

Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua 2007/2008

MÓDULO III: RECURSOS HÍDRICOS

CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

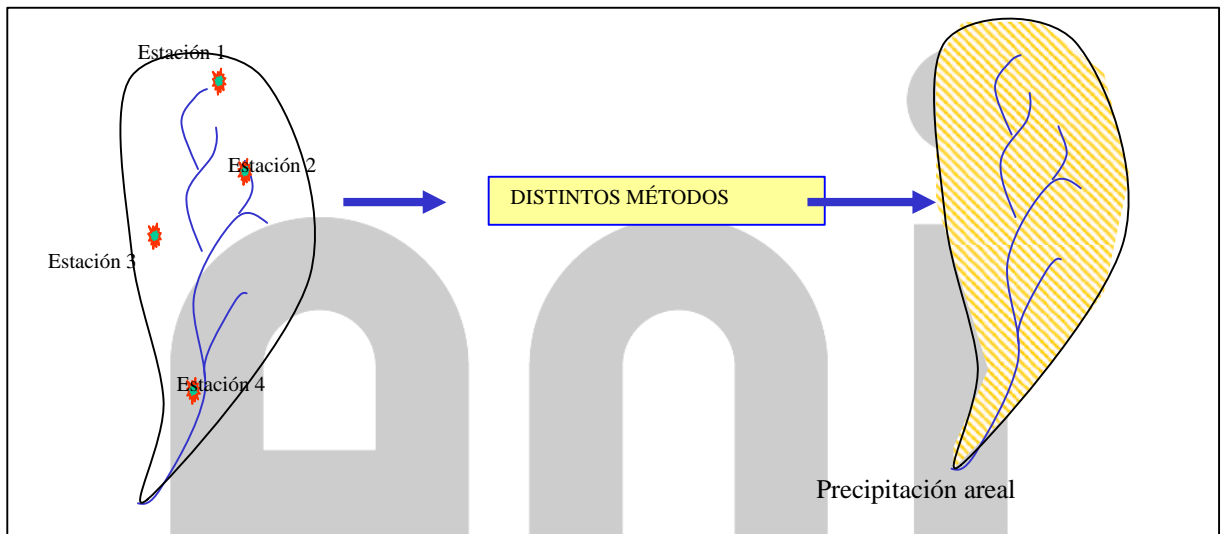
AUTOR: FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ MARTÍNEZ

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.	3
2. PREPARACIÓN DEL EJEMPLO.....	3
3. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE LA MEDIA ARITMÉTICA....	6
2. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE EL MÉTODO DE THIESSEN.	8
4. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS ISOYETAS.....	14
5. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE EL MÉTODO DE THIESSEN MODIFICADO.....	26

1. INTRODUCCIÓN.

Dentro de cualquier estudio hidrológico es necesario conocer cual es la precipitación en la toda la cuenca y no en puntos determinados que es la información que nos dan los pluviómetros. Para conocer esta precipitación areal disponemos de una serie de pluviómetros distribuidos por la cuenca (con mayor o menor homogeneidad) que son únicamente una muestra de la precipitación que recibe la cuenca.



A continuación desarrollaremos un ejemplo de cómo calcular esta precipitación areal mediante GIS y los siguientes métodos:

- Media aritmética.
- Polígonos de Thiessen.
- Isoyetas.
- Thiessen modificado.

2. PREPARACIÓN DEL EJEMPLO.

Este ejemplo se desarrollará para la cuenca de la estación de aforos de Velillos, por lo que será necesario cargar el citado shapefile. Los datos puntuales de precipitación son los que se presentan dentro del shape “**Pluviómetros Velillos Recursos.shp**”, cuya tabla de atributos contiene la siguiente información:

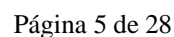
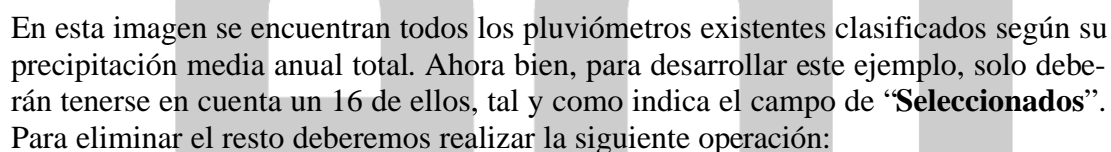
ID	Shape*	ESTACION	X_UTM	Y_UTM	ANOS_TOTAL	ANOS_COMPL	PMA_A_COMP	COEF_VARIA	COEF_SESO	PMA_CLAS	SELECCIONA
0	Point	5254	443956	4156790	69	43	603.1	0.33	0.87	509.4	SI
1	Point	5403	403405	4144185	30	18	575.6	0.26	0.89	572.1	SI
2	Point	5406	418145	4148805	65	46	675.3	0.3	0.41	679.1	SI
3	Point	5407	416620	4153910	35	19	625.3	0.32	0.49	644.4	SI
4	Point	5408	403935	4161135	60	45	538	0.26	0.5	531.5	NO
5	Point	5415	399020	4150095	66	42	565.9	0.29	0.2	556.4	NO
6	Point	5418	423165	4160780	29	21	610.9	0.31	1.52	776.6	SI
7	Point	5420	420180	4167125	55	34	603.8	0.27	0.41	591.6	NO
8	Point	5422	415730	4163165	45	35	723.9	0.31	0.73	709.5	SI
9	Point	5538	447405	4131155	52	39	563	0.28	0.41	494.6	SI
10	Point	5539	448950	4123795	44	41	512.3	0.2	0.83	504.5	NO
11	Point	5540	445275	4125315	65	42	488.7	0.37	0.29	488.7	NO
12	Point	5541	440475	4126120	65	39	510.4	0.31	0.24	501.7	NO
13	Point	5542	431805	4150070	39	23	823.1	0.36	0.38	785.0	NO
14	Point	5543	440405	4150630	44	35	617.7	0.37	0.48	617.5	NO
15	Point	5545	436735	4136315	55	43	582.1	0.29	0.52	581.5	SI
16	Point	5547	437315	4131680	19	12	472.3	0.22	0.51	503.1	NO
17	Point	5548	436945	4124605	33	22	448.6	0.29	0.39	454.4	SI
18	Point	5549	439950	4123040	62	27	445.7	0.36	0.66	445.4	NO
19	Point	5550	425820	4144820	18	8	468.3	0.2	1.01	543.0	SI
20	Point	5552	431450	4135510	24	22	522	0.25	0.5	503.6	SI
21	Point	5553	430435	4133130	60	43	582.7	0.32	0.37	582.4	NO
22	Point	5554	433025	4131895	45	38	529.9	0.25	0.23	526.5	SI
23	Point	5556	421950	4127195	68	39	563.6	0.33	0.96	568.1	SI
24	Point	5557	429955	4123930	32	24	525.3	0.28	1.11	491.2	SI
25	Point	5578	414130	4114635	33	22	426.6	0.35	0.44	424.7	SI
26	Point	5579	410970	4130640	81	48	613.5	0.32	0.72	618.5	SI
27	Point	5580	407130	4117175	55	27	403.6	0.34	0.4	387.2	NO

IMPORTANTE:

Este fichero shape muestra la ubicación de los pluviómetros existentes para la realización del estudio de recursos hídricos, y será empleado durante todo el trabajo práctico. Para el desarrollo de este ejemplo, se emplearán los datos de Precipitación Media Anual Clase, penúltima columna PMA_CLASE, si bien no tienen validez a la hora de la realización del trabajo práctico.

Previamente al desarrollo del ejemplo, será necesario cargar en en ArcGis tanto la cuenca como el tema de los pluviómetros. También, para facilitar el análisis de los resultados, es recomendable situar el shapefile de los ríos.

