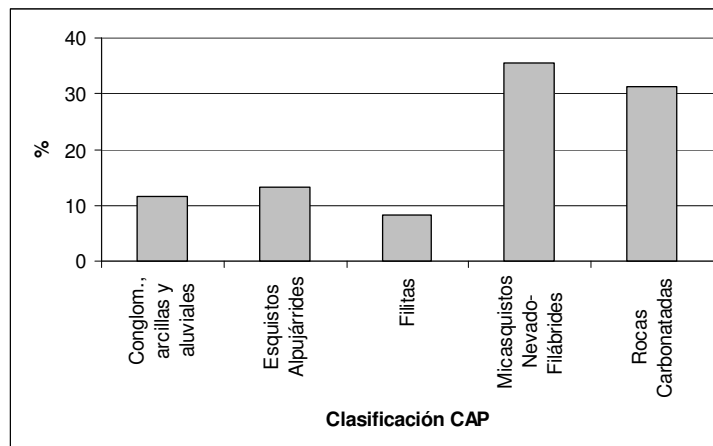


Figura 5.13: Frecuencias de los valores del factor K

A continuación se expone en un diagrama de flujo (figura 5.14), la secuencia de operaciones SIG a realizar para obtener el factor de K .

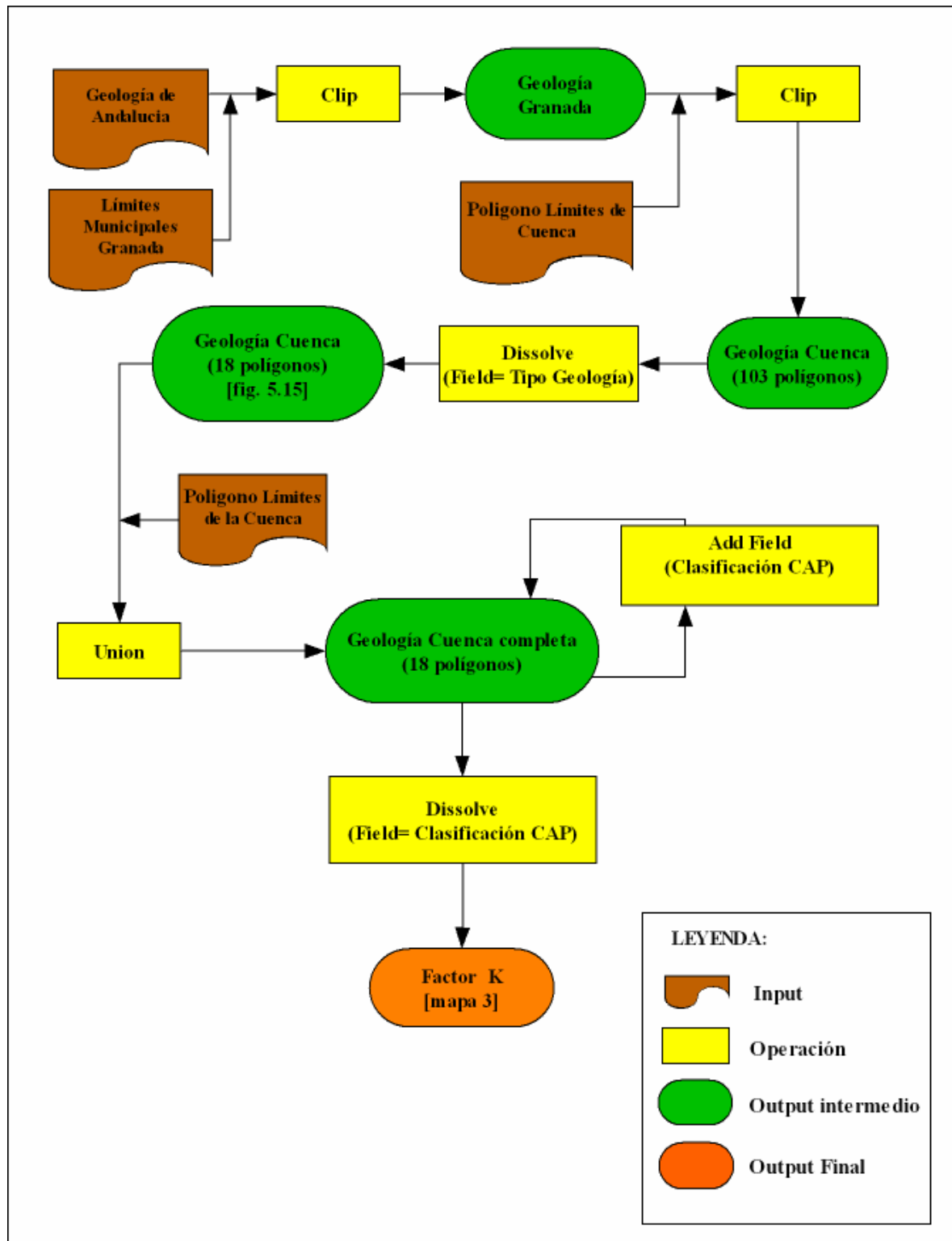


Figura 5.14: Diagrama de flujos de operaciones con ArcGis 9.1 para el cálculo del factor K

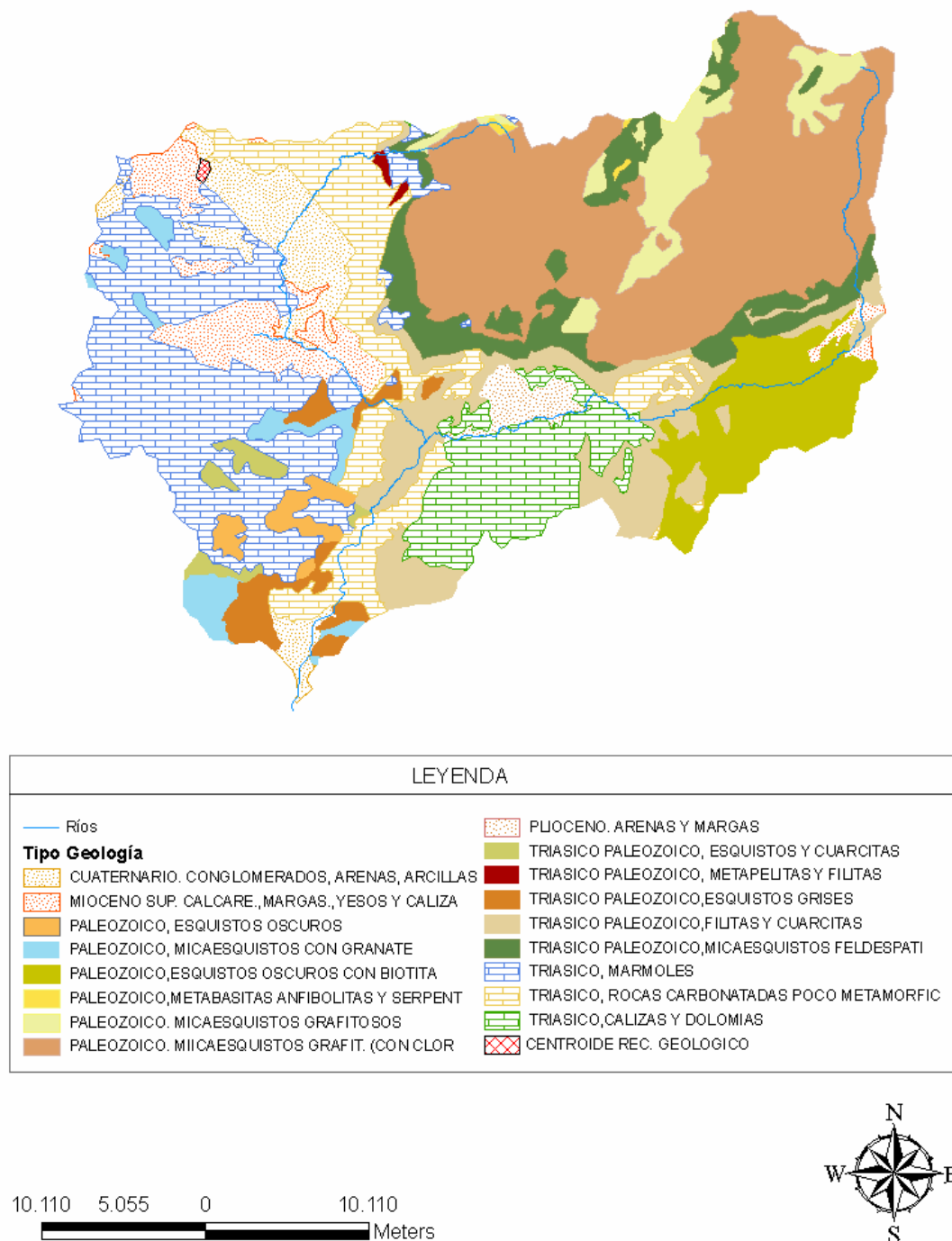
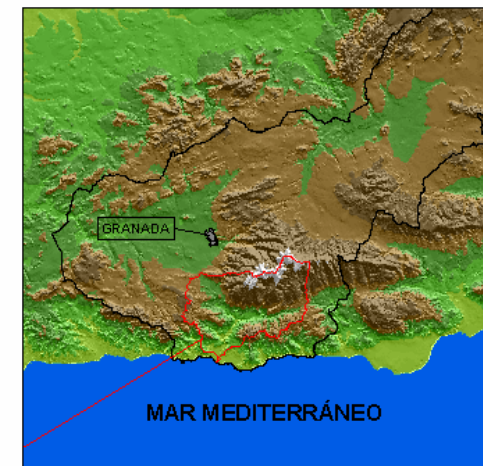
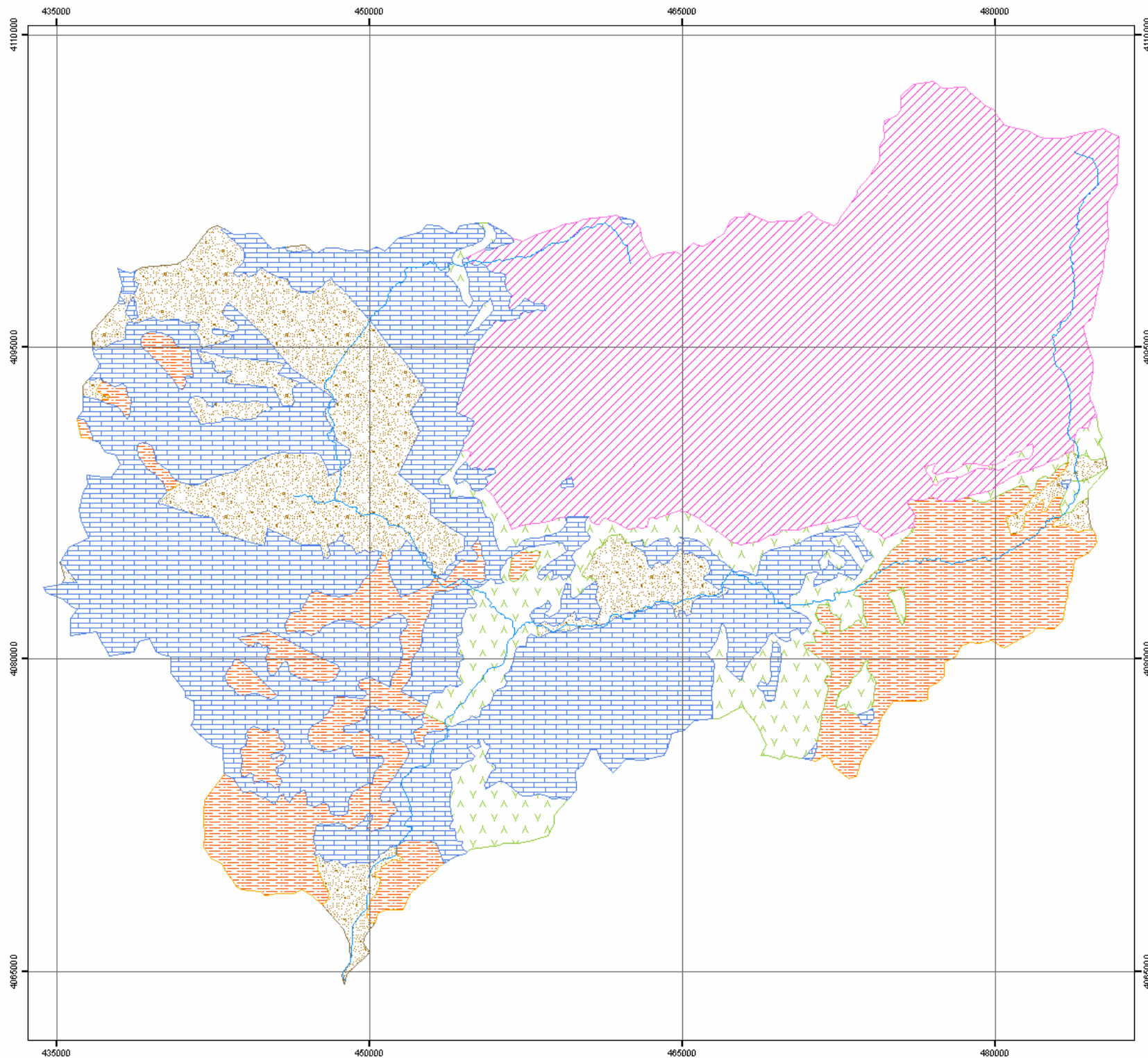


