

# Guía metodológica para el cálculo de caudales de diseño de hoyas hidrográficas

Elaborado por:

Shary Zadith Vargas Velasco

Practicante empresarial, estudiante UIS

Colombia

Bucaramanga

2024

## CÁLCULO DEL CAUDAL DE DISEÑO

### Tabla de contenido

	<b>Pág.</b>
1. Metodología .....	7
1.1. Método racional .....	7
1.1.1. Coeficiente de escorrentía .....	7
1.1.2. Intensidad .....	9
1.1.2.1. Tiempo de retorno .....	11
1.1.2.2. Tiempo de concentración .....	12
1.2. Método de hidrograma.....	13
1.2.1. Número de curva .....	13
1.2.2. Hietograma .....	17
2. Procedimiento.....	18
2.1. Método racional .....	18
2.1.1. Morfometría.....	18
2.1.1.1. Recopilación de información .....	18
2.1.1.2. Delimitación cuenca.....	22
2.1.1.3. Polígono de Thiessen .....	26
2.1.1.4. Calculo valores morfométricos .....	32
2.1.1.4.1. Área.....	32
2.1.1.4.2. Longitud máxima.....	34
2.1.1.4.3. Pendiente.....	35

2.1.2.	Intensidad .....	37
2.1.2.1.	Tiempo de concentración .....	37
2.1.2.2.	Curvas IDF .....	38
2.1.3.	Coeficiente de escorrentía .....	41
2.1.4.	Caudal .....	45
2.2.	Método del hidrograma de escorrentía superficial .....	45
2.2.1.	Número curva .....	45
2.2.2.	Hietograma .....	46
2.2.3.	HEC-HMS .....	46
BILBIOGRAFIA .....		56

#### Lista de ilustraciones

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d .....	10
Ilustración 2. Ingresar a datos abiertos Cartografía y geografía.....	19
Ilustración 3. Descarga de base de datos vectoriales por hojas cartográficas .....	20
Ilustración 4. Datos recopilados en ArcGIS .....	22
Ilustración 5. Crear shapefile.....	23
Ilustración 6. Determinar características shapefile.....	23
Ilustración 7. Menú de edición .....	24
Ilustración 8. Create features .....	25
Ilustración 9. Cuencas hidrográficas .....	26
Ilustración 10. Icono identify .....	28
Ilustración 11. Texto en columnas.....	28
Ilustración 12. fórmulas Excel.....	29

Ilustración 13. Tabla dinámica de precipitación.....	29
Ilustración 14. Polígono delimitante.....	30
Ilustración 15. Crear polígono de Thiessen .....	31
Ilustración 16. Polígono de Thiessen.....	32
Ilustración 17. Agregar columna .....	33
Ilustración 18. Usar trace.....	34
Ilustración 19. Medición de distancias .....	36
Ilustración 20. Ejemplo aplicativo.....	36
Ilustración 21. Tiempo de concentración en Excel.....	38
Ilustración 22. Precipitación máxima anual .....	39
Ilustración 23. Excel "IDF" .....	40
Ilustración 24. Propiedades de capa .....	41
Ilustración 25. Herramienta Clip .....	43
Ilustración 26. Herramienta Union .....	44
Ilustración 27. Crear componentes en HEC-HMS .....	46
Ilustración 28. Modelación de la subcuenca.....	47
Ilustración 29. Componente de subcuenca. ....	49
Ilustración 30. Componente de "reach" .....	50
Ilustración 31. Componente de time series data.....	51
Ilustración 32. Componente meteorológico .....	52
Ilustración 33. Componente de control .....	53
Ilustración 34. Simulation run .....	54
Ilustración 35. Ubicación de "Resultados".....	54
Ilustración 36. Resultados .....	55

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas .....	8
Tabla 2. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales .....	9
Tabla 3. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas IDF para Colombia .....	10
Tabla 4. Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial.....	11
Tabla 5. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas .....	14
Tabla 6. Número de curva de escorrentía para áreas rurales .....	15
Tabla 7. Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas .....	17
Tabla 8. Número curva para cada sección .....	45
Tabla 9. Número curva para una cuenca .....	45

## Introducción

El caudal máximo se refiere a la tasa máxima de flujo de agua que pasa por un punto específico en un río, arroyo u otra corriente de agua durante un período de tiempo determinado. Este valor es importante en la gestión de recursos hídricos, el diseño de infraestructuras hidráulicas y la evaluación de riesgos de inundaciones.

En Colombia, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) es la entidad encargada de establecer los lineamientos y normativas relacionadas con el diseño de drenaje para carreteras. El manual de diseño de drenaje para carreteras en Colombia se encuentra dentro de los documentos técnicos y normativos emitidos por el INVIAS. En la sección 2.5.5. del manual se recomienda dos métodos para calcular el caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial:

- Método racional

El método racional fue desarrollado por el ingeniero hidráulico estadounidense Sherman M. Woodward en la década de 1930. Este método proporciona una forma simple de estimar el caudal máximo en función de la precipitación máxima y el coeficiente de escorrentía. Se aplica cuando el área de drenaje en las hoyas es menor a  $2.5\text{Km}^2$ .

- Método del hidrograma de escorrentía superficial

El método del hidrograma de escorrentía superficial, también conocido como método del hidrograma unitario, fue desarrollado por el ingeniero hidrológico estadounidense Robert E. Horton a principios del siglo XX. Este método se usa para áreas de drenaje mayores a  $2.5\text{Km}^2$ .

## 1. Metodología

### 1.1. Método racional

El método racional se basa en principios racionales y lógicos para estimar el flujo de agua que se genera por la precipitación sobre un área determinada si es menor a 2.5km<sup>2</sup>. Este caudal máximo se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = 0.278 \cdot C \cdot i \cdot A \quad (1)$$

Donde:

- Q: Caudal de escorrentía superficial, en metros cúbicos por segundo (m<sup>3</sup>/s).
- i: Intensidad de precipitación, en milímetros por segundo (mm/s).
- A: Área de drenaje de la hoya hidrográfica, en kilómetros cuadrados (Km<sup>2</sup>)
- C: Coeficiente de escorrentía

#### 1.1.1. Coeficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía es una medida que representa la proporción de la precipitación que se convierte en escorrentía superficial en lugar de infiltrarse en el suelo. Este coeficiente depende de varios factores, como el tipo de suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno, entre otros.

El uso de la fórmula racional está condicionado por este coeficiente, el cual se puede consultar en tablas específicas creadas con ese propósito. En las Tabla 1 y Tabla 2 se presentan valores estándar de este coeficiente para zonas urbanas y rurales, respectivamente.

Tabla 1. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas urbanas

TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA C
<b>PRADOS</b>	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05 - 0.10
Suelos arenosos, promedio, 2 -7 %	0.15 - 0.20
Suelos pesados (arcillosos), planos, 2%	0.13 - 0.17
Suelos pesados (arcillosos), promedio, 2 -7 %	0.18 - 0.22
Suelos pesados (arcillosos), pendientes, 7%	0.25 - 0.35
<b>DISTRITOS COMERCIALES</b>	
Áreas de centro de ciudad	0.70 - 0.95
Áreas vecinas	0.50 - 0.70
<b>RESIDENCIAL</b>	
Casas individuales separadas	0.30 - 0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40 - 0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60 - 0.75
Suburbana	0.25 - 0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50 - 0.70
<b>INDUSTRIAL</b>	
Áreas livianas	0.50 - 0.80
Áreas pesadas	0.60 - 0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10 - 0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20 - 0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20 - 0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10 - 0.30
<b>CALLES</b>	
Asfaltadas	0.70 - 0.95
Concreto	0.80 - 0.95
Ladrillo	0.70 - 0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75 - 0.85
TECHOS	0.75 - 0.95

Tabla 2. Valores del coeficiente de escorrentía en áreas rurales

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
<b>BOSQUES</b>			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
<b>PASTOS</b>			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
<b>TIERRAS CULTIVADAS</b>			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

### 1.1.2. Intensidad

Las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) son herramientas utilizadas en hidrología para estimar la intensidad máxima de precipitación en función de la duración de la lluvia y la frecuencia con la que se espera que ocurra un evento de cierta magnitud. para obtenerlas el INVIAS recomienda usar la metodología simplificada cuando no se disponga de datos pluviográficos. En el numeral 2.6.6.3 del manual nos dan la expresión:

$$i = \frac{a * T^b * M^d}{(t/60)^c} \quad ( 2 )$$

Donde:

- i: Intensidad de precipitación, en milímetros por hora (mm/h).
- T: Periodo de retorno, en años.
- M: Precipitación máxima promedio anual en 24 h a nivel multianual
- t: Duración de la lluvia, en minutos (min).
- a, b, c, d: Parámetros de ajuste de la regresión. Estos parámetros fueron regionalizados como se presenta en la ilustración 1, y sus valores se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de los coeficientes a, b, c y d para el cálculo de las curvas IDF para Colombia

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

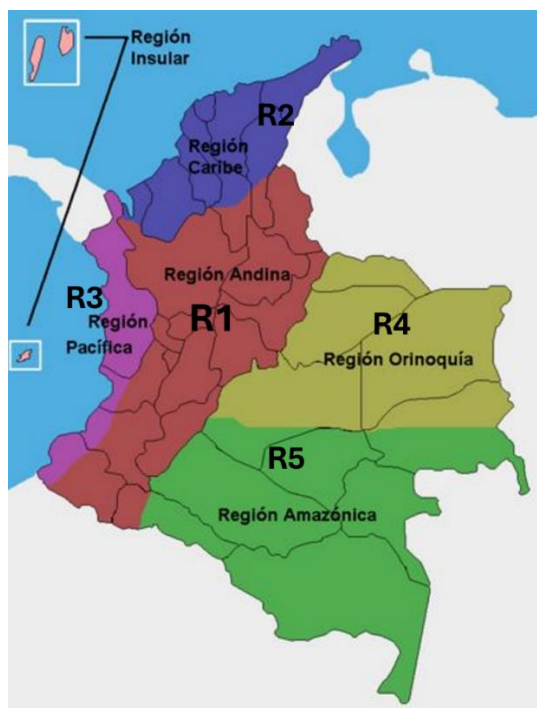


Ilustración 1. Regiones en Colombia para definición de parámetros a, b, c y d

### 1.1.2.1. Tiempo de retorno

Los siguientes periodos de retorno deben ser utilizados para calcular los caudales máximos instantáneos en proyectos de drenaje vial.