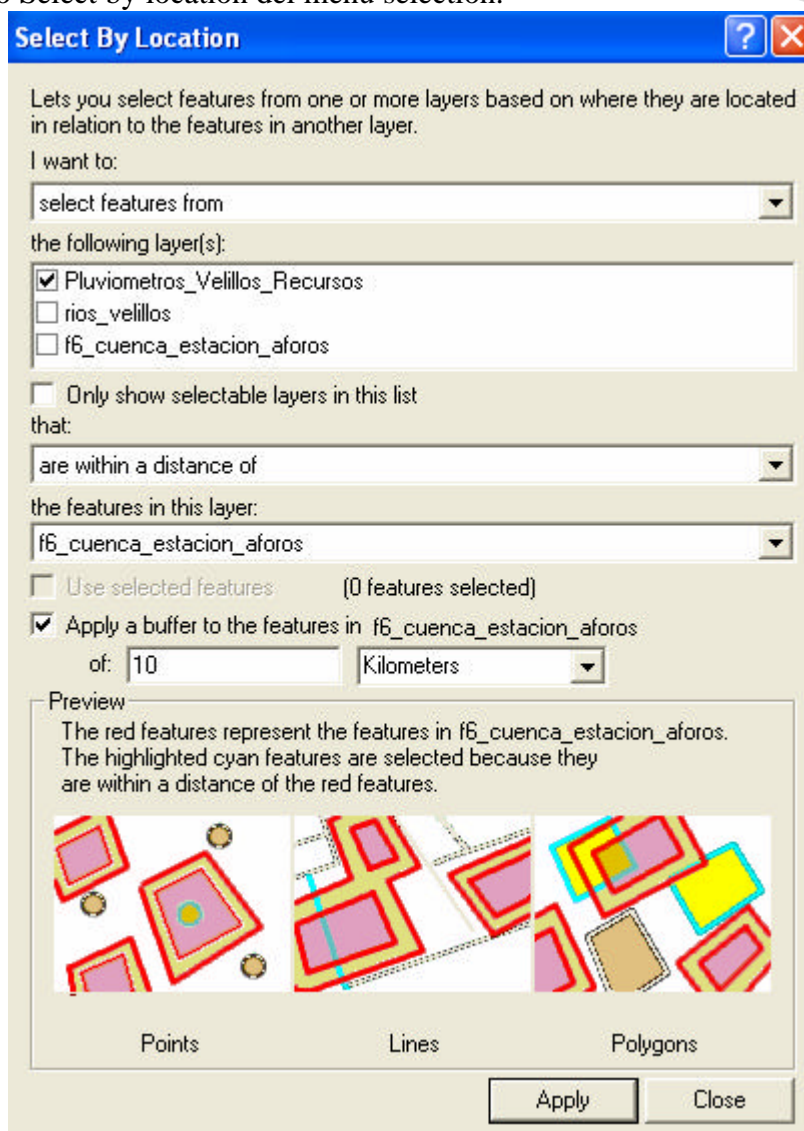
Una vez realizadas estas operaciones, el aspecto que deberá tener nuestra vista será el siguiente:



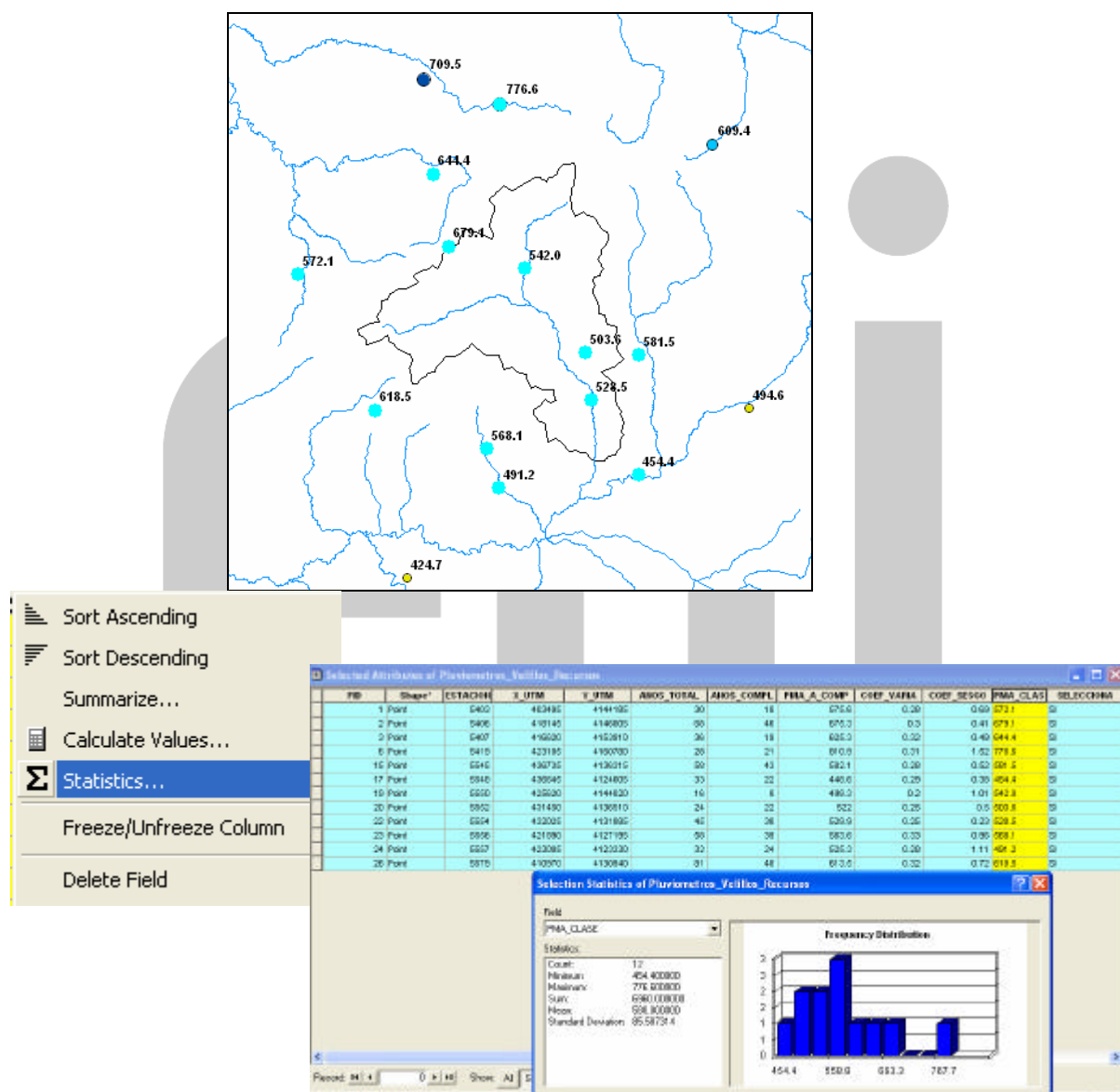
3. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE LA MEDIA ARITMÉTICA.

Si bien este método es extremadamente sencillo y en general no es necesario utilizar sistemas de información geográfica, si nos permitirá ejercitarnos con algunas funcionalidades de arcgis.

Puesto que tal y como se ve en la figura hay muchos pluviómetros muy lejanos a la cuenca, vamos a considerar la media aritmética como la de todos los pluviómetros existentes dentro de la cuenca y a menos de 10 kms de ella, para lo cual utilizaremos el comando Select by location del menú selection.



El programa selecciona aquellos pluviómetros que cumplen esta condición, para calcular la media, simplemente abrimos la tabla de atributos y seleccionando el campo que contiene la precipitación y utilizando el comando statistics del menú field obtenemos los parámetros estadísticos solo de los 5 pluviómetros seleccionados:



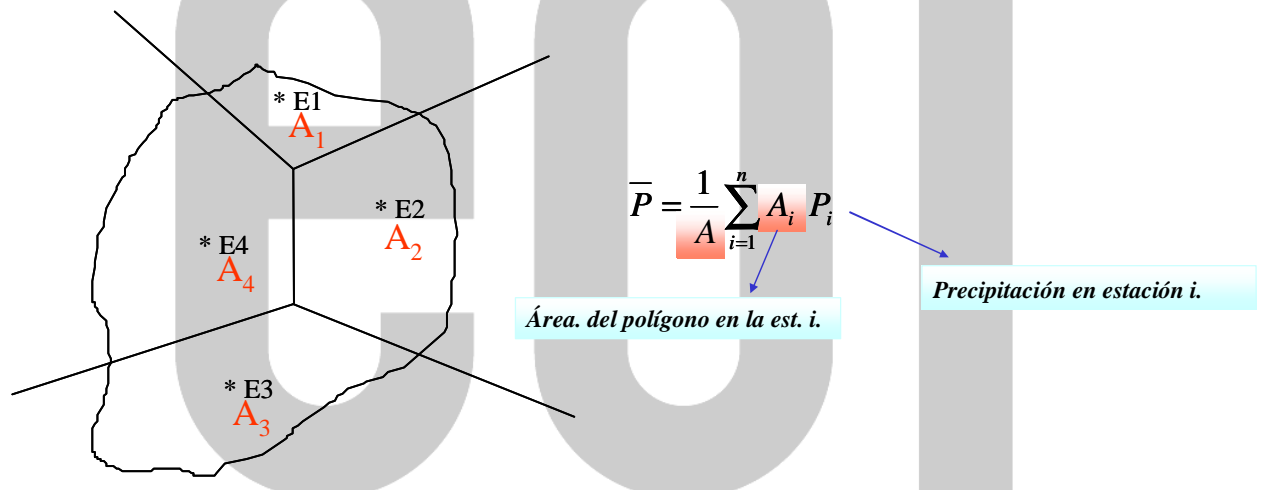
Donde se aprecia como ha seleccionado 12 pluviómetros que cumplen esa condición, siendo la precipitación media en la cuenca es 580 mm y una desviación típica de 85 mm.

4. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE EL MÉTODO DE THIESSEN.

Es uno de los métodos más empleados en la obtención de precipitaciones medias sobre una cuenca. Se basa en ponderar las precipitaciones en cada estación en función de un área de influencia.

Es más exacto que el método de la media aritmética, pero si existe algún cambio en la red de estaciones consideradas deben construirse nuevamente los polígonos. Un aspecto fundamental de este método es que no tiene en cuenta las influencias de la orografía en la lluvia.