Figura 5.15: Geología de la Cuenca del Guadalfeo








LEYENDA

— Ríos

Clasificación K por CAP

Geología:

-  Conglom., arcillas y aluviales
-  Esquistos Alpujarrides
-  Filitas
-  Micasquistos Nevado Filábrides
-  Rocas Carbonatadas

N



5.130 0 5.130 m.



MAPA 3	FACTOR K
Proyecto	Erosión Cuenca del Guadalefe
Fecha	Junio 2006
Autor:	<div data-bbox="1733 1437 2045 1477" data-label="Text"> <p>Carlos Rodríguez López</p> </div> <div data-bbox="2051 1370 2192 1508" data-label="Image"> </div>

5.4.- FACTOR C

El dato de partida es la capa de usos de suelo de Andalucía. Ésta se corta con los límites de la cuenca. Se agrupan todos los polígonos con el mismo uso de suelo y se obtiene la clasificación de uso de suelo de la Cuenca del Guadalfeo con 28 tipos.

Para contrastar la veracidad de los datos de usos de suelo utilizados, se ha seleccionado una ortofoto representativa de cada una de las hojas topográficas que integran la Cuenca del Guadalfeo y se fotointerpreta si los polígonos digitalizados se corresponden con la ortofoto (tabla 5.7 y figura 5.18)

Hoja	Ortofoto
1026	1026_4_4
1027	1027_4_2
1028	1028_1_4
1041	1041_2_1
1042	1042_3_1
1043	1043_1_1
1055	1055_4_2

*Tabla 5.7: Ortofotos seleccionadas para
verificar los datos de usos de suelo utilizados.*

En “Paisajes erosivos del sureste español: ensayo de metodología para el estudio de su calificación y cuantificación” (ICONA, 1982; en Confederación Hidrográfica del Sur de España, 1993) existe una clasificación de los usos de suelo de la cuenca del Guadalfeo y sus correspondientes valores de C). Aparte de la clasificación del ICONA, se introducen dos grupos más: “suelo urbano” y “masas de agua” con los valores de C establecidos por Bill Forbes et al. (2001) (tabla 5.8). Por tanto, reclasificamos los 28 tipos de usos de suelo originales para que adapten a los grupos establecidos por el ICONA y B.Forbes (tabla 5.9)

Clasificación ICONA	Valor C
Matorral y pastizal arbolado	0,08
Monte mixto y de repoblación	0,01
Olivares, almendros y viñedos	0,40
Pastizal - erial	0,20
Regadíos	0,04

B.Forbes	Valor C
Masas de agua	0,00
Suelo Urbano	0,15

Tabla 5.8: Clasificación de los usos de suelo con su valor C correspondiente (ICONA, 1982; en Confederación Hidrográfica del Sur de España, 1993) y (Forbes, 2001)

Usos de suelo inicial	Clasificación ICONA
Cultivos forzados bajo plástico	Regadíos
Otros cultivos herbáceos regados	Regadíos
Cultivos herbáceos y leñosos en regadío parcialmente regados	Regadíos
Cultivos leñosos en secano: olivar	Olivares, almendros y viñedos
Cultivos leñosos regados: frutales tropicales	Regadíos
Otros cultivos leñosos en secano	Olivares, almendros y viñedos
Ríos y cauces naturales.:otras formas riparias	Pastizal - erial
Balsas de riego y ganaderas	Masas de agua
Cultivos herbáceos en secano	Olivares, almendros y viñedos
Cultivos leñosos y vegetación natural leñosa	Pastizal - erial
Matorral denso arbolado: quercineas dispersas	Monte mixto y de repoblación
Matorral disperso arbolado: quercineas. disperso	Matorral y pastizal arbolado
Matorral disperso con pastizal	Matorral y pastizal arbolado
Pastizal arbolado: coníferas. disperso	Matorral y pastizal arbolado
Ríos y cauces naturales.:lamina de agua	Masas de agua
Urbanizaciones residenciales	Suelo Urbano
Balsas de alpechín	Masas de agua
Formaciones árboles densa: coníferas	Monte mixto y de repoblación
Lagunas continentales	Masas de agua
Matorral denso	Monte mixto y de repoblación
Pastizal continuo	Matorral y pastizal arbolado
Roquedos y suelo desnudo	Pastizal - erial
Tejido urbano	Suelo Urbano
Zonas en construcción	Suelo Urbano
Zonas incendiadas	Pastizal - erial
Zonas industriales y comerciales	Suelo Urbano
Zonas mineras	Pastizal - erial
Zonas sin vegetación por roturación	Pastizal - erial

Tabla 5.9: Reclasificación de los usos de suelo de la cuenca

Por último, se añade un nuevo campo a la tabla de atributos de la capa reclasificada y se completa con los valores de C correspondientes para cada uso.

En el mapa del factor C (mapa 4) destaca la gran superficie que ocupa el pastizal-erial que se localiza fundamentalmente en Sierra Nevada, Alpujarra baja y Sierra de Lújar. Por otro lado, existe una gran mancha de cultivos de secano en la Contraviesa. En las sierras occidentales predomina la vegetación natural y de repoblación. En cuanto los cultivos de regadío se localizan principalmente alrededor de los núcleos urbanos y ocupan una gran extensión en el delta de Motril-Salobreña y el Valle del Lecrín.

Como es de esperar, el mayor porcentaje del factor C recae en el grupo de pastizal-erial (44%), mientras que las masas de agua son el grupo con menor valor del factor (0,15%) (tabla 5.10 y figura 5.16). La media del valor C en la cuenca es de 0,16.