*Tabla 4. Periodos de retorno de diseño en obras de drenaje vial*

TIPO DE OBRA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS) <sup>1</sup>
Cunetas	5
Zanjas de Coronación <sup>2</sup>	10
Estructuras de Caída <sup>2</sup>	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor a 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje subsuperficial	2

### 1.1.2.2. Tiempo de concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que toma el agua desde los límites más extremos de la hoya hasta llegar a la salida de esta. Existen varias ecuaciones empíricas para calcular el tiempo de concentración, algunas son:

Ecuación de Kirpich

$$T_c = 0.06628 \left( \frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77} \quad ( 3 )$$

Ecuación de Témez

$$T_c = 0.3 \left( \frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad ( 4 )$$

Ecuación de Giandotti

$$T_c = \frac{4A^{0.5} + 1.5L}{25.3(LS)^{0.5}} \quad ( 5 )$$

Donde:

- A: Área de la cuenca, en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>).
- L: Longitud del cauce principal, en kilómetros (km).
- S: Pendiente del cauce principal, en metros por metro (m/m).

En algunos casos, los valores de tiempo de concentración varían demasiado por lo que si la diferencia entre ellas es de más del 150% se puede optar por tomar un promedio de los valores, de lo contrario se usa la mayor, esto a criterio del diseñador. El tiempo de concentración es el que define la intensidad de la lluvia para la unidad hidrográfica, teniendo en cuenta además el tiempo de retorno para el cual se quiere trabajar según la Tabla 4 y por recomendación del manual de drenaje según el subtítulo 2.1 se tomará como mínimo un tiempo de concentración igual a 15 min, para considerar el tiempo inicial que tarda el agua en concentrarse en una hoyo y no sobreestimar la intensidad de precipitación que resultaría con valores calculados menores a este tiempo de concentración.

## **1.2. Método de hidrograma**

Es una técnica utilizada para estimar la escorrentía superficial teniendo en cuentas las diferentes coberturas de suelo y condiciones de uso de la tierra por precipitación en una cuenca de más de 2.5 km<sup>2</sup>, el manual de drenaje para carreteras recomienda aplicar metodologías computacionales, programas como HEC-HMS.

### **1.2.1. Número de curva**

El número de curva (CN) es adimensional de 1 a 100, lo que representa la capacidad de retención de agua del suelo y su aceptación a la escorrentía donde a mayor valor indica que su infiltración es limitada, por lo que casi toda la precipitación se convierte en escorrentía superficial. Se puede calcular sencillamente mediante el uso de las Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7, donde el suelo hidrológico se divide en:

- A: Consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
- B: Suelos moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.
- C: Consisten en suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta o suelos con niveles freáticos moderados.
- D: Consisten en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial.

*Tabla 5. Número de curva de escorrentía para áreas urbanas*

TIPO DE COBERTURA Y CONDICIÓN HIDROLÓGICA	% PROMEDIO ÁREAS IMPERMEABLES <sup>1</sup>	NUMERO DE CURVAS PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
<b>Áreas urbanas totalmente desarrolladas (vegetación ya establecida):</b>					
Espacios abiertos (prados, parques, campos de golf, cementerios, etc.) <sup>2</sup>					
Condición pobre (menos del 50% cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular (del 50% al 75% cubierto de pasto)		49	69	79	84
Condición buena (más del 75% cubierto de pasto)		39	61	74	80
<b>Áreas Impermeables:</b>					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc. (excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos:					
Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentados; zanjas abiertas (incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava (incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra (incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
<b>Áreas desiertas urbanas:</b>					
Paisajes desérticos naturales (solamente áreas permeables) <sup>3</sup>		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales (barreras impermeables de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diámetro; Cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
<b>Áreas urbanas:</b>					
Comercial y de negocios	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
<b>Áreas residenciales por promedio del tamaño del lote:</b>					
1/8 de acre o menos (506 m <sup>2</sup> o menos)	65	77	85	90	92
1/4 acre (1012 m <sup>2</sup> )	38	61	75	83	87
1/3 acre (1350 m <sup>2</sup> )	30	57	72	81	86
1/2 acre (2025 m <sup>2</sup> )	25	54	70	80	85
1 acre (4050 m <sup>2</sup> )	20	51	68	79	84
2 acre (8100 m <sup>2</sup> )	12	46	65	77	82
<b>Áreas urbanas desarrolladas:</b>					
Áreas permeables conformadas (solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	86	91	94

Tabla 6. Número de curva de escorrentía para áreas rurales

COBERTURA		CONDICIÓN HIDROLÓGICA	GRUPO DE SUELOS			
USO DE LA TIERRA	TRATAMIENTO O PRÁCTICA		A	B	C	D
			NÚMERO DE CURVA			
Rastrojo	Hileras Rectas	---	77	86	91	94
Cultivos en hileras	Hileras Rectas	Mala	72	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	Curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivos en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en <sup>1</sup> hileras estrechas o forraje en rotación	Hileras rectas	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	Curvas de nivel	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80

Tabla 7. Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas

DESCRIPCIÓN Y TIPO DE COBERTURA	CONDICIÓN HIDROLÓGICA	NÚMERO DE CURVA PARA GRUPOS DE SUELOS HIDROLÓGICOS			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo <sup>1</sup>	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segados para heno	---	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla con la maleza como principal elemento <sup>2</sup>	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30 <sup>3</sup>	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles) <sup>4</sup>	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	82
	Buena	32	58	72	79
Bosques <sup>5</sup>	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	---	59	74	82	86

Este método necesita de las coberturas y el tipo de suelo para calcular el número de curva, dicha Información se puede descargar en planchas desde el IGAC.

### 1.2.2. Hietograma

El hietograma es un gráfico que representa la intensidad de la lluvia en función del tiempo durante un evento de precipitación. Este gráfico se utiliza para analizar el comportamiento de las aguas pluviales y dimensionar adecuadamente las infraestructuras de gestión de aguas

superficiales, como alcantarillas y sistemas de drenaje pluvial. Básicamente, el hietograma ayuda a comprender cómo varía la intensidad de la lluvia a lo largo del tiempo.

## 2. Procedimiento

### 2.1. Método racional

Teniendo en cuenta la ecuación ( 1 presentada en la metodología se necesitan una serie de insumos para poder llegar a calcular el caudal máximo, por lo que continuación se presentan los procesos necesarios para obtenerlos.

#### 2.1.1. Morfometría

La morfometría de cuencas se refiere al estudio de las características geométricas y topográficas de una cuenca hidrográfica, que incluye aspectos como su forma, tamaño, pendiente, longitud de los ríos principales, entre otros. Se usará ArcGIS, el cual es un software de Sistemas de Información Geográfica (SIG) que se utiliza ampliamente para el análisis y la visualización de datos espaciales, proporciona herramientas para delimitar y caracterizar hoyas hidrográficas a partir de datos topográficos y de flujo de agua, además de también poder calcular diversas métricas morfométricas de las cuencas.

##### 2.1.1.1. Recopilación de información

Para calcular dichas características se necesita primero la cartografía del terreno, el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi), la cual es la entidad encargada de producir el mapa oficial y la cartografía básica de Colombia posee esta información, para empezar

debe acceder al sitio web oficial del IGAC datos abiertos luego debe buscar la sección de “Cartografía y Geografía” como se muestra en la ilustración 2.

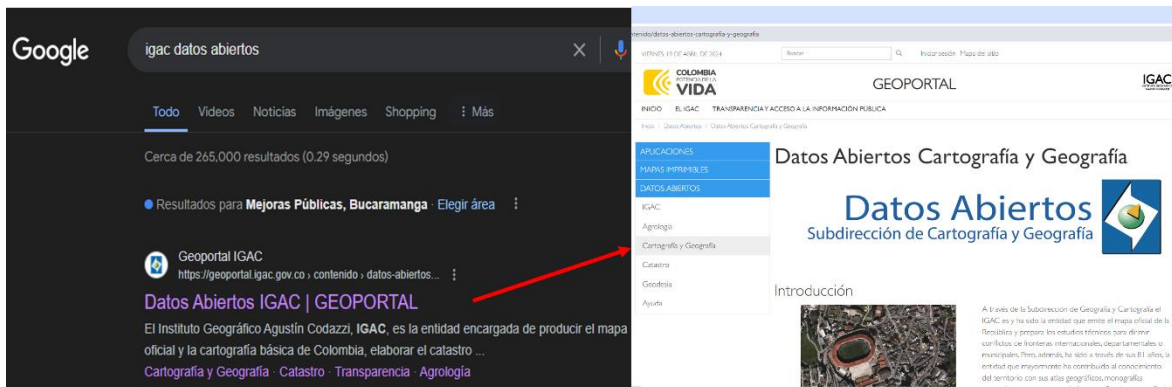


Ilustración 2. Ingresar a datos abiertos Cartografía y geografía

Dentro de esta sección se puede descargar la información de manera integrada o por planchas, la información integrada abarca toda el área de interés sin dividirla en unidades más pequeñas (planchas), y no es tan concreto, mientras que la información por planchas proporciona información específica para cada hoja cartográfica, por ello se descarga la información por planchas de la zona de estudio, se escoge la escala con la que se desea trabajar y se busca el sector en la entidad territorial, seleccionamos base de datos vectoriales por hojas cartográficas y allí descargamos el archivo gdb del sector o los sectores que nos sirva.