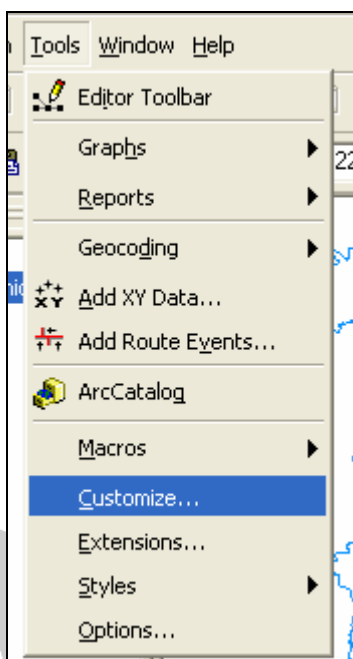
Para la determinación de las zonas de influencia de las estaciones se unen las estaciones de tres en tres, trazando las mediatrices de los triángulos y uniéndolas convenientemente se forman unos polígonos, limitados exteriormente por los límites de la cuenca, cuyas superficies se corresponden a las zonas de influencia de cada estación.



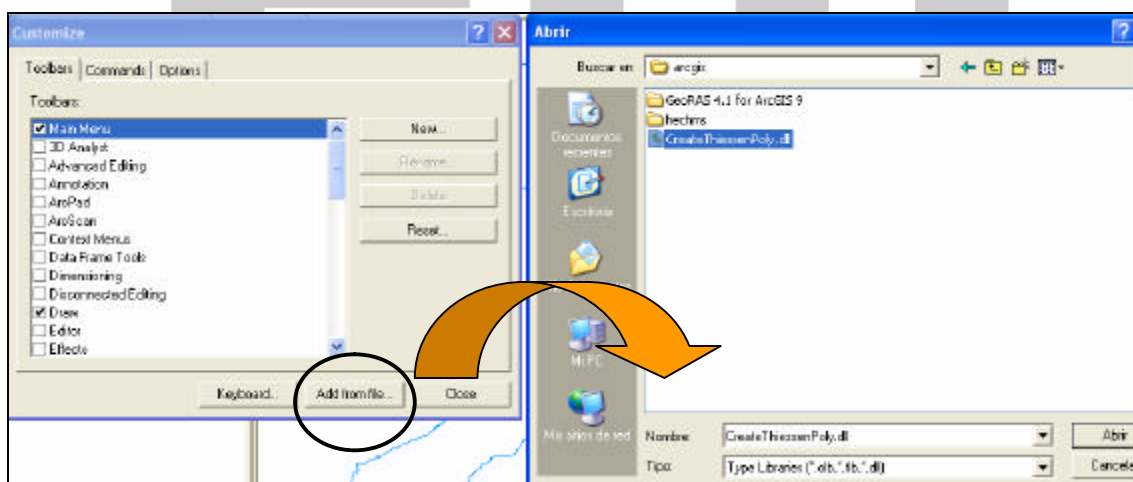
Los coeficientes de Thiessen son el cociente entre el área de influencia de cada estación y el área total de la cuenca.

En este ejemplo, se van a calcular añadiendo una nueva funcionalidad a ArcGis:

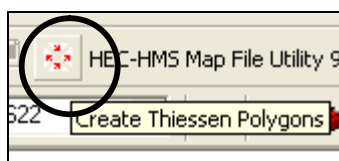
- 1) Extraer el fichero **CreateThiessenPoly.dll** del fichero comprimido y guardarlo en el disco duro del ordenador.
- 2) Cargar el fichero CreateThiessenPoly.dll en ArcMap mediante el menú herramientas (Tools) y posteriormente personalizar (Customize):



A continuación, se debe agregar la nueva barra de herramientas “toolbar” desde un archivo (add from file...) debiendo seleccionar el fichero antes extraído “CreateThiessenPoly.dll”



Aparecerá entonces el icono que nos permitirá calcular los polígonos de thiessen asociados a una capa de puntos.



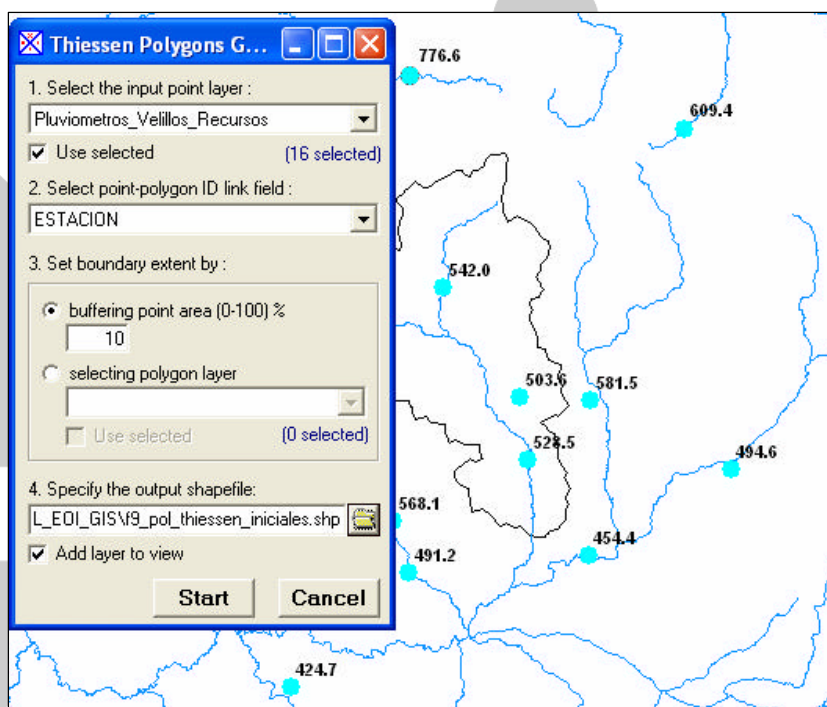
Las fases para calcular los polígonos son:

1. Seleccionar los pluviómetros con los que se quieren generar los polígonos Thiessen. Si no se seleccionan, la aplicación toma por defecto todos los pluviómetros del shape, incluidos los que no se están mostrando al no haberse seleccionado.

2. Seleccionar el icono de crear polígonos de Thiessen

3. Seleccionar la capa de puntos a partir de la cual se generarán los polígonos. Será por lo tanto el tema de puntos de pluviómetros. La aplicación permite generar los polígonos de los puntos seleccionados o de todos ellos, en este caso se elige los puntos seleccionados.

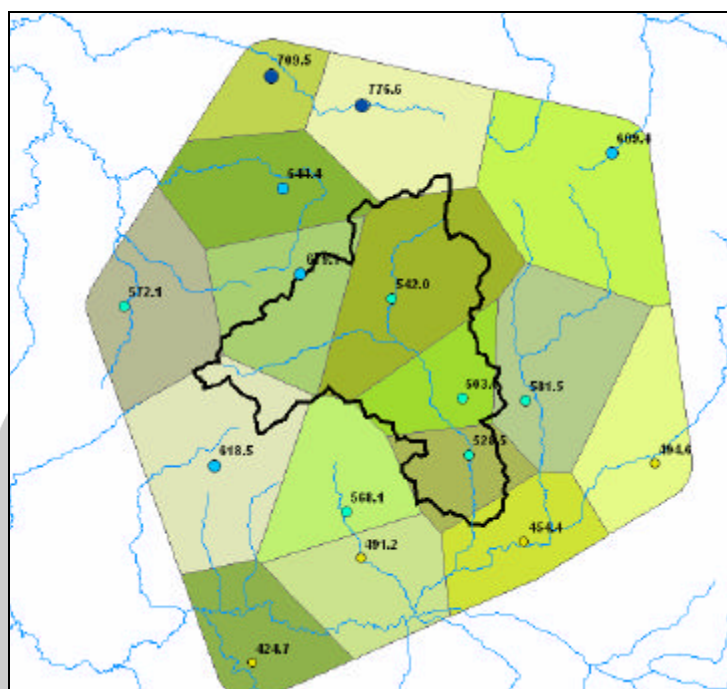
4. Seleccionar el campo de la capa de puntos por el cual se identificarán posteriormente los polígonos (ID) que será el código de la estación.



5. Seleccionar los límites exteriores de los polígonos thiessen a crear. Hay dos opciones:

- a. La primera “bufferin point area” consiste en generar los polígonos thiessen extendiéndolos un cierto porcentaje de la distancia entre ellos.
- b. Identificar un tema de polígonos que sea el límite exterior de los polígonos. Esta es la opción más recomendable. Respecto al polígono en cuestión, en general, siempre que haya estaciones fuera de la cuenca que debamos utilizar en el estudio será un polígono que se creará de forma previa que englobe la cuenca y los pluviómetros que se deseen incorporar al estudio.

En general es suficiente con seleccionar la primera opción y con un buffer del 10 % se cubren convenientemente toda la cuenca y sus estaciones asociadas. Ejecutando la aplicación obtendremos los polígonos de Thiessen asociados a estos pluviómetros:



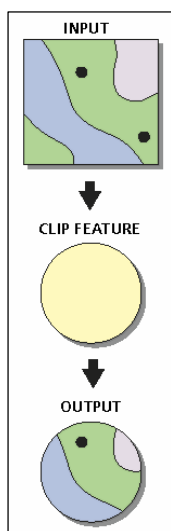
La tabla de atributos de la capa generada nos proporciona ya el área de cada polígono y su porcentaje respecto al total que equivaldría al coeficiente de thiessen.