Clasificación ICONA y B.Forbes	AREA (Ha)	%
Masas de agua	194,38	0,15
Matorral y pastizal arbolado	22059,90	17,08
Monte mixto y de repoblación	15163,04	11,74
Olivares, almendros y viñedos	17554,45	13,59
Pastizal – erial	57056,57	44,18
Regadíos	16447,40	12,74
Suelo Urbano	656,83	0,51
TOTAL	129132,57	100,00

Tabla 5.10: Área y porcentajes de los valores del factor C

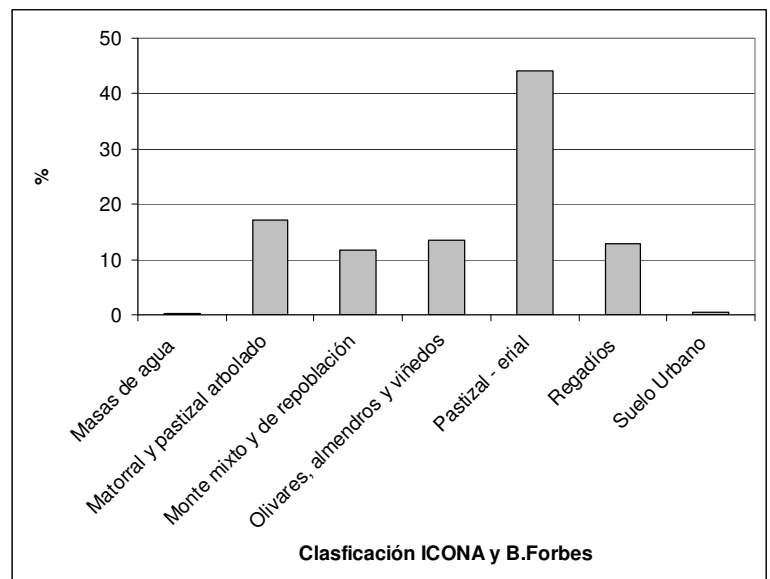


Figura 5.16: Frecuencias de los valores del factor C

A continuación se expone en un diagrama de flujo (figura 5.17), la secuencia de operaciones SIG a realizar para obtener el factor de C.

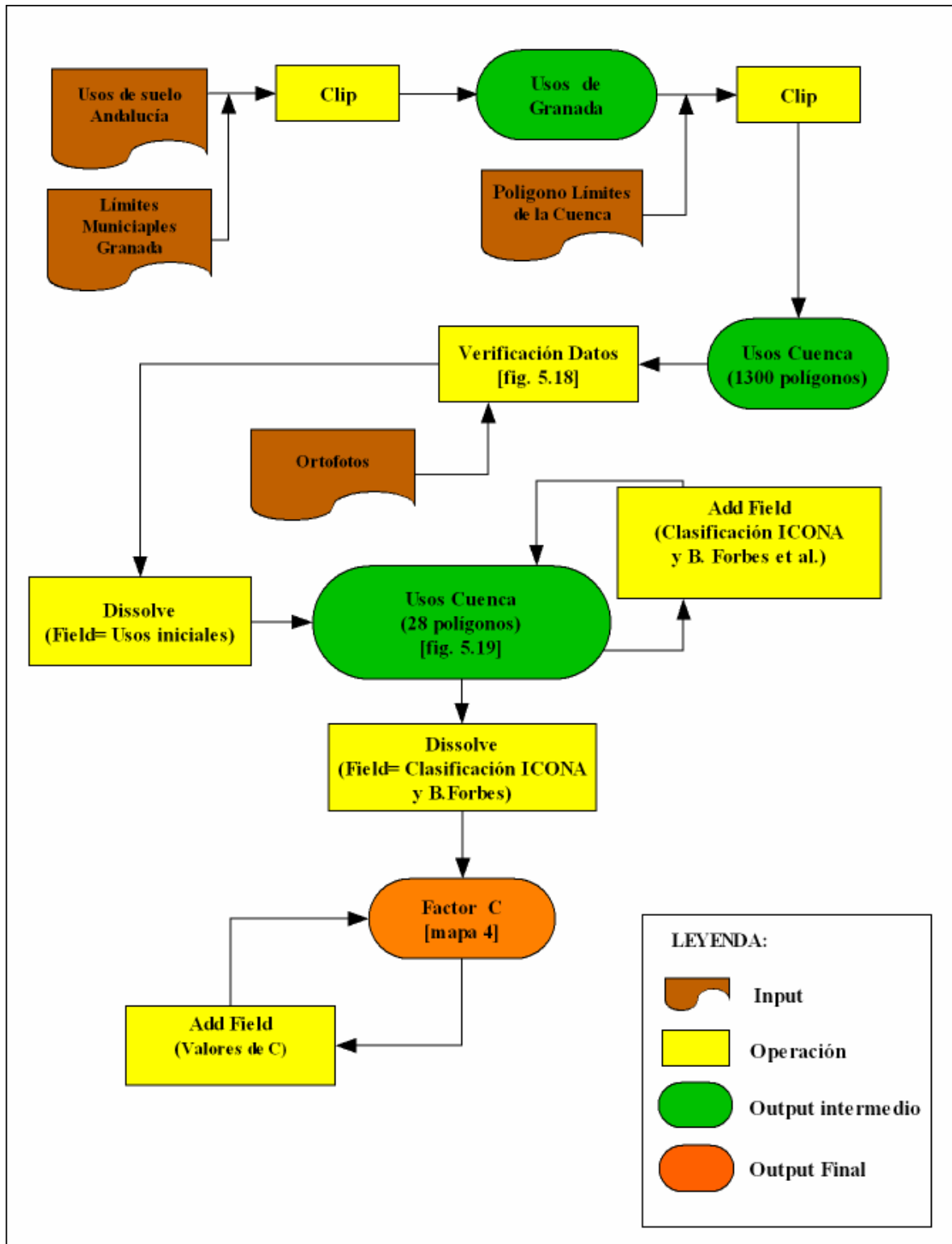


Figura 5.17: Diagrama de flujos de operaciones con ArcGis 9.1 para el cálculo del factor C