Es importante mantener una organización adecuada cuando se está trabajando en el computador para facilitar la búsqueda de información en los programas que se vayan a utilizar. Por lo tanto, se recomienda crear una carpeta para ArcGIS y dentro de esta otra carpeta en la que se guarden los archivos con las extensiones sph y gdb. La carpeta de ArcGIS será la que conecte al programa posteriormente, asegurando así una gestión eficiente de los datos y facilitando el flujo de trabajo.

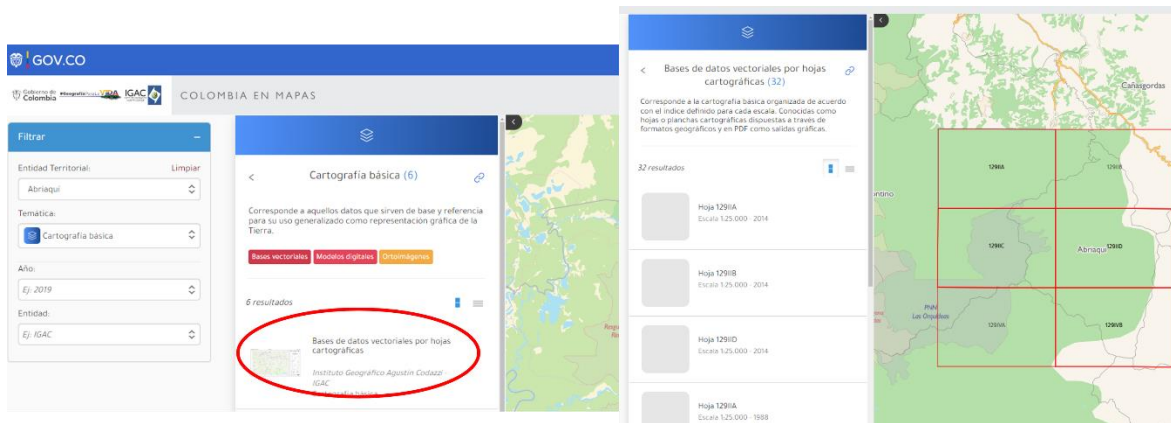


Ilustración 3. Descarga de base de datos vectoriales por hojas cartográficas

También necesitará de los datos pluviométricos, para ello, el IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, opera una extensa red de estaciones hidrometeorológicas en todo el país. Estas estaciones las puede buscar en internet o también las puede encontrar en el Drive de la empresa siguiendo la siguiente ruta PROCESOS → IDEAM → Estaciones\_2022.

Con la información descargada se dirigirá a ArcGIS y configurará el sistema coordinado que vaya a usar. A nivel nacional se usan dos sistemas coordinados, uno es “MAGNA Colombia Bogota”, para cambiar la proyección accede a Projected Coordinate Systems → National Grids → South America → Colombia → MAGNA Colombia Bogota, el otro sistema coordinado es el CTM12, el cual fue adoptado según la Resolución 471 de 2020 y la Resolución 529 de 2020, este no está definido en ArcGIS, por lo que debe crearlo, en el siguiente link se enseña cómo crear el sistema de coordenadas proyectadas:

[https://www.youtube.com/watch?v=aQ0UtPc9Wzk&ab\\_channel=DiegoMu%C3%B1ozG](https://www.youtube.com/watch?v=aQ0UtPc9Wzk&ab_channel=DiegoMu%C3%B1ozG).

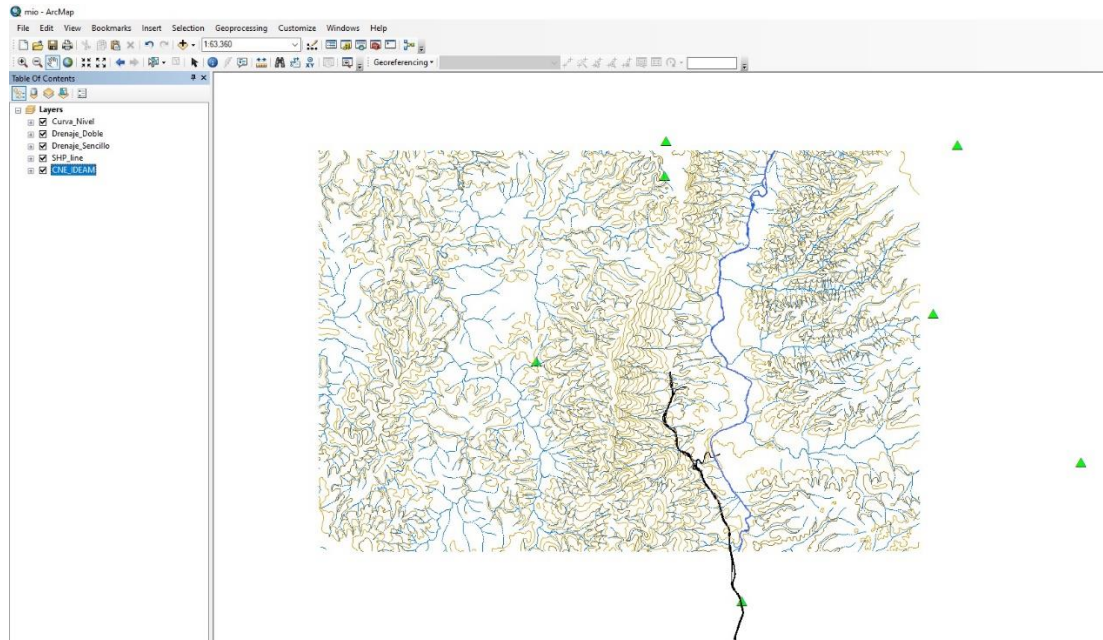
Una vez se tenga configurado el sistema de coordenadas se procede a conectar la carpeta donde tenemos la información. Debe tener en cuenta que el orden es muy importante al

momento de trabajar en Arcgis, por lo tanto, se crea una carpeta para el mapa arcgis y dentro de esa misma carpeta se crea otra carpeta para almacenar los archivos sph y gdb.

En ArcGIS, puede conectar carpetas a su proyecto para acceder fácilmente a conjuntos de datos almacenados en esas carpetas de la siguiente manera:

1. Abre tu proyecto en ArcGIS (ArcMap o ArcGIS Pro).
2. En la ventana "Catalog" (Catálogo) o "Catalog Pane" (Panel de catálogo) (puedes encontrar esta ventana en la interfaz de usuario, generalmente en el lado derecho), busca la sección "Folders" (Carpetas) o "Folder Connections" (Conexiones de carpetas).
3. Haz clic derecho en "Folders" o "Folder Connections" y selecciona "Add Folder Connection" (Agregar conexión de carpeta).
4. Se abrirá una ventana para buscar la carpeta que deseas conectar. Navega hasta la ubicación de la carpeta en tu sistema de archivos y haz clic en "OK" (Aceptar).
5. La carpeta se agregará a la lista de conexiones de carpetas en ArcGIS.

Una vez conectada la carpeta, arrastra los archivos de drenaje sencillo (arroyos, afluentes), drenaje doble (río principal), las curvas de nivel, las estaciones hidrometeorológicas y el punto de interés. Un ejemplo de cómo debería verse se muestra a continuación.



*Ilustración 4. Datos recopilados en ArcGIS*

### 2.1.1.2. Delimitación cuenca

Una cuenca hidrográfica es un área geográfica definida por la topografía del terreno donde todas las aguas superficiales y subterráneas se drenan hacia un único punto de salida, que puede ser un río principal, un lago, un mar o un océano.

Para delimitar la cuenca debe crear un nuevo shapefile dando clic derecho en la carpeta donde va a guardar el formato de archivo, clic en new y luego shapefile, emergerá una ventana donde escogerá polygon en feature type, no olvide determinar el sistema coordenado dando en clic en edit.