Attributes of f9_pol_thiessen_iniciales					
	FID	Shape	ThPolyID	Area	Percent
	0	Polygon	5254	196847776.616534	10.21
	1	Polygon	5403	129455652.658023	6.71
	2	Polygon	5406	124004578.962577	6.43
	3	Polygon	5407	119613279.938209	6.2
	4	Polygon	5419	136345560.492078	7.07
	5	Polygon	5422	61763571.896031	3.2
	6	Polygon	5538	110297596.916428	5.72
	7	Polygon	5545	148499844.76448	7.7
	8	Polygon	5548	94316184.610303	4.89
	9	Polygon	5550	171942955.615539	8.92
	10	Polygon	5552	75077525.444859	3.89
	11	Polygon	5554	66743478.839153	3.46
	12	Polygon	5556	105983396.942287	5.5
	13	Polygon	5557	111324856.402428	5.77
	14	Polygon	5578	96348134.905825	5
	15	Polygon	5579	179973420.344553	9.33

Ahora bien, estos polígonos y áreas asociadas son para el conjunto de los plu-

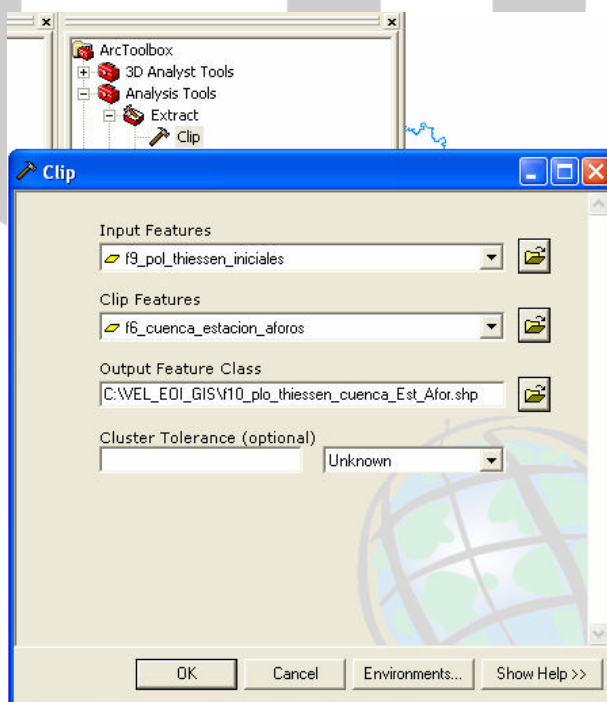
viómetros generados y NO para la cuenca asociada, que es lo que se necesita, por lo que habrá que limitar la capa de polígonos a la cuenca objeto de estudio.

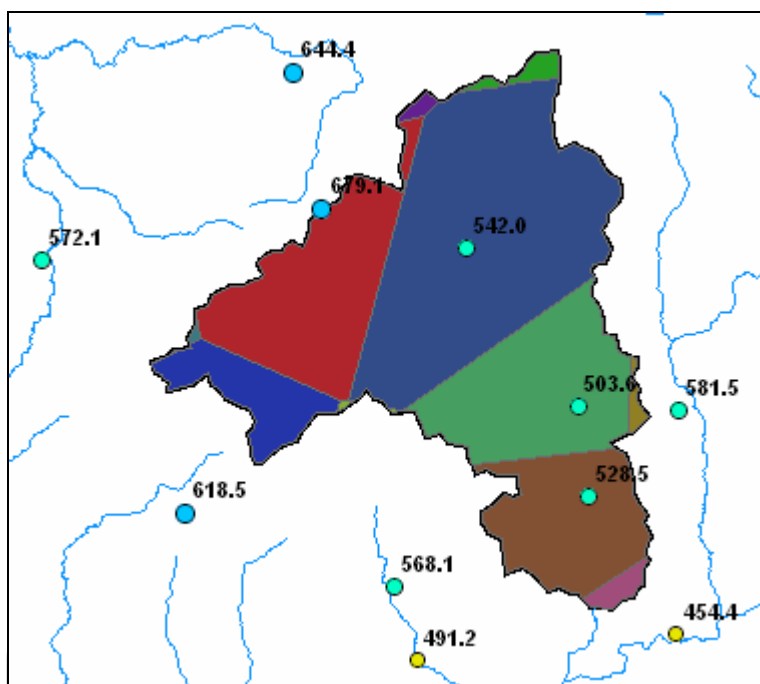
Para ello se deberá realizar un recorte a la capa de polígonos de thiessen por la capa de la cuenca. Esta operación se conoce en ArcGIS por un **“clip”** y se ejecuta del siguiente modo:



1. Activar las herramientas “ArcToolbox”.
2. Elegir dentro de la carpeta de “Análisis Tools” la herramienta “clip”
3. Elegir el tema de polígonos thiessen generado anteriormente como el tema que debe ser cortado.
4. Elegir la cuenca como tema que cortará a los polígonos de thiessen ya generados.
5. Indicar el nombre del archivo que se generará.

Obtendremos el siguiente resultado:





A continuación, se debe actualizar el campo de área y porcentaje calculados en la primera capa automáticamente por ArcGIS. Para ello abriremos la tabla de atributos y calcularemos el área y el cociente entre el área de cada polígono y el área total. El Coeficiente de Thiessen será el Área de cada polígono entre el área total.

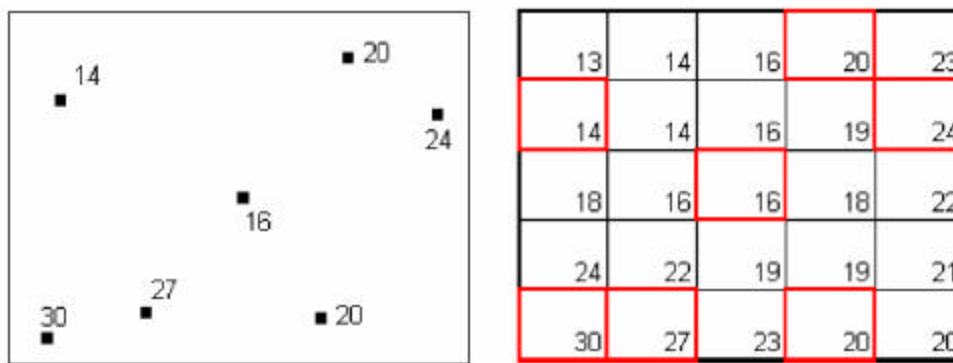
	FID	Shape ^a	ThPolyID	Area	Coef Thiessen
	0	Polygon	5403	515206.215826	0
	1	Polygon	5406	66435769.379297	0.19
	2	Polygon	5407	1384269.3451	0
	3	Polygon	5419	3240236.223466	0.01
	4	Polygon	5545	1879443.279437	0.01
	5	Polygon	5548	3800765.083452	0.01
	6	Polygon	5550	141130683.953603	0.4
	7	Polygon	5552	64568586.982876	0.18
	8	Polygon	5554	47825974.075894	0.13
	9	Polygon	5556	319977.222328	0
	10	Polygon	5579	23327596.432278	0.07

Multiplicando la lluvia de cada pluviómetro por su coeficiente de Thiessen y sumando todas las lluvias parciales obtendremos la precipitación media anual sobre la cuenca.

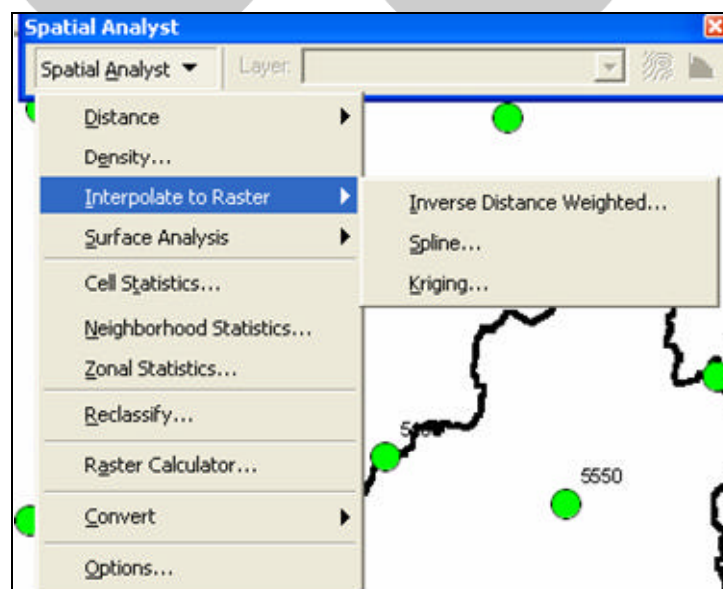
5. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE EL MÉTODO DE LAS ISOYETAS.

Las isoyetas son líneas que unen puntos de una misma precipitación. Su cálculo manual se realiza a partir del sistema de representación de planos acotados, a través de la triangulación de la red de puntos del sistema y su posterior graduación y unión.

EL proceso de interpolación que va a emplear ArcGIS va a tratar de obtener los valores de precipitación en las celdas que no disponen de información pluviométrica, tal y como se intenta representar en la siguiente imagen:



Es decir, vamos a crear una superficie continua de datos de precipitación a partir de unos datos puntuales. Para precipitaciones, ArcGIS permite interpolar datos de precipitación a través de la extensión de análisis espacial generando lógicamente un fichero raster.