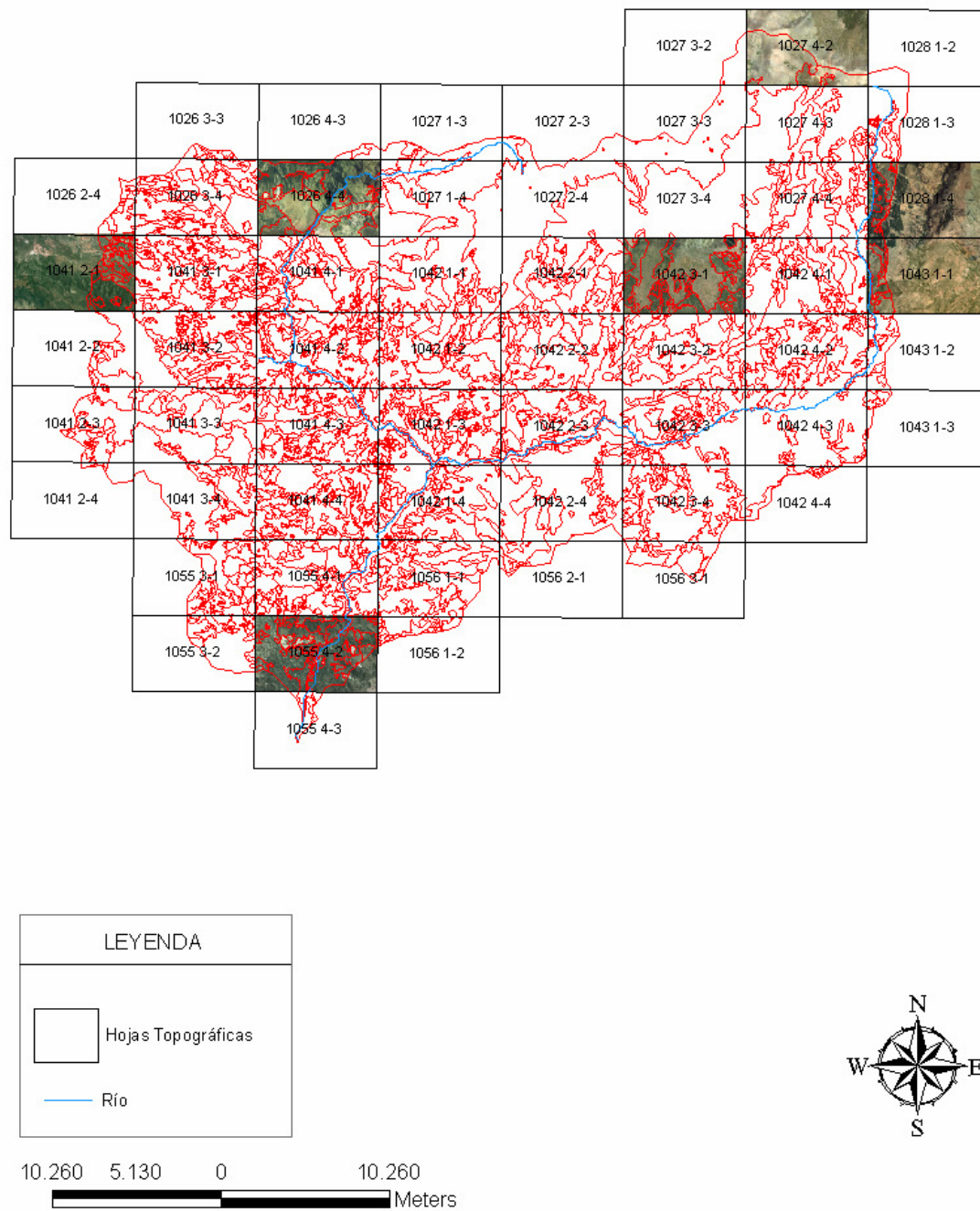


Figura 5.18: Verificación de los datos de usos de suelo utilizados

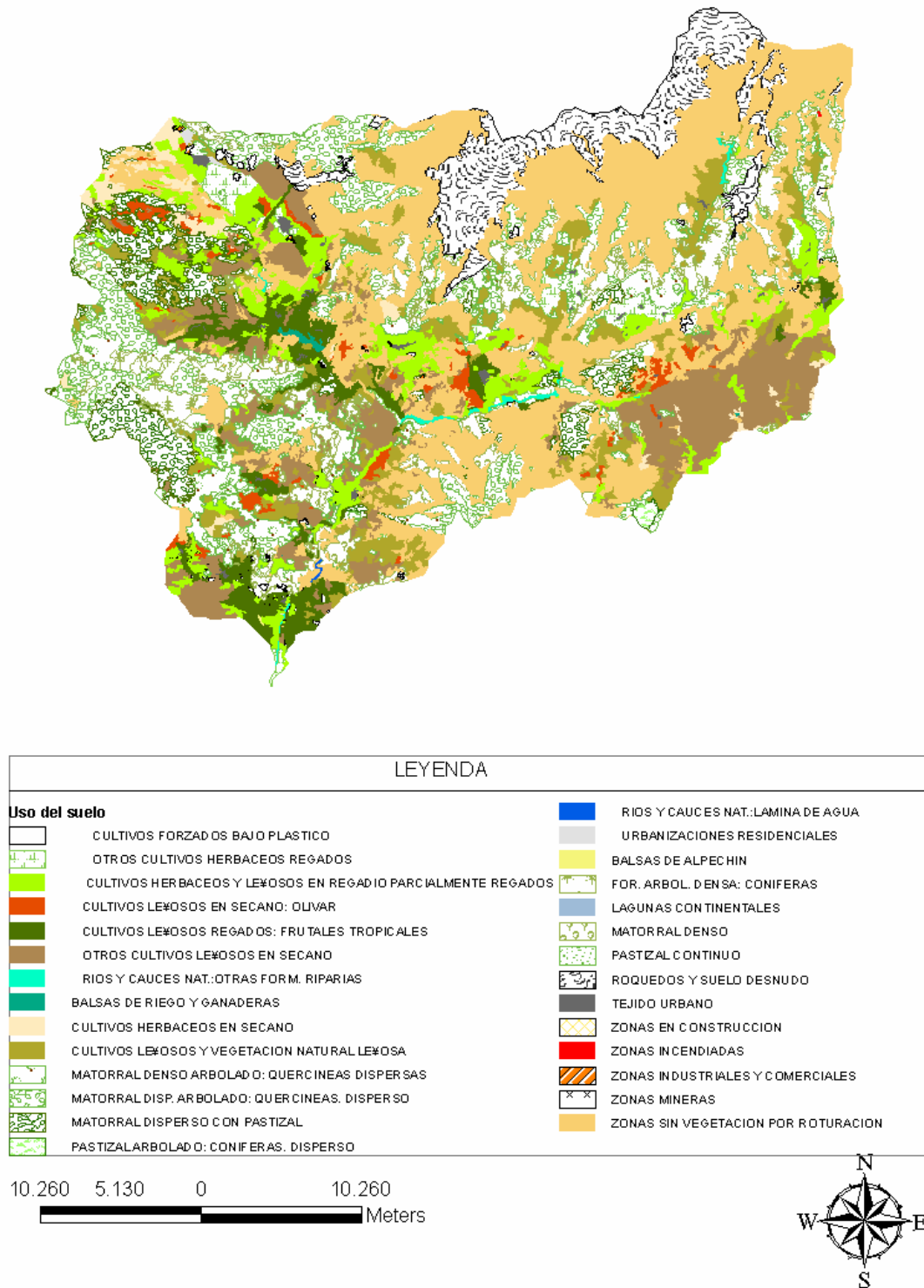
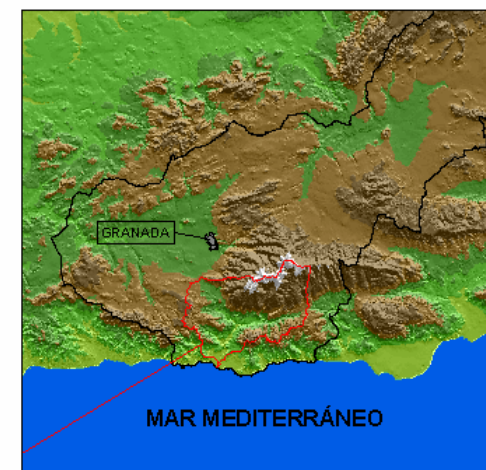
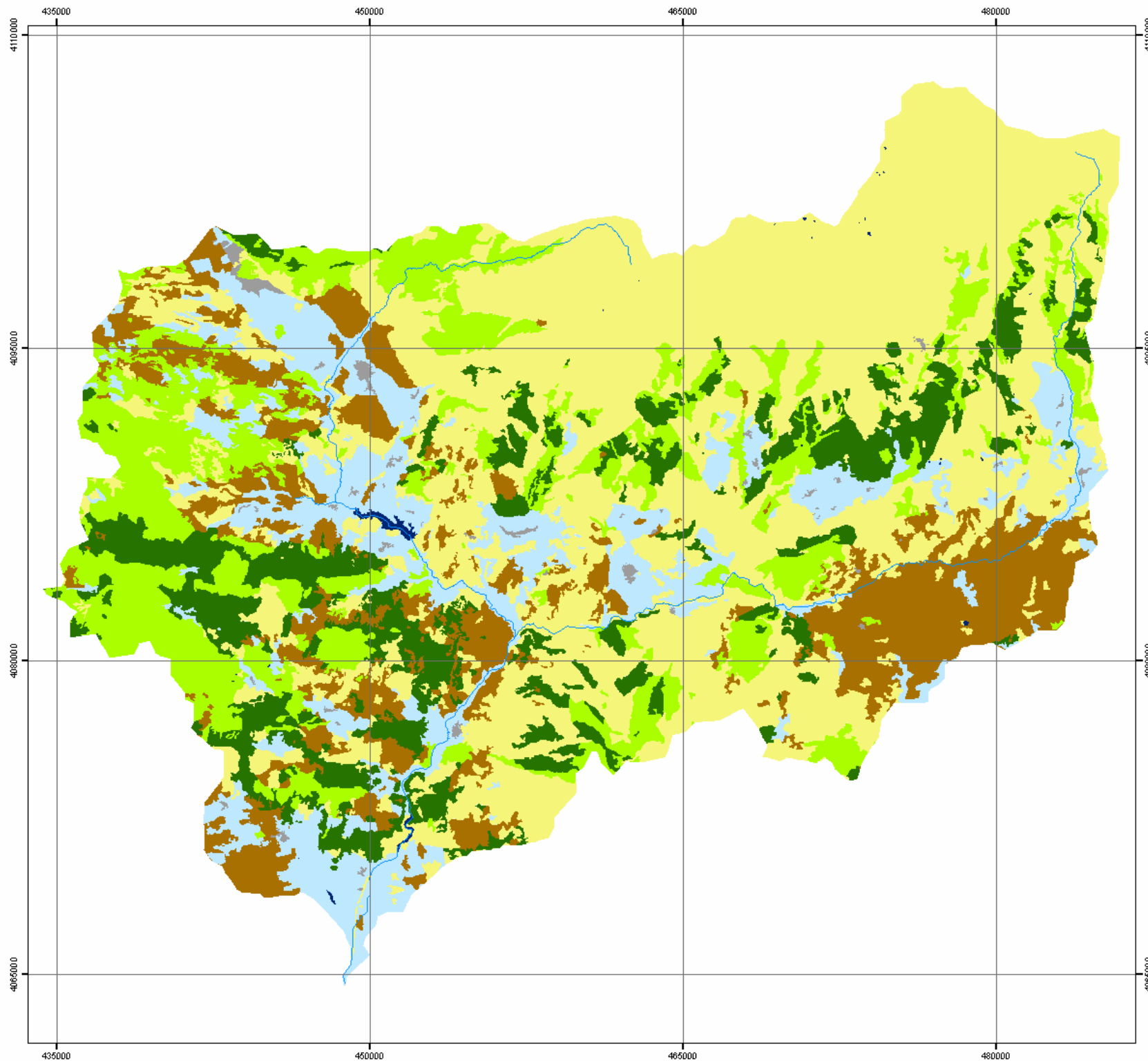


Figura 5.19: Usos de suelo de la Cuenca del Guadálfeo



LEYENDA

— Ríos

Clasificación C por ICONA y B.Forbes

Usos del suelo:

- Masas de agua
- Matorral y pastizal arbolado
- Monte mixto y de repoblación
- Olivares, almendros y viñedos
- Pastizal - erial
- Regadíos
- Suelo Urbano

5.130 0 5.130 m.



MAPA 4	FACTOR C
Proyecto	Erosión Cuenca del Guadalfeo
Fecha	Junio 2006
Autor: Carlos Rodríguez López	



5.5.- FACTOR P

El dato de partida es la capa de usos de suelo de la cuenca (28 registros). El factor P se refiere a las medidas de protección aplicadas en los cultivos. Por tanto, se seleccionan todas las zonas de cultivo (secano y regadío) de la cuenca y se exporta como otra capa con 7 registros.

Esta capa generada esta formada por manchas de cultivos diseminadas, pero se necesita un nuevo registro que aluda a aquellas zonas donde no exista ninguna medida de conservación, es decir, $P=1$. Para ello, se une la capa de cultivo y el polígono con los límites de la cuenca.