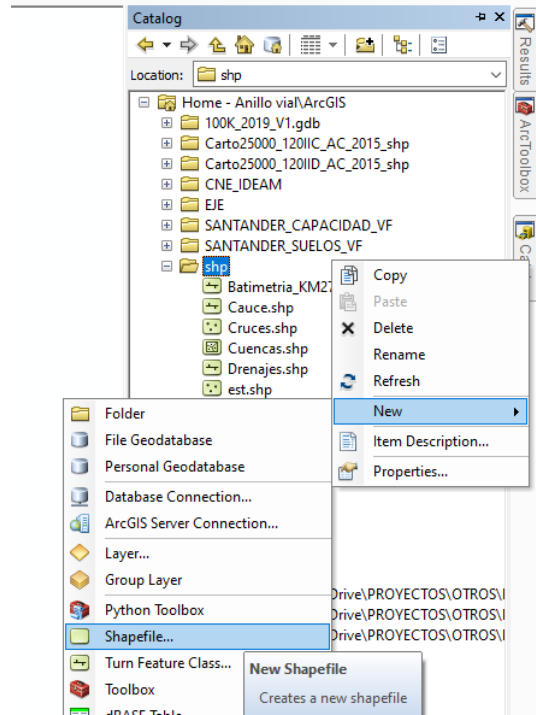


Ilustración 5. Crear shapefile

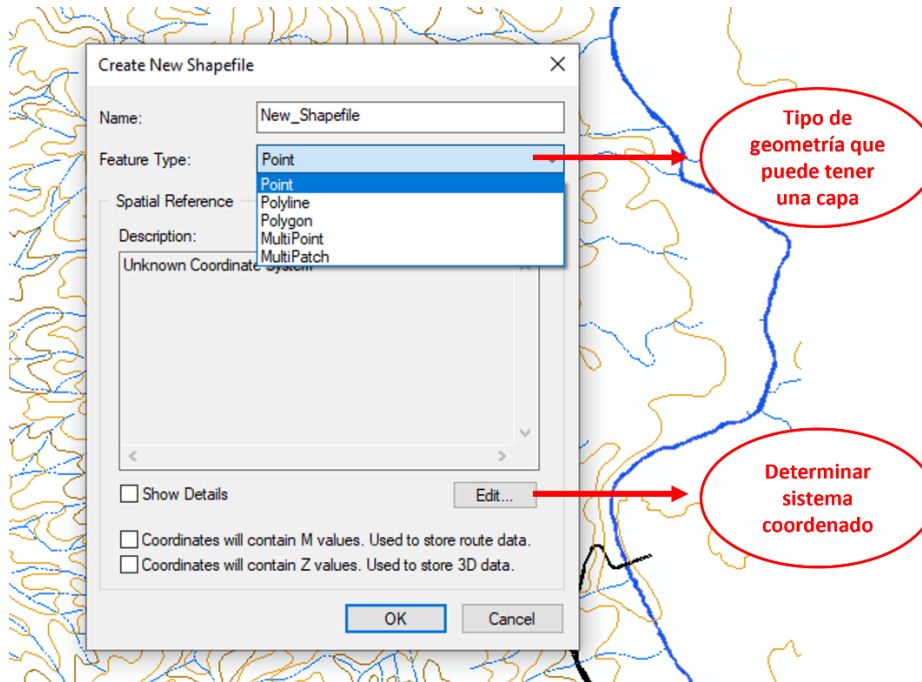


Ilustración 6. Determinar características shapefile

En la parte izquierda de la ventana (donde están las capas) aparecerá la capa que acabó de crear, ahora dará clic derecho en dicha capa y luego edit features → start editig, aparecerá un menú como el que se muestra en la Ilustración 7 y selecciona create features (si no le sale puede dar clic derecho en la parte superior donde estan las herramientas), aparecerá una ventana en la parte derecha del programa como se muestra en la Ilustración 8, allí escoge la capa que quiere editar y en la parte inferior selecciona polygon.

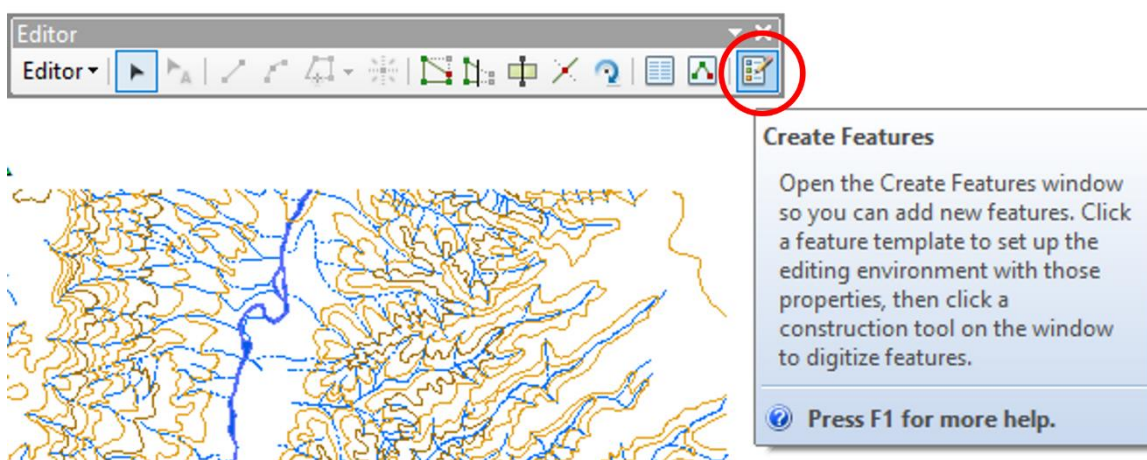
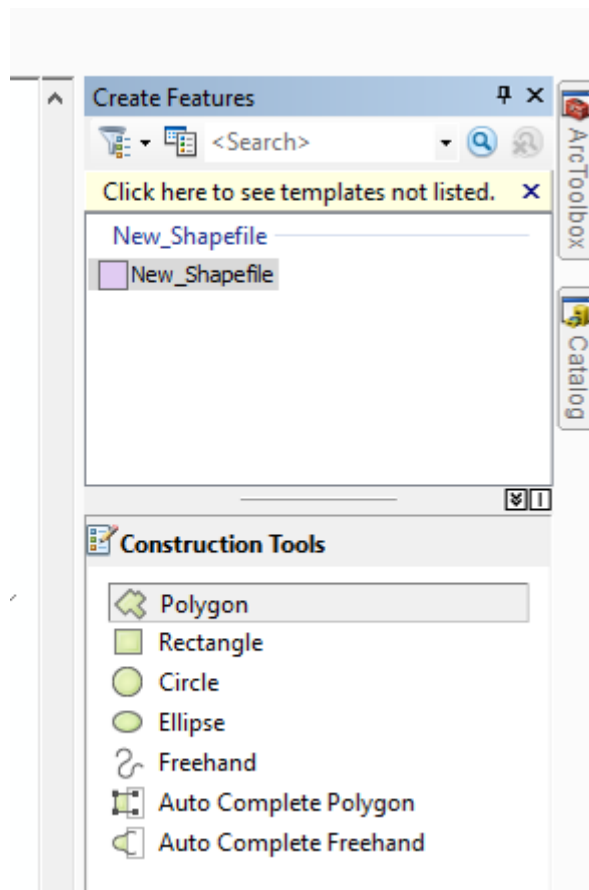
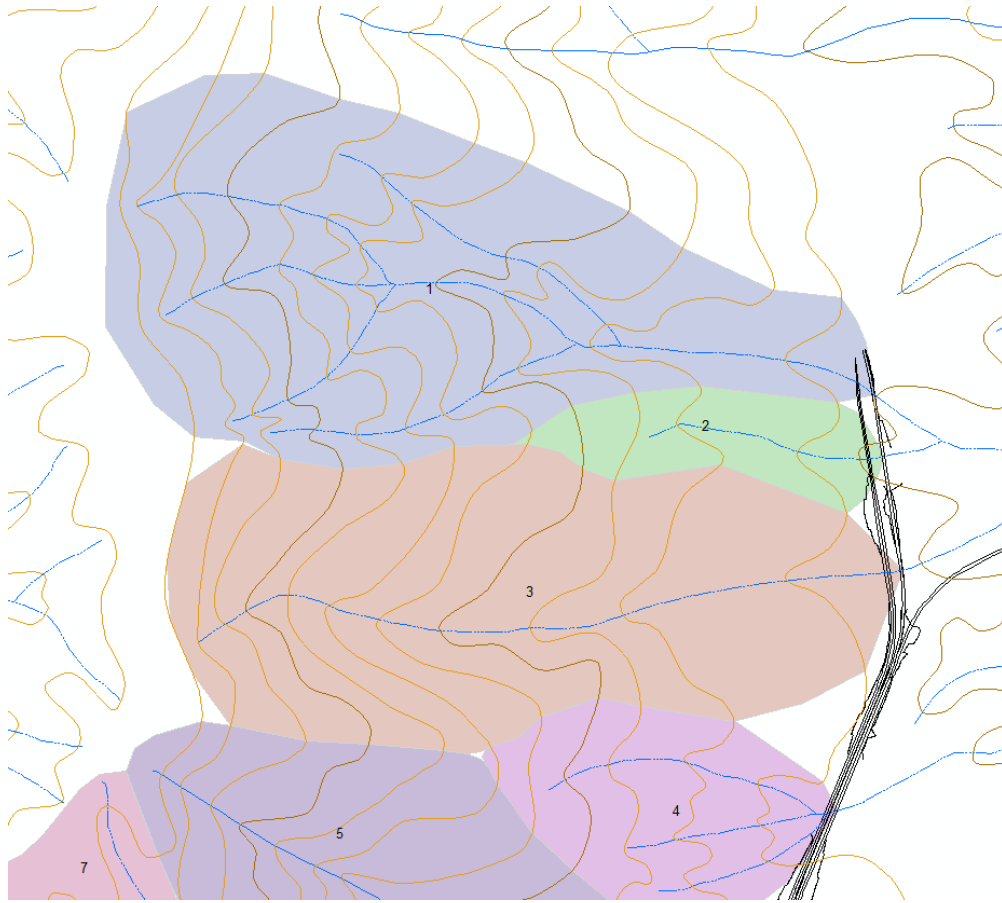


Ilustración 7. Menú de edición



*Ilustración 8. Create features*

Procederá a crear el polígono que limitará la cuenca, para ello guíese de las curvas de nivel y de los drenajes que se tienen. Comienza el polígono con el cruce del afluente y el punto de interés, utilice los cursos de agua y drenajes existentes como guía para definir los límites de la cuenca. La cuenca hidrográfica estará delimitada por los cursos de agua que convergen hacia el punto de salida. Un ejemplo se puede ver en la Ilustración 9.