Los métodos disponibles son el inverso de la distancia, los Splines (o cuñas) y el Krigeado.

5.1. INVERSO DE LA DISTANCIA (INVERSE DISTANCE WEIGHTED).

El inverso de la distancia es un método local, que usa la información procedente de los pluviómetros más cercanos (vecinos o neighbors), por el cual el valor estimado se calcula a partir de los valores de las estaciones más cercanas, dando distinto peso a cada una de ellas según la distancia a la que se encuentren del punto estimado, de forma que a mayor distancia de una estación al punto de interpolación menor será su peso.

En general, la expresión que se utiliza para emplear este método es la siguiente:

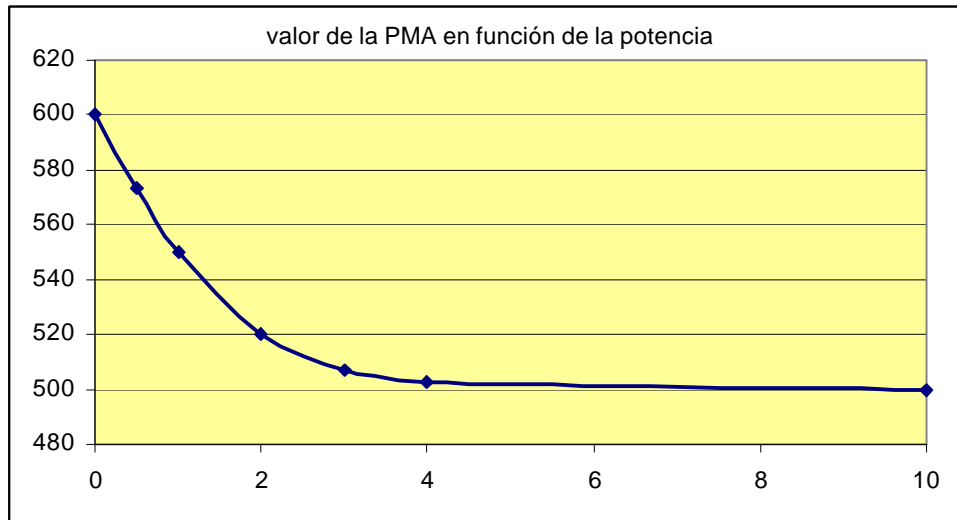
$$P_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{P_i}{D_i^{PW}}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{D_i^{PW}}}$$

Presentandose a continuación un ejemplo de aplicación de interpolación para una celda X, que dista 4, 10 y 20 km de los tres pluviómetros más cercanos:

PW	ESTACIÓN	LLUVIA	DISTANCIA	1/D ²	P/D ²
2	1	500	4	0.0625	31.25
	2	600	10	0.01	6
	3	700	20	0.0025	1.75
Suma =				0.075	39
Precipitación en X =					520

PW	ESTACIÓN	LLUVIA	DISTANCIA	1/D ²	P/D ²
4	1	500	4	0.00391	1.953125
	2	600	10	0.00010	0.06
	3	700	20	0.00001	0.004375
Suma =				0.0040125	2.0175
Precipitación en X =					502.8

Se observa como cuanto mayor es la potencia (power) del método, más peso se le da a los pluviómetros más cercanos, tal y como se muestra en la gráfica siguiente:



En hidrología, habitualmente se trabaja a partir del método del inverso de la distancia elevada al cuadrado (power = 2). Las opciones de este método que permite ArcGIS son elegir el número de estaciones vecinas que participarán en la interpolación (Nearest Neighbors) o las que se encuentren en un radio fijo y si existen barreras a la interpolación (limites) como pueden ser acantilados, etc...

Este método proporciona resultados aceptables cuando se disponen de una malla de puntos densos y con variaciones suaves. Cuando la red esta dispersa y con altas variaciones, sus resultados no suelen ser muy representativos.

La figura siguiente muestra el resultado de interpolar por el método del inverso de la distancia al cuadrado y con las 3 estaciones más cercanas, en el que se observa como hidrológicamente no es muy representativo.

Inverse Distance Weighted

Input points: Pluviometros_Velillos_Recu

Z value field: PMA_CLASE

Power: 2

Search radius type: Variable

Search Radius Settings

Number of points: 3

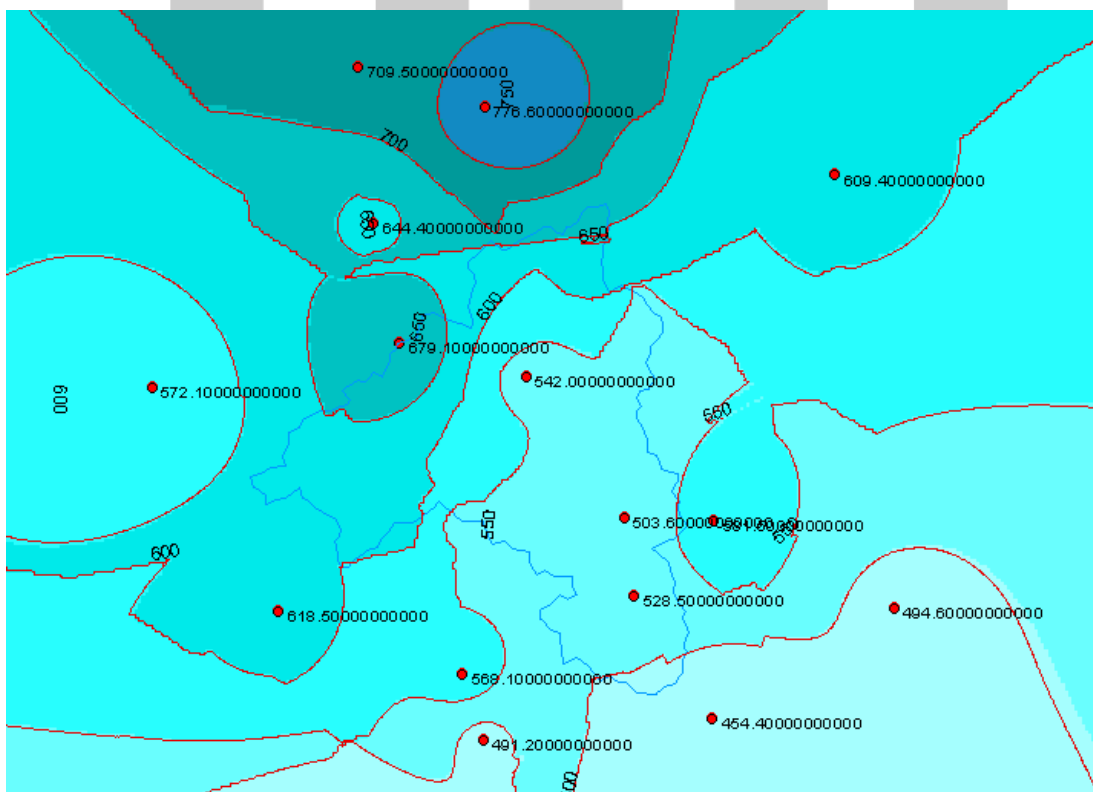
Maximum distance:

☐ Use barrier polylines: rios_velillos

Output cell size: 200

Output raster: <Temporary>

OK Cancel



5.2.INTERPOLACIÓN DE CURVATURA MÍNIMA (SPLINE).

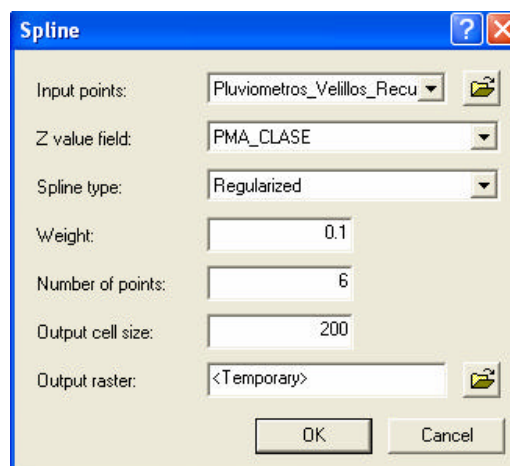
Spline estima valores usando una función matemática que reduce al mínimo la curvatura de la superficial total, dando como resultado una superficie lisa que pasa a través de los puntos muestreados. Este método es mejor que el anterior para interpolar la precipitación.