En “Metodología para la evaluación de la erosión hídrica” (MOPU-DGMA, 1985; en Confederación Hidrográfica del Sur de España, 1993) existe un tabulación cruzada de los valores de P en función del tipo de medida y la pendiente. En este estudio, se simplifica la tabla del MOPU-DGMA y se obtiene un valor medio de P para cada medida independientemente de la pendiente (tabla 5.11)

Clasificación MOPU-DGMA	Valor P
Sin medida	1
Cultivo a nivel	0,76
Cultivo en fajas	0,35
Cultivo en terrazas	0,18

Tabla 5.11: Clasificación de las medidas de protección con su valor P correspondiente

No obstante, se realizó un análisis estadístico de las pendientes para cada tipo de medida de protección en su conjunto (tabla 5.12). En todos los casos la pendiente mínima es del 0%. La medida de protección que presenta una mayor pendiente máxima es la de cultivos en fajas (86%), mientras que los cultivos a nivel presentan el mayor porcentaje de pendiente media (21%).

Medidas de protección	Pdte. Máx.(%)	Pdte. Media(%)
Sin medida	142,33	29,60
A nivel	78,81	21,25
Fajas	86,19	16,28
Terrazas	85,03	14,75

Tabla 5.12: Pendiente media y máxima para cada tipo de medida de protección

Se creó un nuevo campo relativo al tipo de medida de protección. Para asociar el tipo de medida de protección a cada tipo de cultivo de la cuenca, se realizaron observaciones de campo y fotointerpretación. Como resultado se obtiene la siguiente tabla (tabla 5.13)

Tipo de cultivo	Clasificación MOPU-DGMA
Zonas sin cultivo	Sin medida
Cultivos forzados bajo plástico	Terrazas
Otros cultivos herbáceos regados	Fajas
Cultivos herbáceos y leñosos en regadío parcialmente regados	Fajas
Cultivos leñosos en secano: olivar	A nivel
Cultivos leñosos regados: frutales tropicales	Terrazas
Otros cultivos leñosos en secano	A nivel
Cultivos herbáceos en secano	Fajas

Tabla 5.13: Reclasificación de las medidas de protección de la cuenca

A continuación, se agrupan todos los polígonos con la misma medida de protección en 4 registros. Para finalizar, se añade un nuevo campo a la tabla de atributos de la capa reclasificada y se completa con los valores de P correspondientes a cada medida de conservación.

En el mapa del factor P (mapa 5) se observa como los cultivos a nivel (cultivos de secano) se localizan en la Contraviesa, la subcuenca del río Izbor y la cuenca baja del Guadalfeo. Los cultivos en fajas (cultivos en mosaico) son característicos de la

Alpujarra alta y de la depresión de El Padúl. Las terrazas (cultivos subtropicales y naranjos) predominan en el Valle del Lecrín y la zona costera.

La medida de protección con mayor representación en la cuenca son los cultivos a nivel (12%), mientras que las terrazas tienen la menor representación (4%). El valor medio de P en la cuenca es de 0,87 (tabla 5.14 y figura 5.20)

Clasificación	Área(Ha)	%
A nivel	15764,83	12,21
Fajas	12746,73	9,87
Sin medida	95130,91	73,67
Terrazas	5490,29	4,25
TOTAL	129132,76	100,00

Tabla 5.14: Área y porcentaje de los valores del factor P

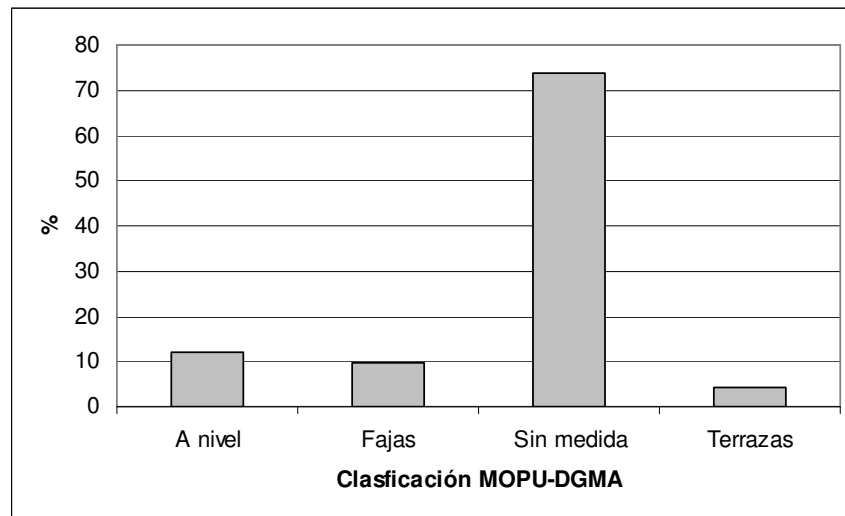


Figura 5.20: Frecuencias de los valores del factor P

A continuación se expone en un diagrama de flujo (figura 5.21), la secuencia de operaciones SIG a realizar para obtener el factor de P.

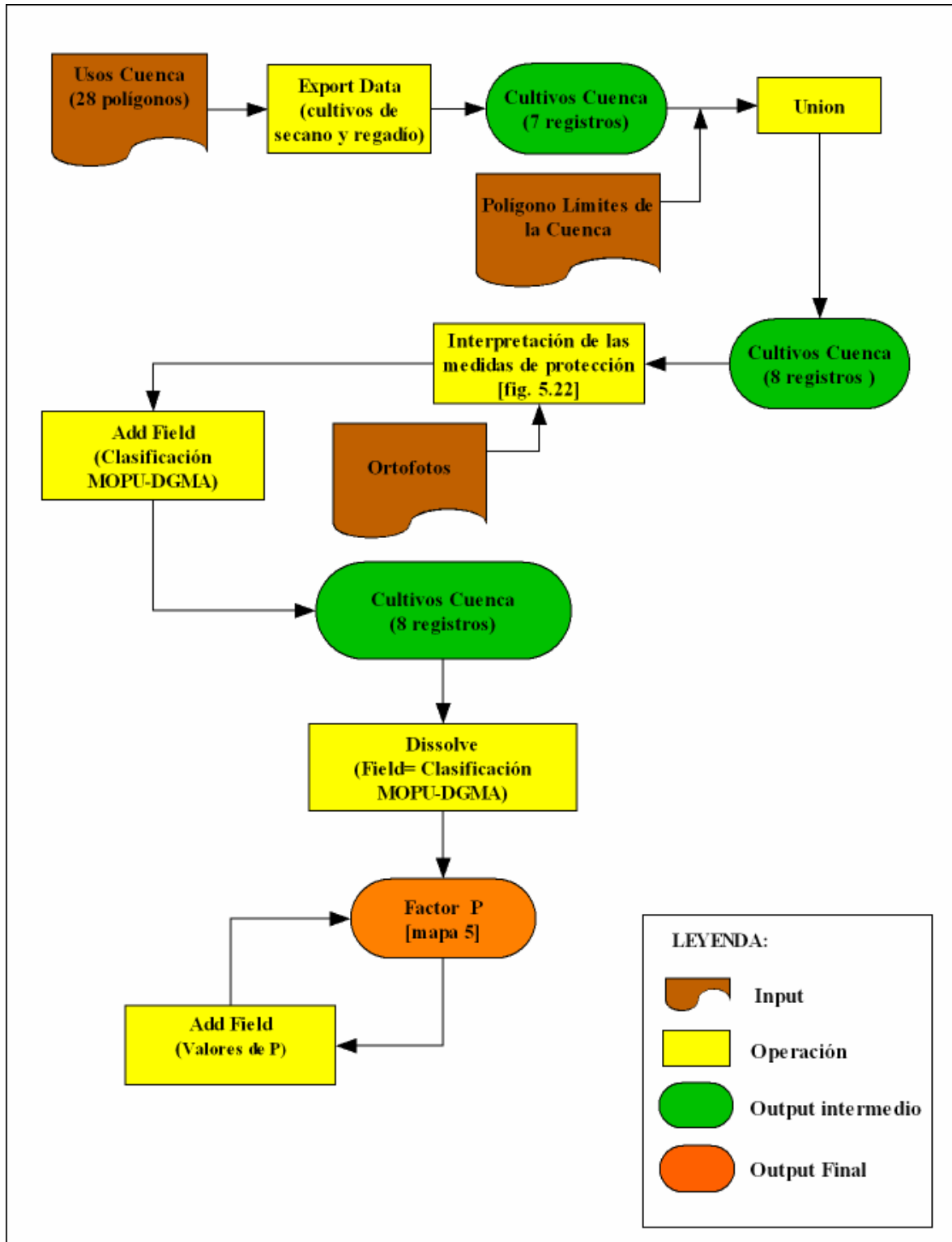
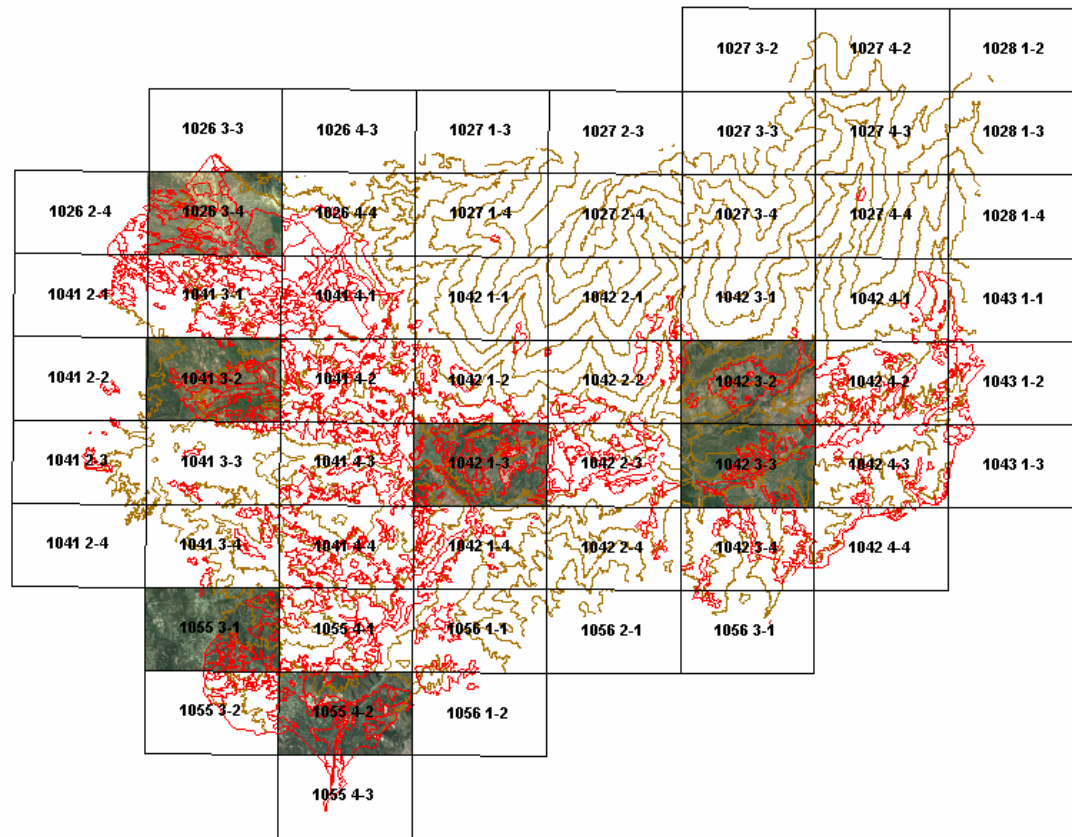