*Ilustración 9. Cuencas hidrográficas*

Damos clic en el mapa para crear los vértices y para cerrar la figura se da doble clic en el último vértice, finalizamos dando clic en editor → stop editing.

### **2.1.1.3. Polígono de Thiessen**

El polígono de Thiessen es una técnica utilizada en hidrología para dividir un área en regiones basadas en la proximidad de las estaciones hidrometeorológicas. Cada estación hidrometeorológica se asocia con un área que representa la región en la que esa estación es

la más cercana y, por lo tanto, influye más en las condiciones locales. ArcGIS cuenta con una herramienta para crear dichos polígonos.

El primer paso es seleccionar las estaciones útiles, lo cual requiere considerar varios criterios. Una de las condiciones clave es la proximidad de la estación a la cuenca en estudio. La estación hidrometeorológica debe estar actualmente activa, en caso de no contar con ninguna estación activa se puede hacer uso de estaciones inactivas o en mantenimiento siempre y cuando tengan una serie de datos igual o mayor a 15 años sin lagunas significativas en la información. Para acceder a esta información, existen dos métodos.

1. Uno de ellos implica dirigirse a la página web del IDEAM, donde se puede acceder a la sección de [consulta y descarga de datos hidrometeorológicos](#). En esta sección, se debe completar la información requerida, incluyendo el período de interés, la serie de tiempo y la frecuencia deseada (seleccionando "estándar"), así como el parámetro de precipitación y día pluviométrico (convencional). Posteriormente, se deben ingresar los datos de ubicación de la estación y seleccionar la estación de interés para finalmente descargar la información necesaria.
2. Cuando la página del IDEAM no está disponible, recurrir a otro método para obtener la información es necesario. En ArcGIS, busca el icono de "Identificar" ubicado en la parte superior de la ventana como se muestra en la Ilustración 10, y hace clic en las estaciones deseadas. Esto desplegará una ventana en el lado derecho de la pantalla con los detalles de la estación. Utilizando el código numérico de la estación, accede a los datos de precipitación en la base de datos de la empresa. Luego, descarga el archivo de precipitaciones siguiendo la ruta en el OneDrive de la empresa: INFORMACION BASE IBG → PT\_Nacional.

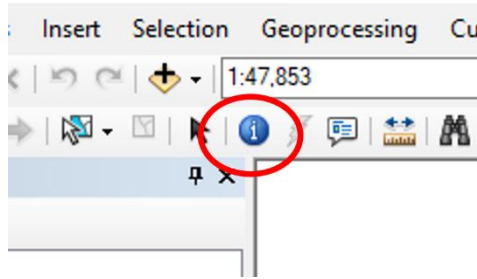


Ilustración 10. Icono identify

Para organizar los datos, abre el archivo Excel y selecciona la columna que contiene la información. Luego, dirígete a la sección de datos y elige la opción "Texto en columnas". Esto abrirá una ventana donde debes seleccionar "Delimitados" y hacer clic en "Siguiente". Marca las opciones de tabulación y selecciona el separador que esté utilizando para separar los datos. Finalmente, haz clic en "Finalizar" y podrás ver los datos organizados en tu archivo Excel.

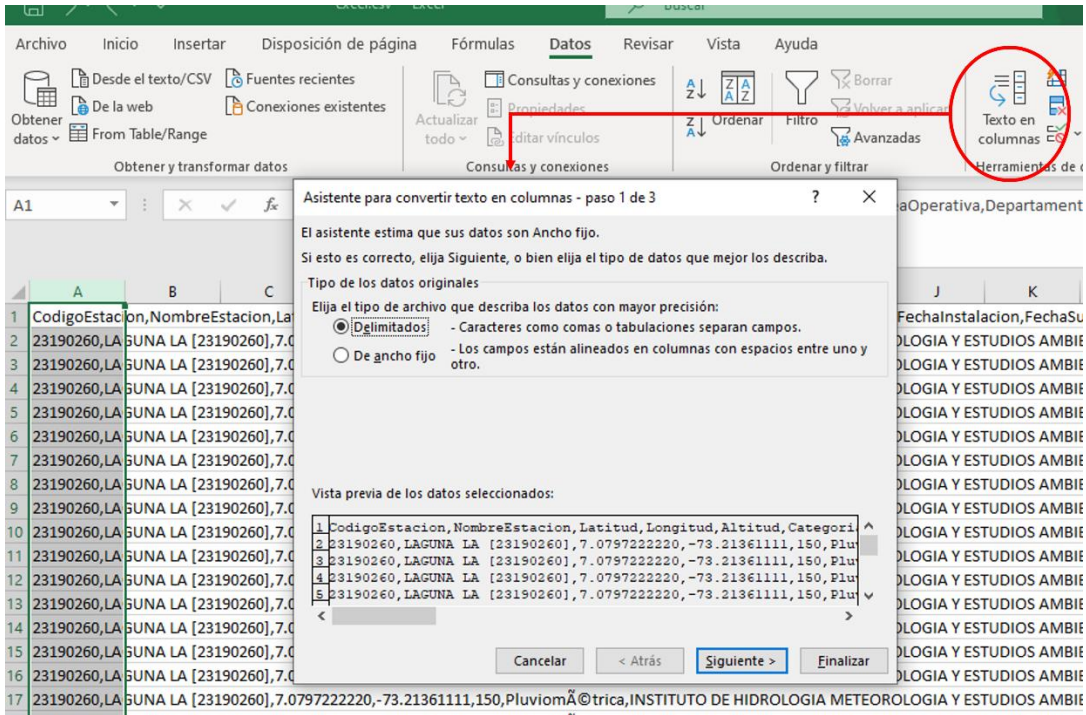


Ilustración 11. Texto en columnas

La información se encontrará dividida y ahora procederá a crear dos columnas que separe el mes y el año con +MES y +AÑO respectivamente.

	A	B	C	D
1	Fecha	Valor	Mes	Año
2	6/07/1971 7:00		=+MES(A2)	1971

Ilustración 12. fórmulas Excel

Prosigue a crear una tabla dinámica seleccionando las columnas de mes, año y los valores de precipitación y dirigiéndose a insertar y luego tabla dinámica. En los campos de tabla dinámica puede poner el año en columnas, el mes en filas y la suma de valores de precipitación en valores. En la siguiente imagen se ve un ejemplo donde la estación no sirve debido a que sus últimos 15 años no tiene información seguida.

	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	
1	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total general			
1	41.7	18.9	110.8	32.2	19.9	11.5	54.4	20.2	8.5	33.7	39.7	24.6	15.2	22.1	38.2	58.6	22.3	29.1	50.1					1891.5
1	152.5	118.8	445.5	70.4	49.5	158.1	66.6	51.4	0.6	46.2	64.5	40.7	8.4	25.8	5.2	8	60.2	126.7	87.2					5198.3
1	238.2	101.6	13.6	132.7	74.4	190	124.4	19.6	35	51.5	150.3	114.4	180.7	123.9	121.9	121	60.5	167.7	178.5					5161.8
1	112.6	163.4	101.9	47.7	75.9	84.7	124.1	44.1	20.9	51.8	34.8	68.6	96.4	49.1	137.9	31.3	50.3	197.1	74					4581.8
7	46.7	210.9	118.9	126.5	118.2	79.5	72.6	173.6	104.3	48.9	111.3	61.2	52.1	156.9	108.2	84.6	58.4	53.5	63.3					4624.4
1	132.2	40.3	77.6	151.8	101.6	32.3	138.5	97.2	116.6	25	21.7	55.3	143.2	64.3	26.3	34.4	52.7	38.5	28.3					3400.1
1	56	52.9	59.5	65.5	21.5	79.6	52.9	3.5	24.4	47.2	35.5	109.3	61.5	31.9	49.3	49	119.3	113.5						3403.6
1	59	19.8	36.9	97.2	110.7	72.1	117.6	104.5	88.6	115.9	157.8	119.5	62.3	34.2	151.7	116.8	49	38.5	184.5					4040.7
1	89.3	84.7	112.4	62.5	101.5	114.1	33.6	42.2	46.1	89.5	42.7	24.3	63.8	64.6	94.6	73.2	126.6	81.9						3897.9
1	170	142.6	215.6	169.8	108.7	86	102.1	21.1		70.3	232.8	42.8	115	72.8	161.9	69.1	185.2	94.5	194					5994.6
7	160.9	91.2	137.1	59.2	55.8	154.9	61.3	0		77.2	172.2	54.8	78.2	77.6	42.5	69.6	99	58.2	23					8922.1
1	33	42.7	27.5	19.1	14.5	2.5	4.3	10		2.8	8.2	13.7	9.1	13.4	0	13.4	4.1	90.7	21.3					1403.8
1	1282.1	1087.8	1457.3	1034.6	852.2	1065.3	918.8	578.8	441.1	358.5	953.1	695.8	763	821.3	894.7	850.5	797.4	832.2	1230.8	481.4				45520.1

Ilustración 13. Tabla dinámica de precipitación

Una vez se haya determinado que estaciones sirven se procede a crear un nuevo shapefile como se explicó anteriormente con estos puntos, la única diferencia es que en feature type seleccionará *point* y dará clic sobre las estaciones de interés mientras esté en editar.

Puede apagar la capa de todas las estaciones hidrometeorológicas para facilidad al momento de trabajar los polígonos de Thiessen.

Debe también crear un polígono que será el delimitante de las secciones. Este polígono debe abarcar todas las cuencas y las estaciones útiles.