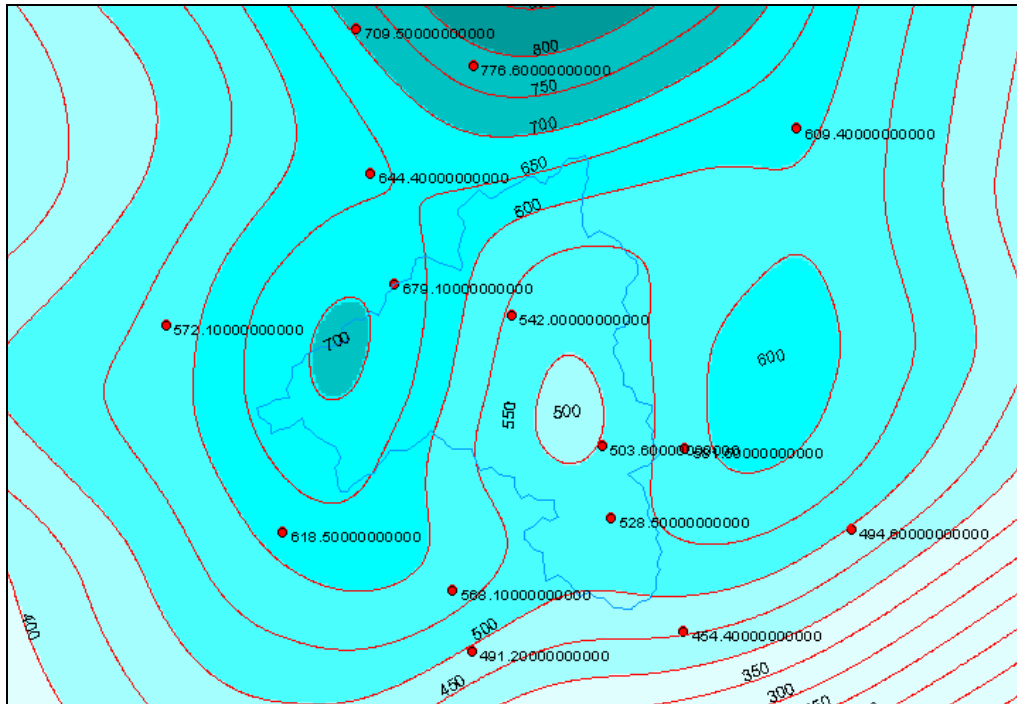
La base teórica del mismo, junto con las expresiones de cálculo pueden consultarse en la ayuda de ArcGIS, existiendo dos métodos distintos:

- **Regularized:** El método Regularizado crea una superficie suave, de manera gradual incorporando en los cálculos la tercera derivada de la ecuación. Cuanto más alto el sea el peso(Weight), más lisa será la superficie. Los valores deben estar comprendidos entre 0 y 0,5, siendo los valores típicos 0; 0.001; 0.01; 0.1, y 0.5.
- **Tension:** El método de Tensión incorpora en el cálculo la primera derivada, creando una superficie suave con unos valores estrechamente obligados por los datos de la muestra a partir de la que generamos la interpolación. El peso (Weight) define el peso de esta primera derivada, cuanto más alto es, la superficie pierde suavidad. Sus valores deben ser iguales o mayores que cero, siendo típicos 0; 1; 5; y 10.

En relación con el número de puntos, para ambos casos, identifica el número de puntos usados en el cálculo de cada celda interpolada. Cuanto más puntos de entrada incluyamos mayor será la influencia de los puntos distantes y más suave será la superficie.

Aplicando ahora el método de interpolación Spline regularizado, con un peso de 0,1 y a partir de 6 puntos, obtenemos el siguiente grid:

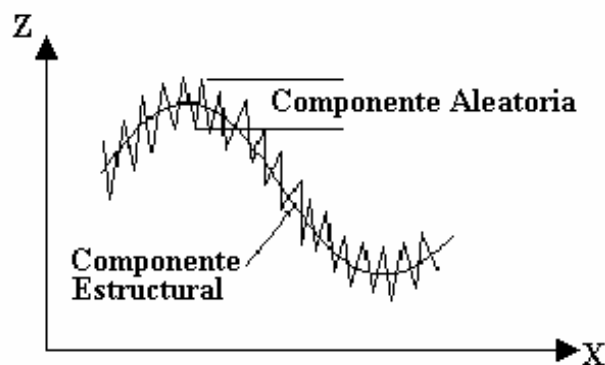




Cuyo sentido hidrológico es notablemente mayor que en la interpolación del método anterior.

5.3 KRIGEADO.

Este método de interpolación es la base de la **Geoestadística**, la cual se define como el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio. Los fenómenos distribuidos en el espacio tienen un comportamiento aleatorio a escala local, pero a la vez estructural a escala regional, tal y como se muestra en la gráfica siguiente:



Se puede entonces sugerir la idea de interpretar este fenómeno en términos de Función Aleatoria (FA), es decir, a cada punto x del espacio se le asocia una Variable Aleatoria (VA) $Z(x)$, para dos puntos diferentes x e y , se tendrán dos VAs $Z(x)$ y $Z(y)$ diferentes pero no independientes, y es precisamente su grado de correlación el encargado de reflejar la continuidad de la precipitación, o de cualquier otro fenómeno en estudio, de modo que el éxito de esta técnica es la determinación de la función de correlación espacial de los datos.

Su estimador, el **Kriging**, tiene como objetivo encontrar la mejor estimación posible a partir de la información disponible, y en efecto, el valor estimado obtenido $Z^*(x)$ de un valor real y desconocido $Z(x)$, consiste en una combinación lineal de pesos asociados a cada pluviómetro $Z(x_i)$ ($i = 1, \dots, n$), observando dos condiciones fundamentales:

- 1.- que el estimador sea insesgado. $E[Z^* - Z] = 0$
- 2.- que la varianza $\text{Var}[Z^* - Z]$ sea mínima, consiguiéndose de este modo minimizar la varianza de error de estimación.

A diferencia de otros métodos de interpolación, como por ejemplo el inverso de la distancia, el kriging utiliza en la estimación las características de variabilidad y correlación espacial de la lluvia, por lo que su uso implica un análisis previo de la información con el objetivo encontrar de la información inicial un modelo que represente su continuidad espacial.

La herramienta básica del kriging es el semivariograma, que es la función que describe la relación entre las diferencias de los valores y las distancias entre todos los posibles pares de puntos, obteniéndose este a través de la siguiente expresión:

$$g(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2$$

Donde:

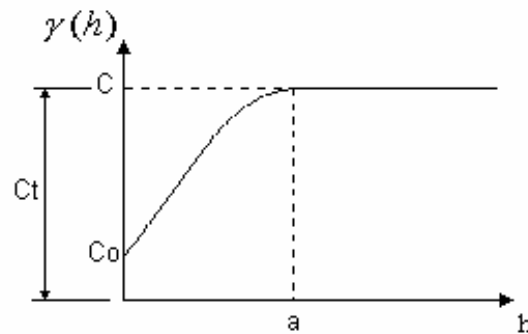
$g(h)$ = Semivarianza de los datos, solo depende de la separación entre x y $x+h$ y no de la posición del punto x .

$Z(x_i)$ = Valor medido de la precipitación en el punto x_i

$Z(x_i+h)$ = Valor medido de la precipitación en otro punto que dista h del anterior.

$N(h)$ = Número de puntos separados a una distancia h .

La forma típica de un semivariograma teórico que nos proporciona unos parámetros básicos con los que se describe la variación espacial de la variable, tal y como se presenta a continuación, existiendo distintos modelos teóricos del mismo (circular, esférico...).



Los parámetros del semivariograma caracterizan tres elementos importantes en la variabilidad de un atributo que son: la discontinuidad en el origen (C_0 = existencia de efecto de pepita), el valor máximo de variabilidad (meseta), y el área de influencia de la correlación (alcance)

El Efecto Pepita (Nugget): El semivariograma por definición es nulo en el origen, pero en la práctica las funciones obtenidas pueden presentar discontinuidad en el origen, a esta discontinuidad se le llama **efecto de pepita**, en inglés (Nugget effect). Puede ser obtenido trazando una línea recta entre los primeros puntos del semivariograma empírico y extender ésta hasta que se intercepte con el eje Y. Si esta intersección ocurre por debajo de cero, el valor asumido por este efecto es cero, pues valores negativos de $\gamma(0)$ no tienen significado y no es común. El efecto pepita se representa como C_0 .

La Meseta (Sill): Es el valor de $\gamma(h)$ para el cual con el aumento de h su valor permanece constante, se representa como ($C_T = C + C_0$) y se denomina meseta. Puede obtenerse trazando una línea paralela a la abscisa y que se ajuste a los puntos de mayor valor del semivariograma y su valor se lee en la intersección de esta línea con la ordenada.

El Alcance (Range): La distancia h para la cual las variables $Z(x)$ y $Z(x+h)$ son independientes, se denomina alcance y se representa por (a), es decir, las distancias para la cual los valores de la variable dejan de estar correlacionados, o lo que es lo mismo, la distancia para la cual el semivariograma alcanza su meseta.

La fuente de problemas que se pueden presentar en la realización del un análisis estructural es muy variada. Algunos de los problemas más comunes son:

El valor idóneo del incremento h : Una inadecuada selección de h puede proporcionar un semivariograma errático, aunque no se puede dar un criterio exacto o aproximado sobre cual el mejor valor de h , es recomendable recalcular $\gamma(h)$ para distintos valores de h , hasta encontrar una forma suavizada del mismo.

Distribuciones con valores extremos: La existencia de valores extremos, altos o ba-

jos, en una distribución, puede conducir a la obtención de un variograma fuertemente errático. En este caso la solución puede ser simple, eliminar los datos extremos, porque pueden ser ocasionados por errores, en otros casos pueden encontrarse en zonas geográficamente distintas y pueden ser tratados de manera separada.