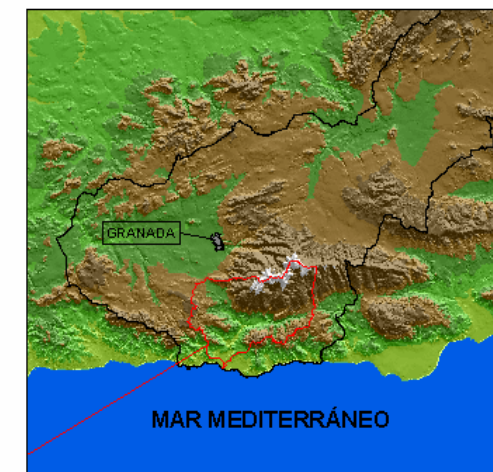
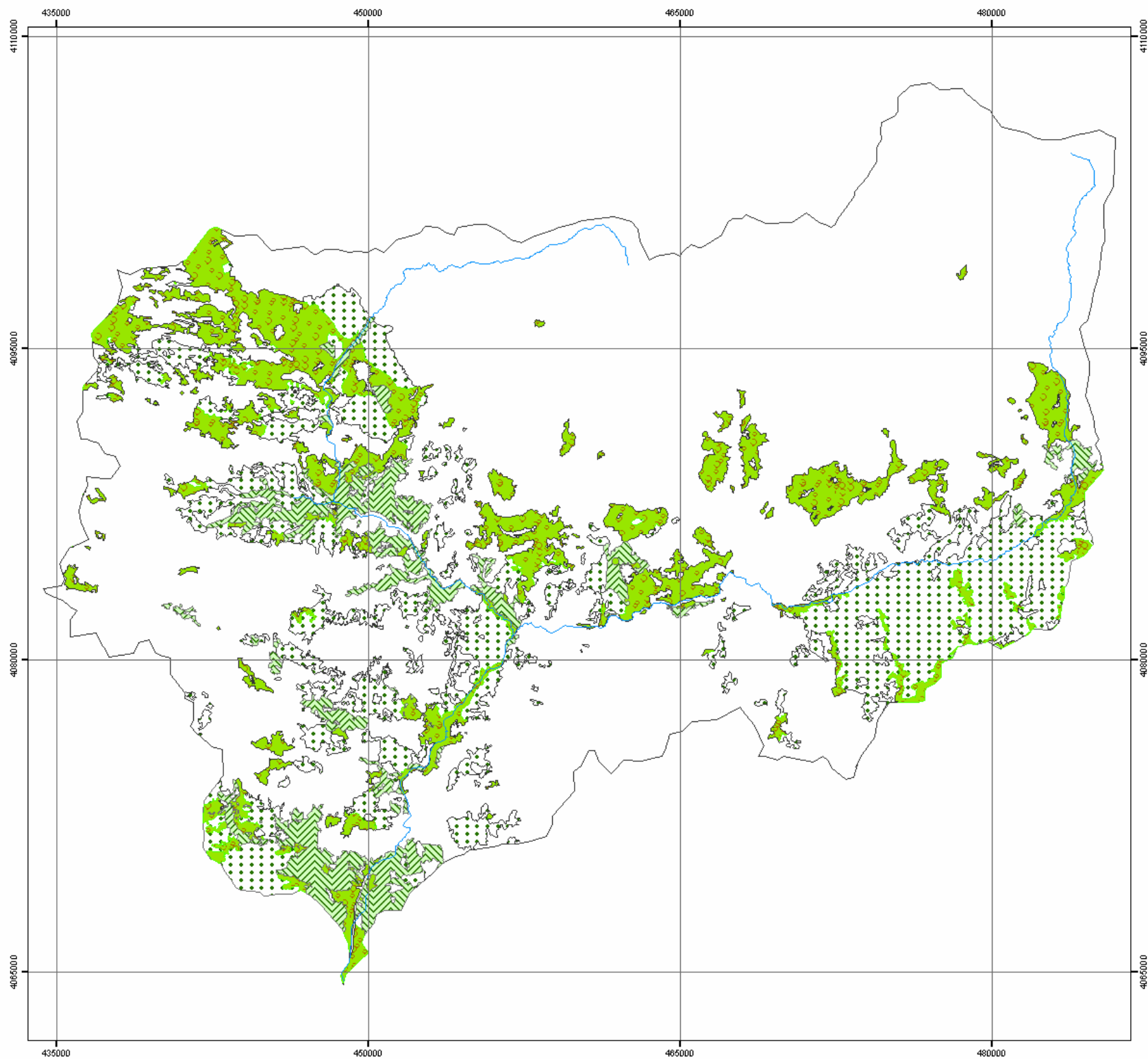
Figura 5.21: Diagrama de flujos de operaciones con ArcGis 9.1 para el cálculo del factor P



LEYENDA	
	Hojas Topográficas
	Cultivos
	Curvas de Nivel



Figura 5.22: Fotointerpretación de las medidas de protección



LEYENDA

- Ríos
- Clasificación P por MOPU-DGMA**
- Medidas de protección:**
- A nivel
 - Fajas
 - Sin medida
 - Terrazas

5.130 0 5.130 m.



MAPA 5	FACTOR P
Proyecto	Erosión Cuenca del Guadalfeo
Fecha	Junio 2006
Autor:	Carlos Rodríguez López



5.6.- VALOR A

Para obtener el mapa final de riesgo de erosión hay que integrar bajo el marco de la USLE. Para ello, hay que pasar a raster los factores que estén en vectorial, es decir, todos los factores a excepción de LS. El campo sobre el que se va a rasterizar es el correspondiente al valor del factor en la ecuación USLE. A continuación, se multiplican todos los factores en la calculadora raster para obtener el valor de A (Formula 5.3).

$$[\text{Factor_R_raster}] * [\text{Factor_LS}] * [\text{Factor_K_raster}] * [\text{Factor_C_raster}] * [\text{Factor_P_raster}]$$

Fórmula 5.3: Cálculo de A en la calculadora raster

El resultado obtenido se reclasifica en distintos grados de erosión según la UNESCO en la “Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos” (Confederación Hidrográfica del Sur de España, 1993) (tabla 5.15).

Grado de erosión Hídrica	Pérdidas de suelo (Tm/Ha·año)
Ninguna a ligera	< 10
Moderada	10-50
Alta	50-200
Muy alta	> 200

*Tabla 5.15: Grados de erosión hídrica adoptados por la UNESCO
(Confederación Hidrográfica del Sur de España, 1993)*

El valor medio erosión para toda la cuenca es de 59,32 Tn/Ha·año, por lo tanto, la Cuenca del Guadalfeo presenta un grado de erosión hídrica alto. Del análisis cuantitativo realizado se puede definir la existencia de cuatro áreas bien diferenciadas en lo que a pérdidas de suelo se refiere (mapa 6).

Por un lado, la zona de Contraviesa (Bajo Cádiz, Lobras, Torvizcón y Alcazar), con pérdidas de suelo muy altas (a menudo superan los 200 Tm/Ha·año). Este valor está

relacionado con una escasa protección vegetal constituida por cultivos de secano (olivos, almendros y viñedos), la presencia de filitas, que es la segunda litología más erosionable, y unas medidas de protección muy poco eficaces como son los cultivos a nivel.

La situación es un poco más favorable en la vertiente sur de Sierra Nevada, aunque las pérdidas de suelo son altas (frecuentemente más de 50 Tm/Ha·año). Estos valores se deben a una elevada erosividad de la lluvia (entre 230,2 y 191,09), elevado factor topográfico, la ausencia de medidas de protección y mucha superficie de pastizal-erial que aumenta la vulnerabilidad frente al fenómeno. Los valores más bajos (inferiores a 10 Tm/Ha·año) responden a una aceptable densidad en la cobertura vegetal natural. Hay que destacar que la litología toda Sierra Nevada presenta el menor valor de erosionabilidad que corresponde a los micasquistos Nevado-Filábrides. Por otro lado, hay que citar el número aceptable de obras de corrección en la zona, por ejemplo en el río Chico y Sucio (foto 5.1)



Foto 5.1: Diques de contención en La Alpujarra

En las subcuencas centrales y la Sierra de Lújar, la erosión es muy elevada sólo en la zona de Rules. Estos valores en Rules coinciden con presencia de cultivos de secano y presencia de filitas. El hecho de que en la Sierra de Lújar tenga valores moderados (mayoritariamente menores de 50 Tm/Ha·año) se debe a la baja erosionabilidad de las rocas carbonatadas que afloran y a la buena protección que ofrece el matorral y pastizal arbolado, y el monte mixto y de repoblación.