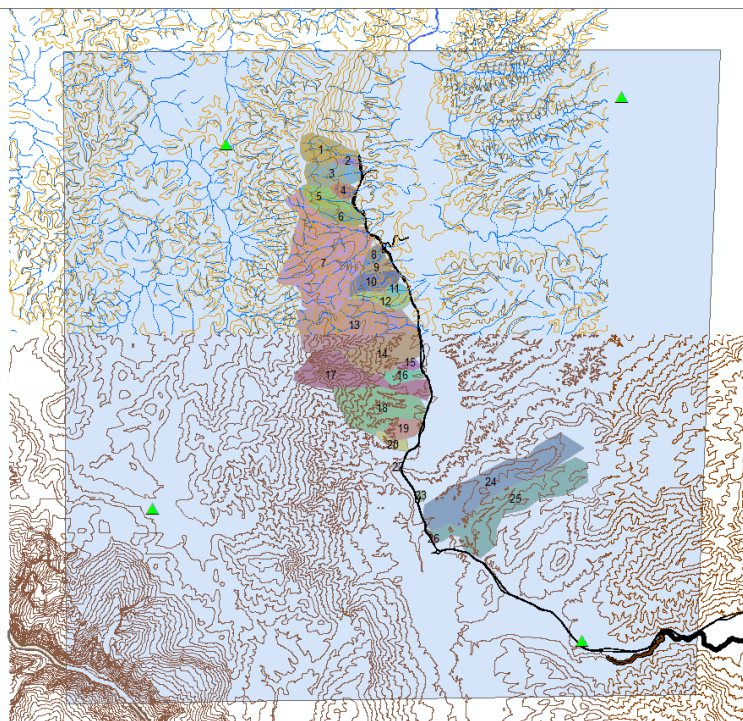


Ilustración 14. Polígono delimitante

Para crear el polígono de Thiessen se sigue la siguiente ruta: ArcToolbox → Analysis tools → Proximity → Create Thiessen Polygons, aparecerá una ventana y en Input Features introducimos el Feature que contiene las estaciones hidrometeorológicas y en Output Fields (optional) seleccionar All. En la parte inferior de la ventana ingresa a environments →

processing extent y en extent ubica el polígono delimitante que creó previamente. En la Ilustración 16 se observa un ejemplo de cómo queda el polígono de Thiessen y como cada estación aporta a ciertas a cuencas.

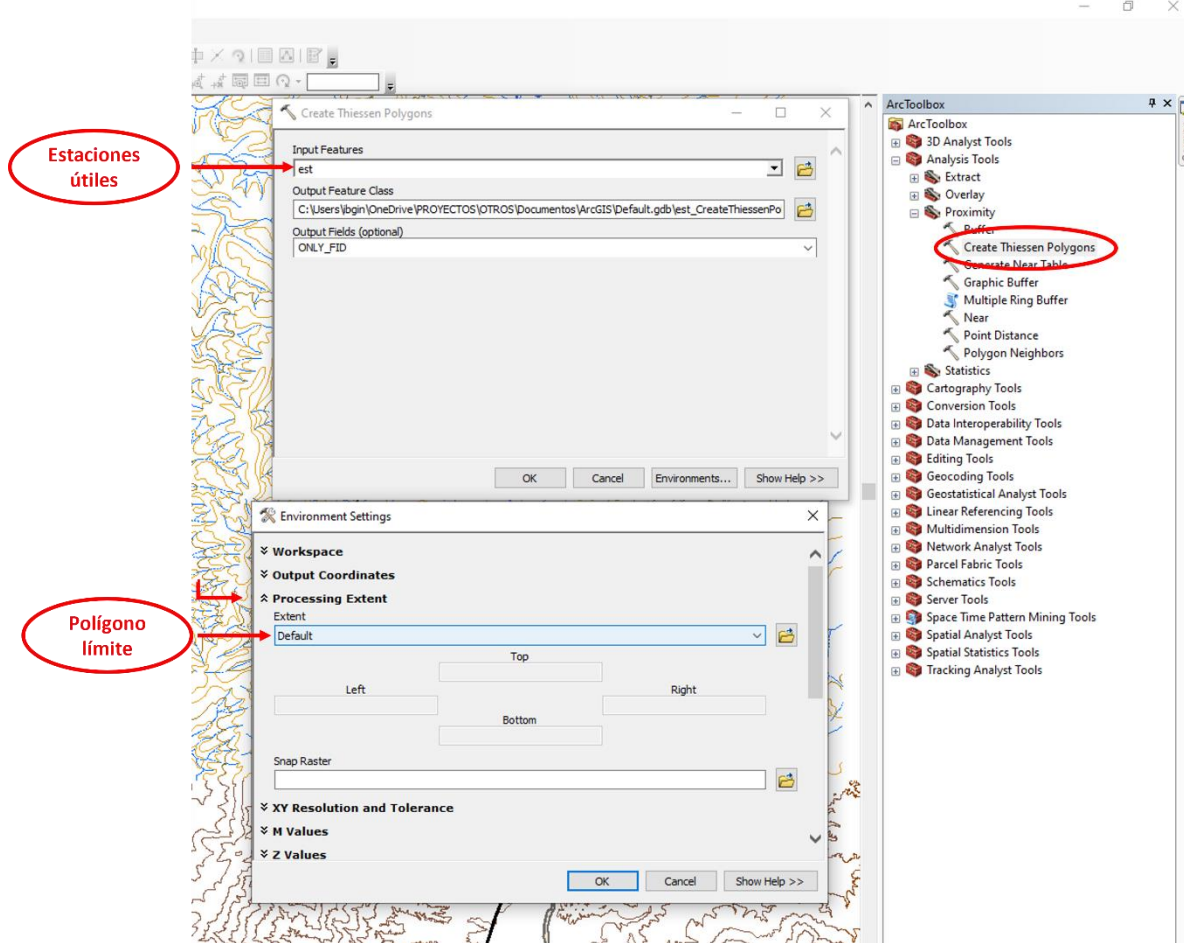


Ilustración 15. Crear polígono de Thiessen

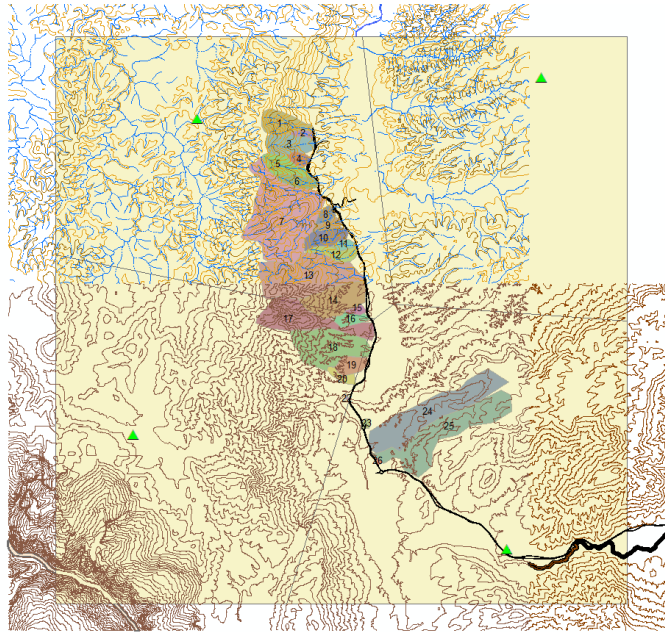


Ilustración 16. Polígono de Thiessen

#### 2.1.1.4. Cálculo valores morfométricos

##### 2.1.1.4.1. Área

1. Haga clic derecho sobre la capa de cuenca y selecciona "Open attribute table".
2. En la tabla de atributos, haga clic en el botón "Add Field", dependiendo de la versión que estés utilizando. Este botón generalmente se encuentra en la parte superior de la tabla de atributos como se muestra en la Ilustración 17.
3. Se abrirá una ventana para agregar un nuevo campo. En esta ventana, selecciona el tipo de datos "Double" en la lista desplegable "Type", a continuación, se describe para que sirve los tipos de datos más comunes:

- ✓ Short Integer: Número entero que puede almacenar valores desde -32,768 hasta 32,767.
  - ✓ Long Integer: Similar al entero corto, pero puede almacenar valores más grandes, desde -2,147,483,648 hasta 2,147,483,647.
  - ✓ Double: Se utiliza para almacenar números con decimales.
4. Puede ajustar la longitud del campo o la precisión decimal, dependiendo de sus necesidades.