El problema fundamental en la obtención de un semivariograma correcto es, la elección adecuada de los intervalos de distancias para los cuales será calculado el semivariograma, de modo que en éstos la cantidad de pares encontrados sea suficiente desde el punto de vista estadístico.

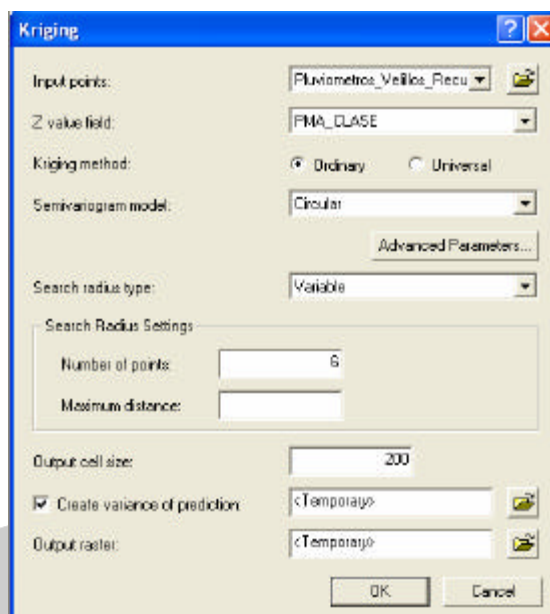
Posteriormente debe realizarse el ajuste a un modelo teórico del semivariograma experimental, lo cual se realiza de forma visual o interactiva, variando los valores C_0 (efecto de pepita), $C + C_0$ (meseta) y a (alcance), hasta coincidir con los parámetros que mejor se ajustan, es conveniente validar el modelo seleccionado y los parámetros meseta y alcance escogidos. La operación de asignar un semivariograma teórico ajustado a uno experimental siempre lleva mucho tiempo, ya que es el último de los pasos importantes del análisis de variabilidad.

Una vez elegido el modelo seleccionado, se procede a realizar el Krigeado a partir de diversas ecuaciones de predicción, siempre con el objetivo de minimizar la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado). Existen diversas clases de krigeado, siendo el más usado el ordinario.

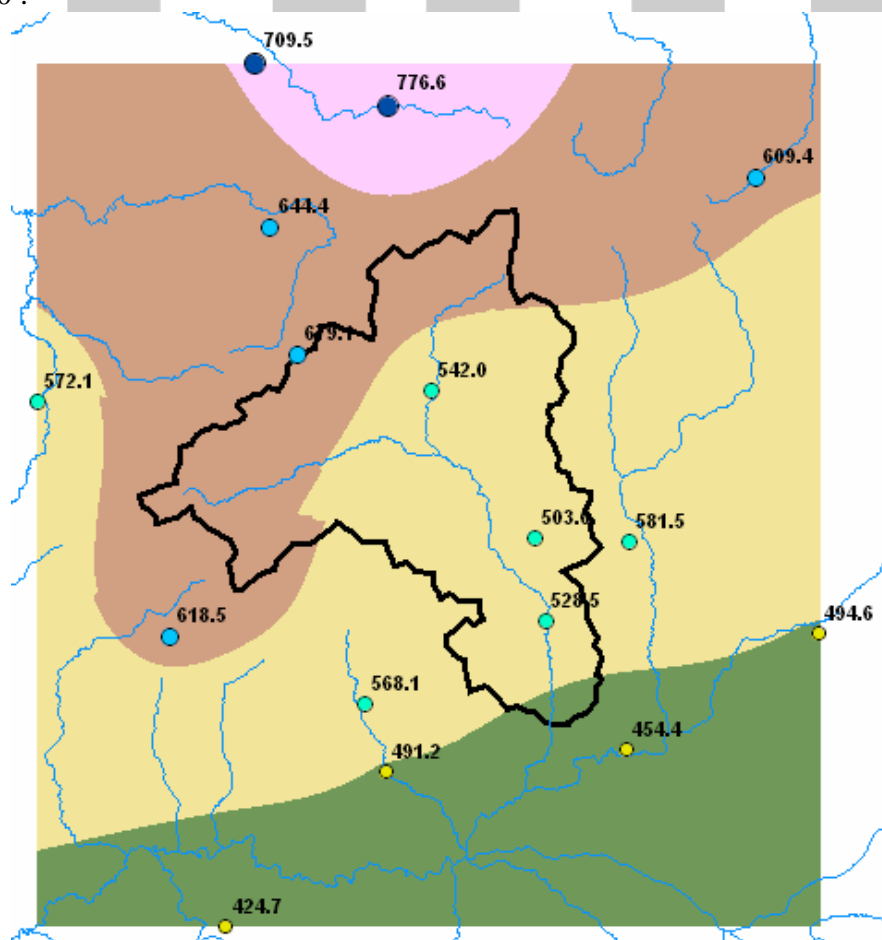
ArcGIS dispone de dos opciones para realizar este Krigeado, la primera es a través de la extensión de análisis geoestadístico, más completa, permitiendo calcular el semivariograma, parámetros del mismo, elegir el tipo de krigeado y analizar los errores.

La extensión de análisis espacial también incluye la posibilidad de realizar el krigeado, si bien si poder calcular el semivariograma, por lo que su utilidad es parcial.

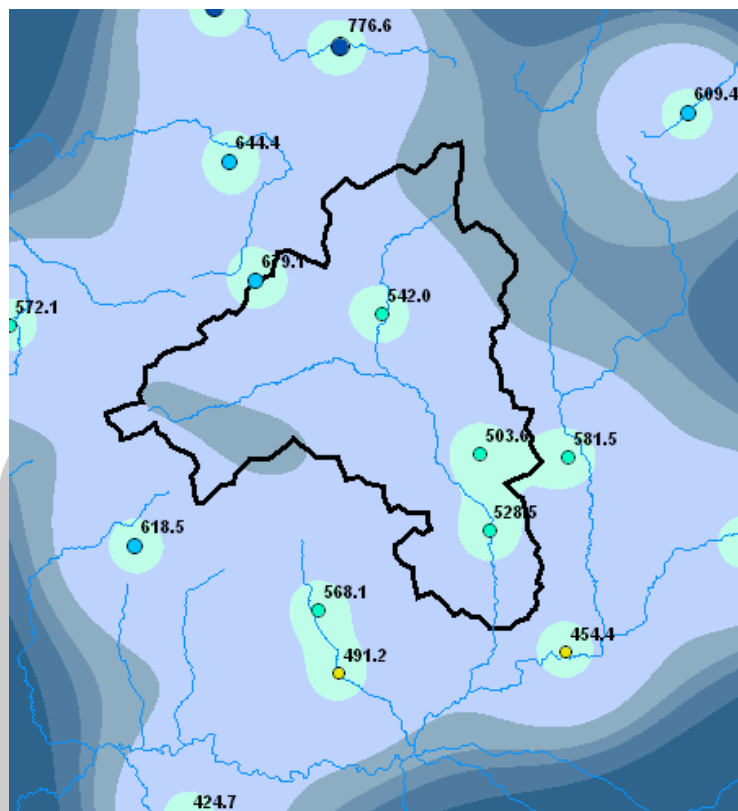
Existe la opción de utilizar un Krigeado universal, el cual asume que hay una tendencia principal en los datos (por ejemplo, un viento predominante), y puede ser modelado por un polinomio, el cual sólo debería ser usado cuando se sabe que hay una tendencia en los datos y se puede dar una justificación científica para describirlo.



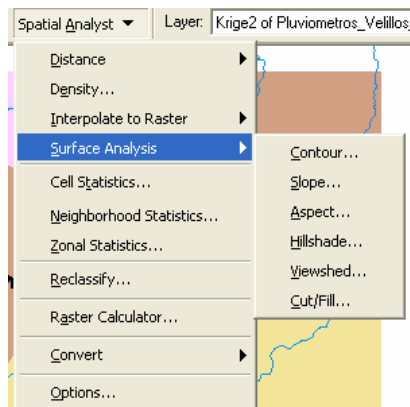
El resultado de este Kriging se presenta en la imagen siguiente, con una equidistancia de 100 mm, donde se observa su adecuada suavidad e interpolación, salvo en la isoyeta 600.