Finalmente, en el sector occidental de la cuenca (subcuenca del río Izbor, las Guájares y la desembocadura del río Guadalfeo) es donde se observa una menor susceptibilidad a la erosión (valores inferiores a 10 Tm/Ha·año), debido a la presencia de materiales carbonatadas, zonas con una cubierta vegetal aceptable (matorral arbolado y monte mixto) y zonas llanas con cultivos abancalados (Valle del Lecrín y el litoral).

En la tabla 5.16 se resume la erosión media de la superficie de los términos municipales incluida en los límites de la cuenca. Hay que tener en cuenta que existen algunos municipios en la presente tabla cuyo término municipal supera los límites estrictos de la cuenca.

MUNICIPIO	Erosión media (Tn/Ha·año)
Lanteira	17,33
Jeréz del marquesado	5,65
Trevélez	75,70
Alpujarra de la Sierra	2,67
Bérchules	33,83
Dílar	3,37
Capileira	89,57
El Padúl	19,94
Dúrcal	56,15
Lanjaron	43,73
Nigüelas	44,41
Cañar	47,15
Soportujar	38,11
Pampaneira	71,39
Portugos	45,49
Villamena	25,27
Albuñuelas	27,76
Juñives	38,09
Busquistar	28,49

Lecrín	31,93
Bubión	79,79
Cádiar	63,08
Castaras	102,39
Valle (el)	36,30
Lobras	108,98
Almegijar	151,90
Pinar (el)	51,79
Carataunas	98,12
Orgiva	91,28
Taha (la)	89,25
Guájares (los)	45,92
Torvizcón	122,18
Albondón	0,00
Vélez de Benaudalla	76,36
Lenteji	3,92
Itrabo	36,39
Sorvilan	0,34
Jete	6,90
Rubite	0,00
Polopos	15,67
Molvízar	33,47
Salobreña	21,12
Motril	14,19

Tabla 5.16: Erosión media en la superficie de los términos municipales incluida en los límites de la cuenca

A continuación se expone en un diagrama de flujo (figura 5.23), la secuencia todas las operaciones SIG a realizar para obtener el valor de A.

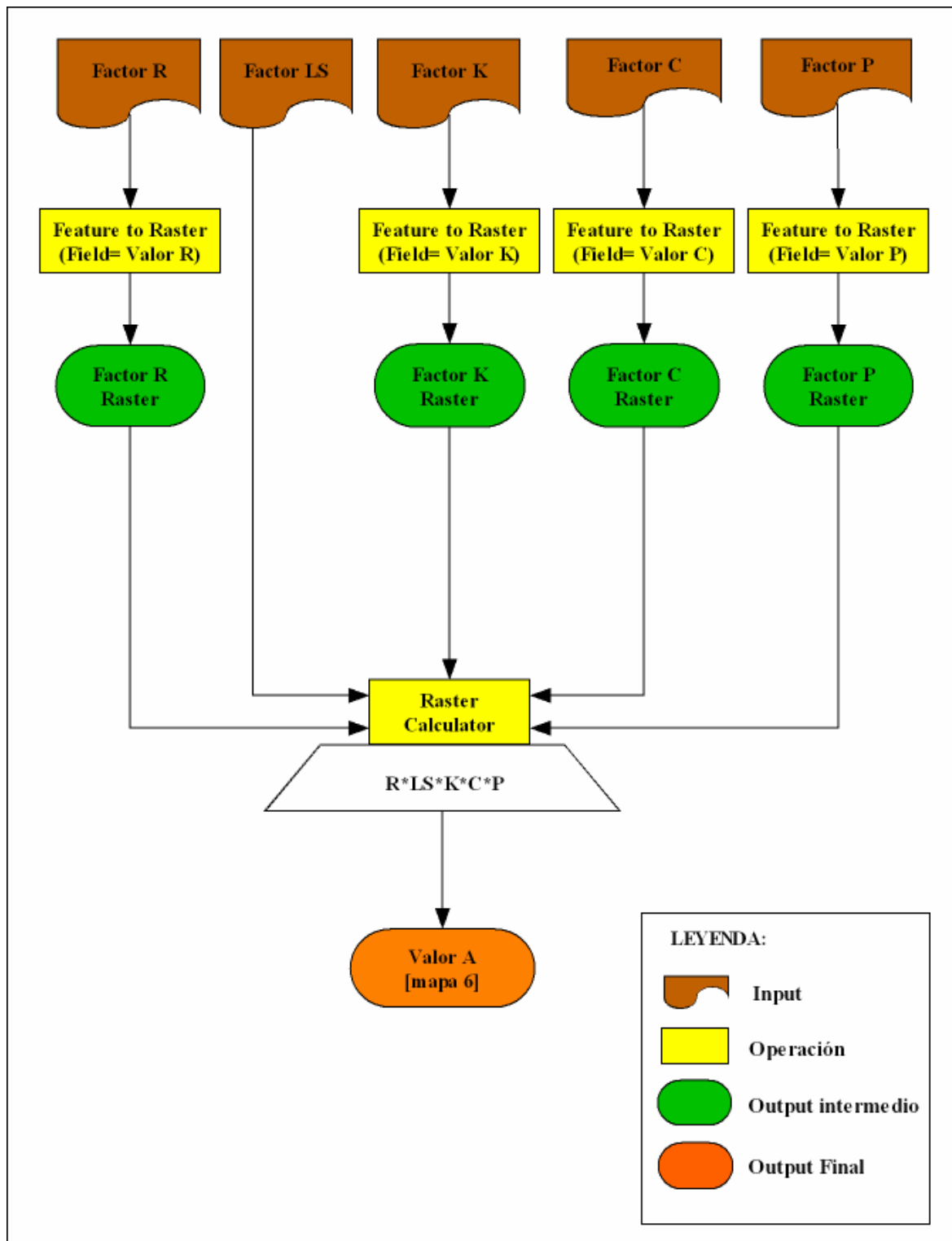
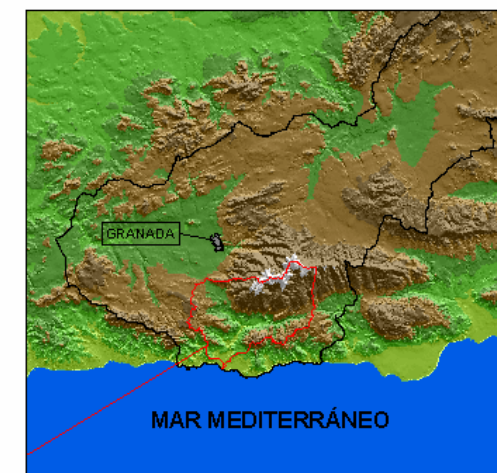
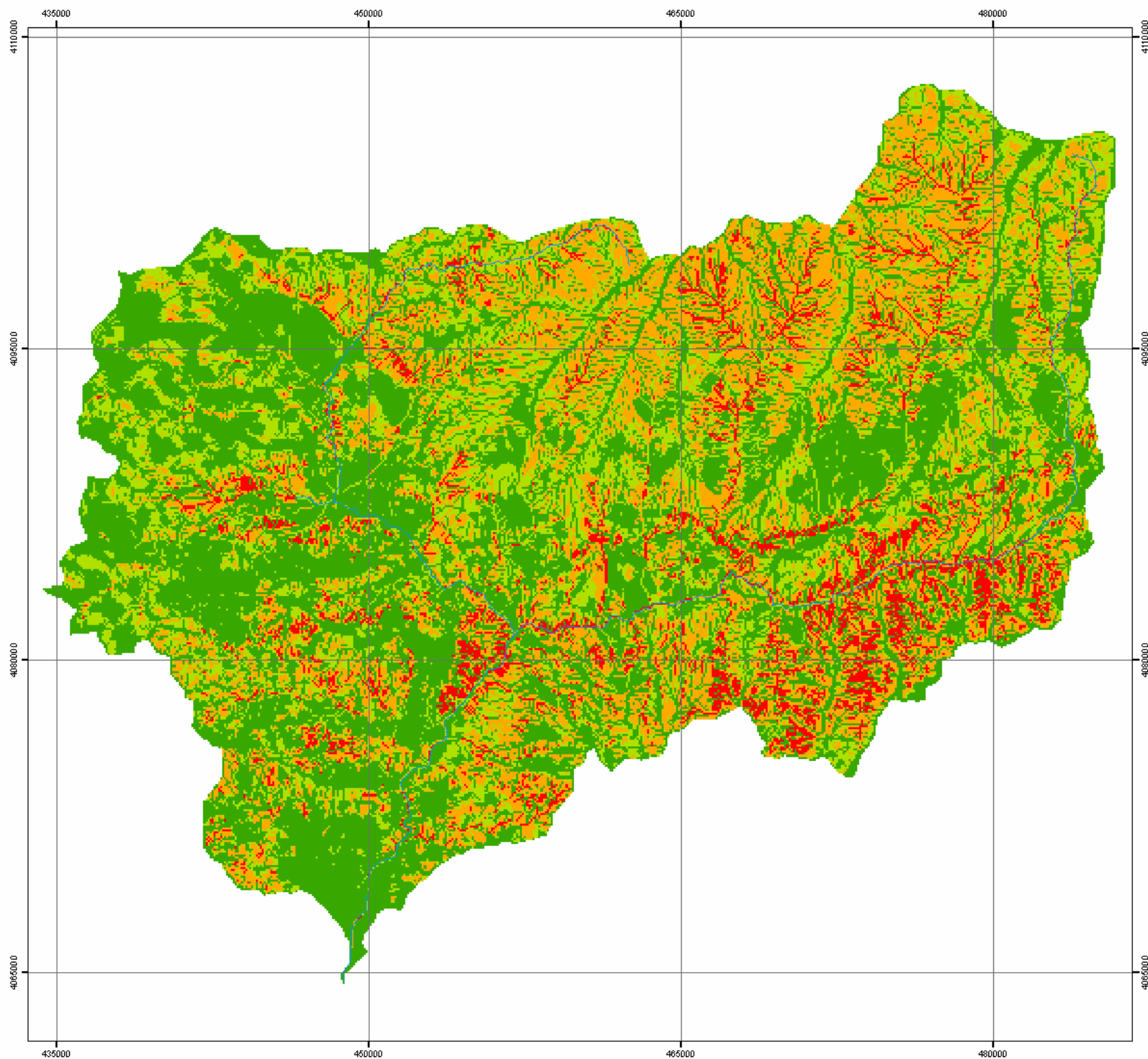


Figura 5.23: Diagrama de flujos de operaciones con ArcGis 9.1 para el cálculo del valor A



LEYENDA

— Ríos

Clasificación A por UNESCO

Tm/Ha-año

- < 10
- 10 - 50
- 50 - 200
- > 200

5.130 0 5.130 m.