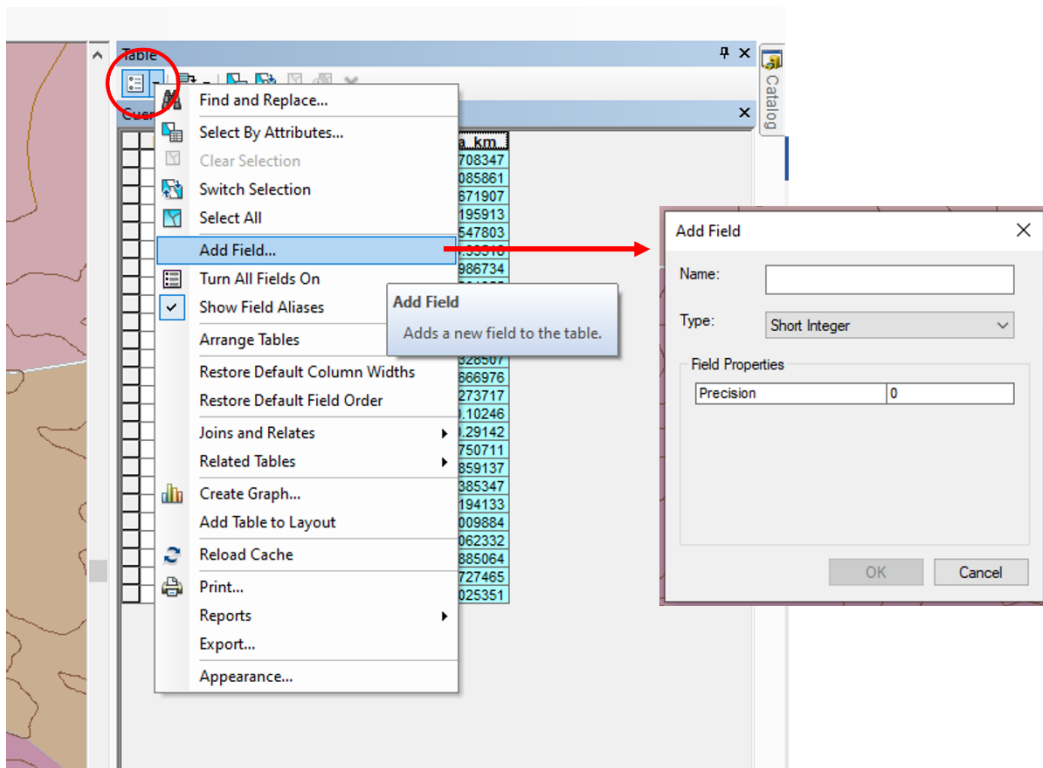


Ilustración 17. Agregar columna

5. Comienza a editar dando clic en “start editing”, luego haga clic derecho en el campo que acabó de crear y seleccione “calculate geometry”.
6. Seleccione el tipo de geometría para el cálculo la cual sería área para este caso y seleccione la unidad de medida deseada.

7. Revise que el sistema coordinado coincide con el que está trabajando.
8. Finalice el cálculo del área de las cuencas dando clic en “ok”.

#### 2.1.1.4.2. Longitud máxima

1. Debe crear otra capa para el cauce más largo de la cuenca usando “line” en feature type.
2. Comience a editar de nuevo escogiendo la capa que acabó de crear.
3. Dele clic en create features y luego escoja la capa.
4. Seleccione “line” en construction tools y proceda a buscar el ícono de “trace”. Esta herramienta facilita el trazado de una línea sobre otra. Los pasos se encuentran ilustrados en la Ilustración 18.

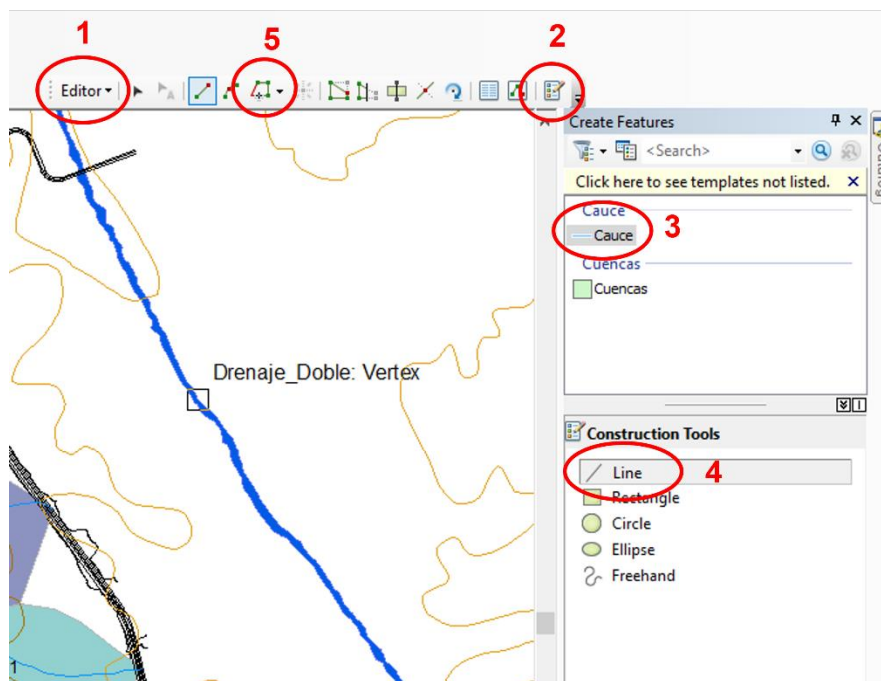


Ilustración 18. Usar trace

5. Seleccione el punto de inicio e identifique la ruta más larga.
6. Finaliza la línea dando doble clic.

7. Vuelva a hacer el mismo procedimiento que se hizo en “Área” para crear un campo en la tabla de atributos con el objetivo de calcular la longitud del cauce. La única diferencia es que en tipo de geometría escogerá “length”

#### 2.1.1.4.3. Pendiente

Para la pendiente no hay ningún tipo de herramienta, por lo tanto, tendrá que calcularla con la fórmula 6:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{d} \quad (6)$$

Donde la  $y_2$  es la cota donde empieza y  $y_1$  hasta dónde llega el afluente y la  $d$  es la longitud del cauce.

Con una regla de tres simple y la herramienta de “medir” se puede calcular la cota en la que empieza el cauce más largo. Con la herramienta “identify” revise la cota inferior y superior presionando sobre las curvas de nivel. Este proceso también debe hacerse para la cota en donde cruza con la carretera. A continuación, se muestra un cálculo tipo con la información que se tiene en la Ilustración 19.

$$\frac{1050 - 1000}{x} = \frac{71.97}{37.07}$$

$$x = 25.75$$

$$cota = 1025.75$$

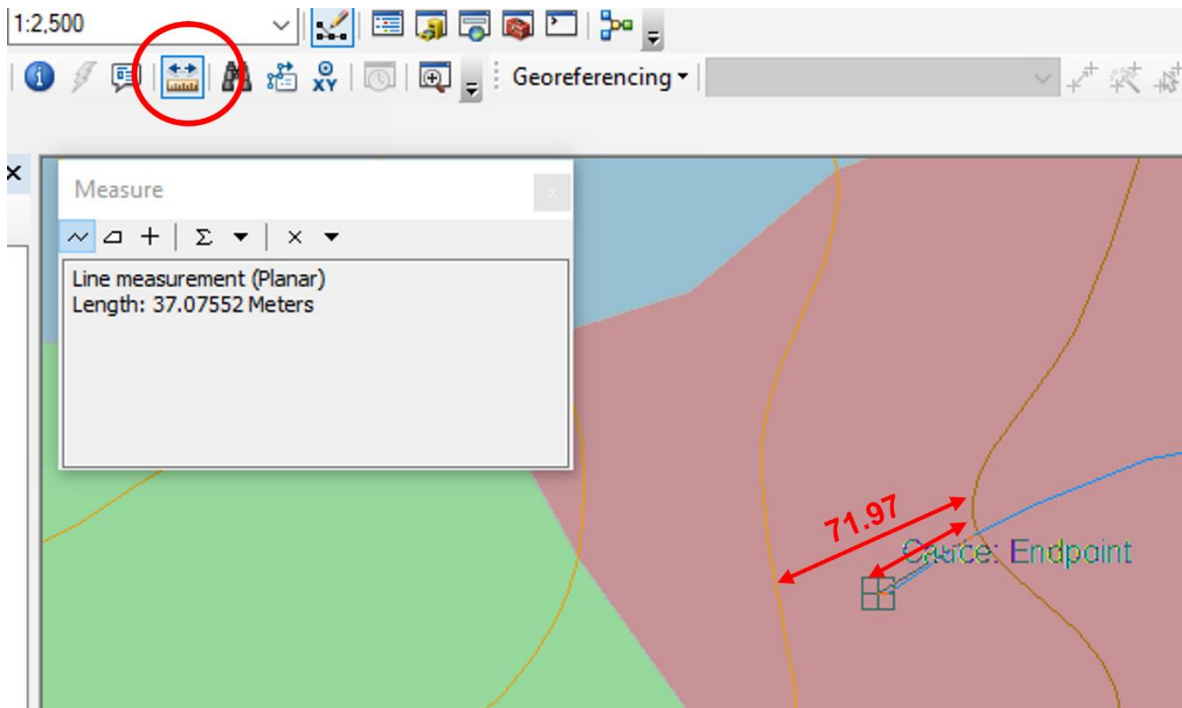


Ilustración 19. Medición de distancias

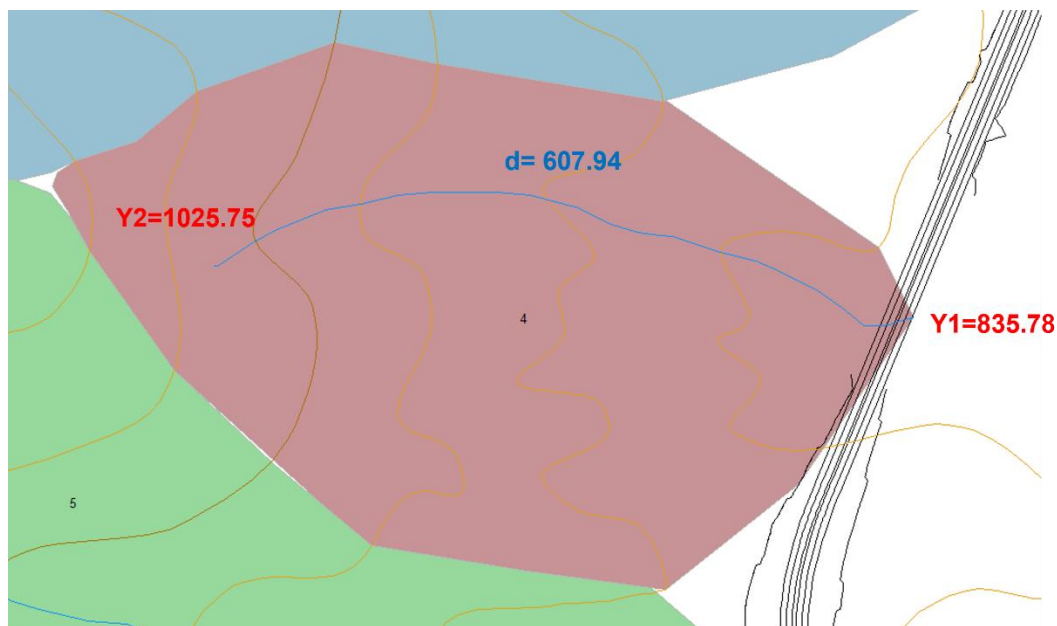


Ilustración 20. Ejemplo aplicativo

Finalmente, con la información recopilada se puede calcular la pendiente del cauce más largo de una de las cuencas.