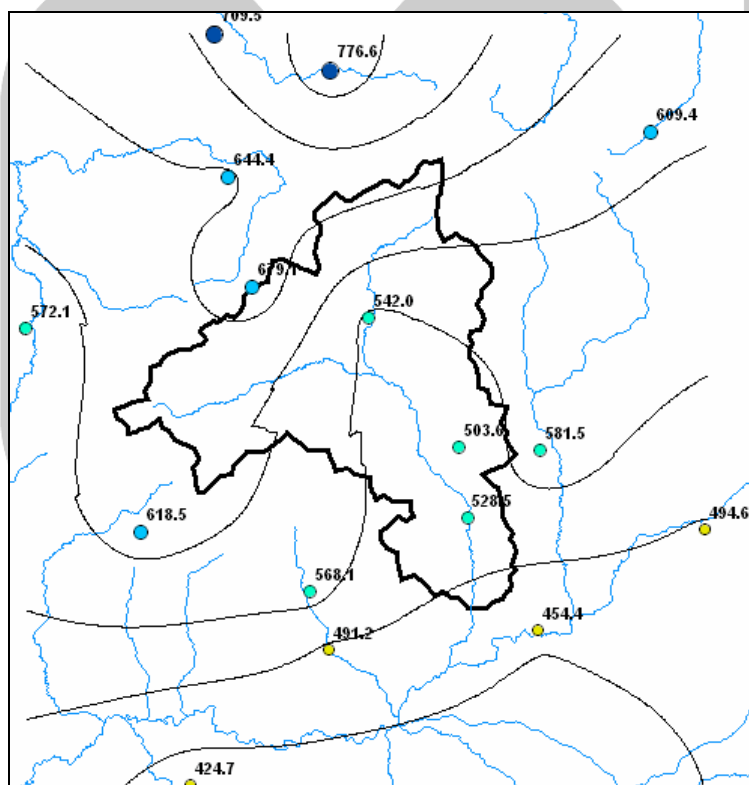
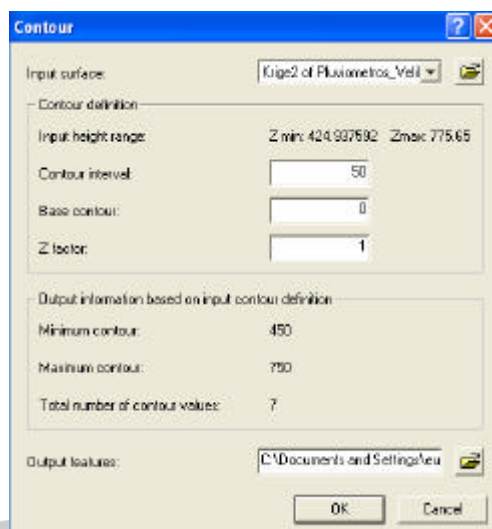


La siguiente imagen muestra la varianza de los estimadores, observándose que es alta en la zona donde la interpolación no era enteramente satisfactoria.



Por último, para las isoyetas como un shape de líneas, bastará con ejecutar la opción “surface análisis” y posteriormente “contours”, a partir del grid generado con anterioridad. El programa necesita únicamente que le indiquemos la primera isoyeta y el intervalo. Automáticamente calcula la primera y última, el número de intervalos y genera el shape asociado.



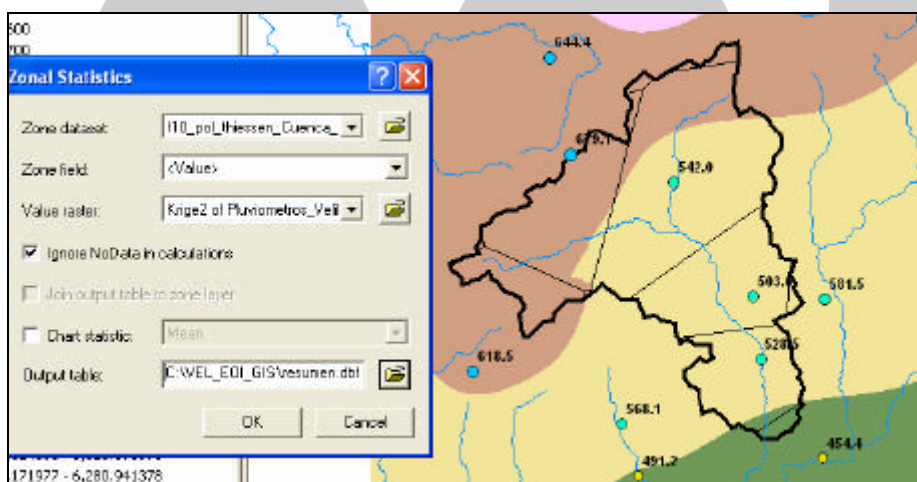


6. CALCULO DE LA PRECIPITACIÓN AREAL MEDIANTE EL MÉTODO DE THIESSEN MODIFICADO.

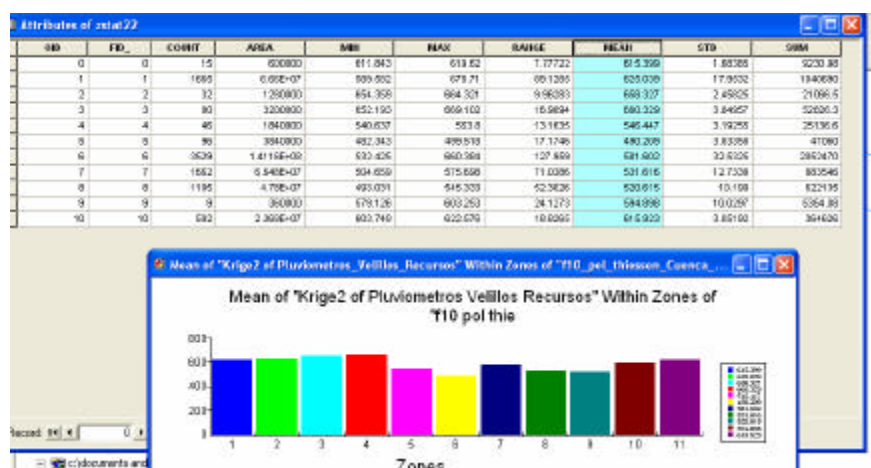
Los datos iniciales necesarios a cargar en la vista:

- Capa vectorial con los polígonos de thiesen finales ya calculados.
- Mejor capa raster obtenida en el método de las isoyetas.

El comando a utilizar en el dentro del menú análisis es “Zonal statistics”, el cual realiza análisis estadísticos superponiendo varias capas. El procedimiento a seguir es el siguiente:



Obtendremos una tabla en la que nos indica, para cada polígono de thiesen:

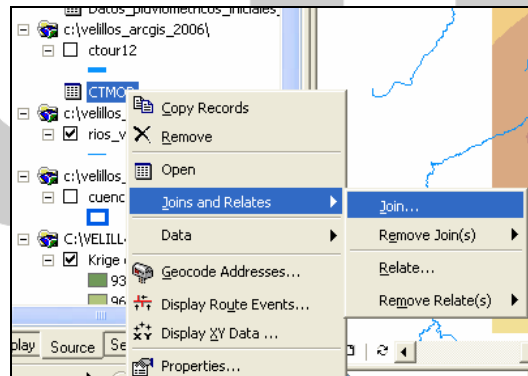


- **Count y área:** número de celdas que lo componen y area asociada.
- **Min, Max y range:** valores máximo, mínimo y rango de la precipitación en ese polígono.
- **Mean:** valor medio de la precipitación según las isoyetas en ese polígono.
- **Std y sum:** desviación típica y suma de todos los valores del polígono.

El dato importante es la media de precipitación en el polígono, ya que el coeficiente de thiessen modificado se obtiene multiplicando al coeficiente de thiessen por el cociente entre la precipitación según las isoyetas y la precipitación registrada en el pluviómetro.

$$CTM = CT \cdot \frac{\bar{P}_{isoy}}{\bar{P}_{pluv}}$$

Haciendo una unión (joint) entre la tabla obtenida anteriormente con la de atributos de los polígonos de thiessen a través del campo FID (que incluye ya los coeficientes de thiessen (campo **Percent**) y la de datos pluviométricos (que incluye la precipitación en los pluviómetros campo **Pma_clase** podemos calcular fácilmente los coeficientes de thiessen modificados y la precipitación areal según éste método:



Posteriormente, editando la tabla de atributos obtendremos los coeficientes de thiessen modificado a partir de la siguiente expresión:

Attributes of f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf

ID Poligono	CThiessen	P isoyetas	P Pluviometros	f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.CTMODIFICA
5403	0	615.399	572.1	0
5406	0.19	625.039	679.1	0.174874699075379
5407	0	658.327	644.4	0
5419	0.01	660.329	776.6	8.50281947487382E-03
5545	0.01	546.447	581.5	9.39719674921405E-03
5548	0.01	490.209	454.4	1.07880503358975E-02
5550	0.4	581.602	542	0.429226555067675
5552	0.18	531.616	503.6	0.190013676432033
5554	0.13	520.615	528.5	0.128060448248655
5556	0	594.898	568.1	0
5579	0.07	615.923	618.5	6.97083407674187E-02

Field Calculator

Fields:

- f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.Area
- f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.CTMODIFICA
- f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.FID
- f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.Percent
- f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.Shape
- f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.ThPolyID
- Pluviometros_Velillos_Recursos.ANOS_COMPL
- Pluviometros_Velillos_Recursos.ANOS_TOTAL
- Pluviometros_Velillos_Recursos.COE_F_SESGO
- Pluviometros_Velillos_Recursos.COE_F_VARIA
- Pluviometros_Velillos_Recursos.ESTACION

Type:

- ☒ Number
- ☐ String
- ☐ Date

Functions:

- Abs ()
- Atn ()
- Cos ()
- Exp ()
- Fix ()
- Int ()
- Log ()
- Sin ()
- Sqr ()

f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.CTMODIFICA =

[f10_pol_thiessen_Cuenca_EAf.Percent] * [zstat22.MEAN] / [Pluviometros_Velillos_Recursos.PMA_CLASE]

OK Cancel