MAPA 6	VALORA
Proyecto	Erosión Cuenca del Guadalfeo
Fecha	Junio 2006
Autor:	Carlos Rodríguez López



7.- BIBLIOGRAFÍA

- ALBA-TERCEDOR, J; JIMÉNEZ MILLÁN, F. *Evaluación de las variaciones estacionales de la calidad de las aguas del río Guadalfeo basada en le estudio de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y de los factores físico-químicos*. Madrid: ICONA, 1985. 174 p. Monografía 48. ISBN:84-505-6554-5.
- AGRAWAL, M.L; DIKSHIT, A.K.; GHOSE, M.K. “Impact assessment on soil erosion due to highway construction using GIS”. Indian Institute of Technology Kharagpur (W.B.) and Bombay (M.S.), 2003
- CARDENAL ESCARACENA, Francisco Javier. *Tesis Doctoral Universidad de Granada: Hidrogeología del sector de la Sierra de Lujar-Albuñol (Provincia de Granada)*. Granada: Instituto del agua-departamento de geodinámica, 1993. 354 p.
- CASTILLO MARTÍN, Antonio. “Aguas y acequias en La Alpujarra (Sierra Nevada) ”. Ed. Rosúa y Cátedra UNESCO. II Conferencia de La Alpujarra, 1999. p.151-164.
- CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL SUR DE ESPAÑA. *Anteproyecto de restauración hidrológico-forestal de la cuenca del embalse de Rules sobre el río Guadalfeo*. Agosto, 1993
- FORBES,B; DAVENPORT, L; CRUCE, B; YAZEL, K. “ Using GIS to Estimate Soil Loss Rates in Denton Country, Texas”. Advanced Geographic Information System, 2001.
- GRAMS, P. “Estimating annual sediment yield and a sediment delivery ratio for Red Creek, Utah and Wyoming”. Department of Geography and Earth Resources Utah State University, 1999.
- INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA. *Atlas Hidrogeológico de Andalucía*. Madrid: ITGE: Junta de Andalucía, 1998. 216 p. ISBN: 84-7840-351-5
- JUNTA DE ANDALUCIA. Ortofotografía digital de Andalucía (Color). Sevilla: Junta de Andalucía, 2003. ISBN.: 84-95785-27-7.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. Modelo digital de elevaciones 100 m. Junta de Andalucía. Conserjería de Obras Públicas y Transportes, 1999. ISBN: 84-8095-186-9

- MARIOTA,P; THORNES, J.B; GEESON, N. *Atlas of Mediterranean Enviroments in Europe*. London: Cambridge University Press, 1996.
205 p. ISBN: 0-471-96092-6.
- MÁRQUEZ PÉREZ, J. *Modelos de Superficies: Generación, Análisis y Aplicaciones*. Sevilla: II Master Universitario en Sistemas de Información Geográfica: Planificación, Ordenación Territorial y Medio Ambiente, 2006.
154p.
- MINISTERIO DE FOMENTO, DIRECCIÓN GENERAL DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. *Mapa guía Sierra Nevada-Las Alpujarra*.1ª ed. [Mapa analógico esc. 1:100000] Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica
- MITASOVA, H; MITAS, L. “Modeling soil detachment with RUSLE 3d using GIS”. University of Illinois at Urbana-Champaign, 1999.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). *Carta mundial de suelos*. FAO, 1982.
- PERLES ROSELLÓ, Maria Jesús. *Problemas entorno a la erosión hídrica. Conceptos y métodos de análisis*. Málaga: Servicios de publicaciones e Intercambio Científico de la Universidad de Málaga, 1996. 104 p. ISBN: 84-7496-616.
- RODRIGUEZ, María; FLORENTINO, Adriana; GALLARDO, Juan *et al*. *Sistemas de Inmación geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España aplicando la metodología USLE Agronomía Tropical.*, octubre 2004, vol. 54, no.4, p.391-410. ISSN: 0002-192X.
- R.P.C. MORGAN. *Erosión y conservación del suelo* Ediciones Mundi-Prensa, 1997. 343 p. ISBN: 84-7114-679-7.
- WIJESEKERA, S; SAMARAKOON, L.” Extraction of parameters and modelling soil erosion using GIS in a grid environment ”. Center for Remote Imaging, Sensing, and Processing, National University of Singapore; Singapore Institue of Surveyors and Valuers; Asian Association on Remote Sesing. 22nd Asian Conference on Remotre Sensing, 2001
- ZALUSKI, M.H; CONSORT, J.J.; ANTONIOLI,S.B. “Soil Erosion and Deposition Modeling Using ArcGisTM “.MSE technology Applications, USA. 2000

Paginas Web:

- AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA. *Características y localización de las presas en la distintas provincias andaluzas del sector oriental* [en línea] .[ref. 1 Noviembre de 2005] Disponible en web:
<http://www.agenciaandaluzadelagua.com/inventario/mapasat.htm>
- AYUNTAMIENTO DE PADUL. *Recursos naturales*. [en línea] [ref. 17 Marzo de 2006] Disponible en web:
<http://www.elpadul.es/modules.php?name=News&file=article&sid=21>
- CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE. *Información ambiental. Parque Naturales y Parques Nacionales protegidos*. [en línea] .[ref. 29 Diciembre de 2005]Disponible en web:
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/espacios_naturales/indparquesnac.html y
http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/espacios_naturales/indparques.html
- CONSEJERIA DE MEDIO AMBIENTE. *Plan INFOCA 2000*. [en línea]. [ref. 4 Enero de 2006] Disponible en web:
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/incendios/infoca2000/infoca7.html#08>
- GARCIA DE MIGUEL, JOSE MARIA. *Itinerarios culturales relacionados con el patrimonio histórico minero*. [en línea] .CIIC Annual Meeting Report, 2003 [ref. 29 Diciembre de 2005] Disponible en web: http://www.icomos-ciic.org/CIIC/pamplona/ESTRATEGIAS_%20Garc%C3%ADadeMiguel.htm
- GELER, T; LINGTENBERG, A; ROLF, A.” *Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión en los suelo debido a los cambios en el uso de tierra*”. 2004 Disponible en web: http://www.mappinginteractivo.com/pantilla-ante.asp?id_articulo=508
- INSTITUTO DE ESTADÍSTICA DE LA JUNTA DE ANDALUCIA. *Población. Economía. Agricultura, ganadería y pesca* [en línea] .[ref. 29 Diciembre de 2005] Disponible en web:
<http://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadistica/sima/htm>

- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. *Corine*. . [en línea] [ref. 15 Abril de 2006] Disponible en web:
http://www.fomento.es/MFOM/LANG_CASTELLANO/DIRECCIONES_GENERALES/INSTITUTO_GEOGRAFICO/Teledeteccion/corinel/
- JESÚS MARIA SEPRÚM. *Factores naturales de producción agropecuaria*. . [en línea]. UNESUR [ref. 25 octubre de 2005]. Disponible en web:
<http://www.monografias.com/trabajos15/suelo-erosion/suelo-erosion.shtml#SUELO>
- LÓPEZ GETA, Juan Antonio; et al. *Manuales para la utilización de acuíferos. Investigación hidrogeológica para el apoyo de la gestión hidrológica en la cuenca del río Guadalfeo (Granada): Planteamiento del estudio y síntesis de los resultados*. [en línea]. IGME, 1991.[ref. 25 octubre de 2005]. Disponible en web: <http://aguas.igme.es/igme/homeec.htm>
- MERCHE S. CALLE - J. E. GOMEZ. *Series de vegetación en Sierra Nevada*. [en línea] [ref. 3 Enero de 2006] Disponible en web:
<http://waste.ideal.es/seriesdevegetacion.htm>
- MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. *Lucha contra la desertificación-Proyecto LUCDEME*. . [en línea] [ref. 14 Abril de 2006] Disponible en web:
http://www.mma.es/conserv_nat/acciones/desertificacion/html/lucdeme.htm
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN. Aplicación SIGCH: Datos meteorológicos y factor R. [en línea] [ref. 5 Junio de 2006] Disponible en web: <http://www.mapa.es/siga/inicio.htm>
- GELER, T; LINGTENBERG, A; ROLF, A.” *Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión en los suelo debido a los cambios en el uso de tierra*”. 2004 Disponible en web: http://www.mappinginteractivo.com/pantilla-ante.asp?id_articulo=508