$$m = \frac{1025.75 - 835.78}{607.94} = 0.31 \left( \frac{m}{m} \right)$$

## 2.1.2. Intensidad

### 2.1.2.1. Tiempo de concentración

En el Drive de la empresa, se encuentra disponible una hoja de cálculo en Excel llamada “Tiempo de concentración” que simplifica el proceso de determinar los tiempos de concentración y la pendiente en la gestión hidrológica. Puede encontrarlo siguiendo la ruta PROCESOS → Excel → Calculo\_intensidad. Para utilizarla, solo necesita ingresar algunos datos previamente calculados: el área en kilómetros cuadrados (km<sup>2</sup>), la altitud del punto más alto del cauce y la altitud del punto más bajo, así como la longitud del cauce en metros (m). Una vez que ingrese estos datos, la hoja de cálculo automáticamente calculará los tiempos de concentración utilizando diferentes métodos, así como el "lag time". Además, si existe una diferencia significativa entre los tiempos calculados por cada método (más del 150%), la hoja de cálculo calculará el promedio de los tiempos.

Es importante destacar que, para el cálculo del tiempo de concentración, la hoja de cálculo seguirá una regla específica: seleccionará el valor más alto entre los tres tiempos calculados o el promedio, siempre y cuando este sea mayor a 15. En caso contrario, se elegirá un valor mínimo de 15, y la celda correspondiente se resaltará en color rojo para indicar esta situación. En la Ilustración 21, se muestra el uso de Excel, donde las celdas en gris indican la posibilidad de modificar los datos.

NO	ABSCISA DER	ABSCISA IZQ	Area (km2)	Punto mas alto (msnm)	Punto mas bajo (msnm)	Longitud (m)	Longitud (km)	Diferencia cotas	pendiente (m/m)	Kirpich (h)	Temex (h)	Ecuación de Giadotti(H)	Kirpich (min)	Temex (min)	Ecuación de Giadotti(min)	promedio	TC Escogido	Lag time
1	K0+050	K0+090	0.708	1300.00	800.00	1566.69	1.57	500.00	0.32	0.15	0.22	0.32	8.72	13.11	19.17		19.17	11.5044
2	K0+200	K0+215	0.086	950.00	793.50	477.24	0.48	156.50	0.33	0.06	0.09	0.19	3.46	5.29	11.32	6.69	15.00	4,0121
3	K0+425	K0+440	0.672	1300.00	842.30	1432.66	1.43	457.70	0.32	0.14	0.20	0.32	8.14	12.25	19.03	13.14	15.00	7,8831

Ilustración 21. Tiempo de concentración en Excel

### 2.1.2.2. Curvas IDF

Las curvas intensidad-duración-frecuencia son útiles tanto para el método racional como para el método del hidrograma de escorrentía superficial. En la sección de metodología se explicó cómo se calculan, en la siguiente ruta hay un Excel que facilita el cálculo de las curvas: PROCESOS → Excel → IDF

En la sección 2.1.1.3 se detalló cómo procesar los datos hasta la tabla dinámica. Se continúa con ese procedimiento. Selecciona cualquier celda de la tabla dinámica y debería aparecer una ventana en la parte derecha llamada "Campos de tabla dinámica". Si no aparece, dirígete a "Analizar tabla dinámica" y habilita la opción de lista de campos, tal como se muestra en la Ilustración 22.

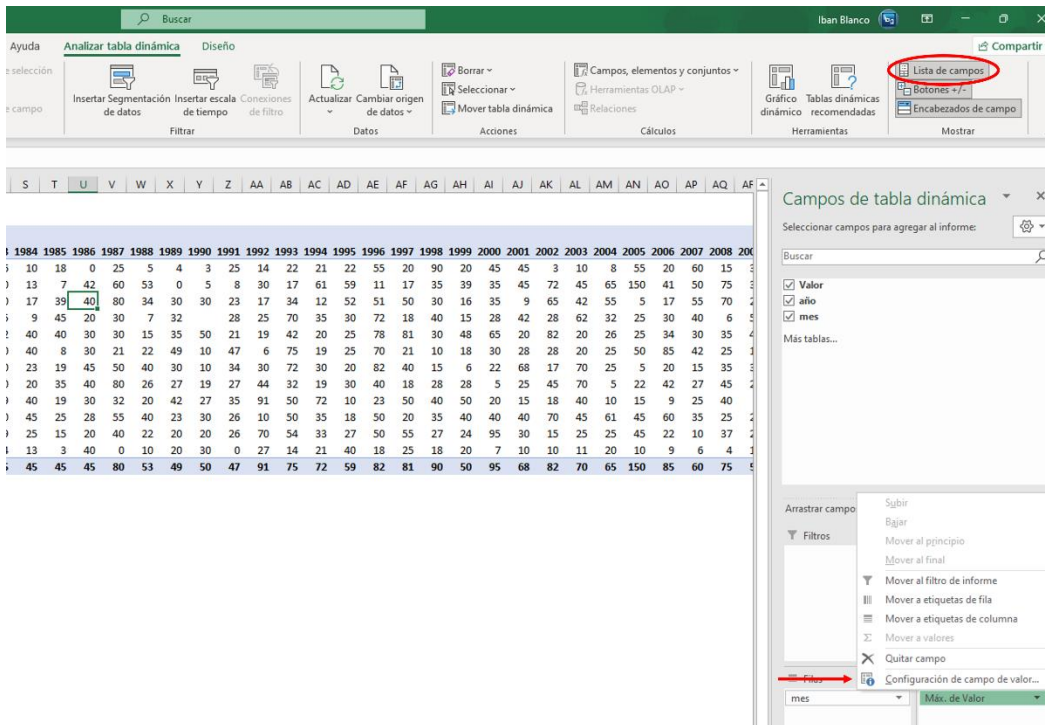


Ilustración 22. Precipitación máxima anual

En el área de valor, haz clic en el campo que está en el área y luego en "Configuración de campo de valor". Allí podrás escoger el tipo de cálculo que deseas usar. En este caso, solo interesa el máximo, así que selecciona "Máx".

La información que exportará al Excel "IDF" es el total general, es decir, la última fila resaltada, que corresponde a la precipitación máxima del año.

En ese Excel también debe tener en cuenta la región. En la Ilustración 23 se muestra cómo usar el Excel "IDF", solamente debe modificar lo que está encerrado en los círculos rojos.

La M sería el promedio de los datos de precipitación máximo.

**Cambiar valores de acuerdo a la región en la que se ubique el proyecto**

REGION	a	b	c	d	0.94	a	Factores que dependen de la región	$i = \frac{\alpha * T^b * M^d}{\left(\frac{t}{60}\right)^c}$	Dónde:
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83	0.18	b	Andina (R1) PT Max Prom anual 24 Hrs multianual		
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.5	0.1	0.66	c		T = Tiempo de retorno en años	
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.2	0.83	d		t = Duración de la lluvia en minutos.	
Orinoquia (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42	71.87	M		M = Precipitación máxima promedio anual en	
									a,b,c,d = Parámetros de ajuste de la regresión regio

TR	Precipitación Máxima Anual en 24 Horas															
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
2.33	196.092	124.102	94.964	78.542	67.786	60.101	54.287	49.707	45.990	42.900	40.285	38.036	36.079	34.357	32.828	31.451
3	205.219	129.879	99.384	82.197	70.941	62.898	56.814	52.021	48.130	44.897	42.160	39.807	37.759	35.956	34.356	32.921
5	224.983	142.387	108.956	90.114	77.773	68.956	62.285	57.031	52.766	49.221	46.220	43.641	41.395	39.419	37.664	36.091
10	254.880	161.308	123.434	102.088	88.108	78.119	70.562	64.609	59.777	55.762	52.362	49.440	46.896	44.657	42.669	40.891
15	274.178	173.521	132.780	109.818	94.779	84.033	75.904	69.501	64.303	59.984	56.327	53.183	50.446	48.038	45.900	43.981
20	288.749	182.743	139.837	115.654	99.816	88.500	79.939	73.195	67.721	63.171	59.320	56.009	53.127	50.591	48.339	46.321
25	300.583	190.233	145.568	120.394	103.907	92.127	83.215	76.195	70.496	65.760	61.751	58.305	55.305	52.665	50.320	48.221
50	340.526	215.512	164.911	136.393	117.715	104.369	94.273	86.320	79.864	74.499	69.957	66.053	62.654	59.663	57.007	54.631
100	385.776	244.150	186.825	154.517	133.357	118.238	106.800	97.790	90.476	84.399	79.253	74.830	70.980	67.591	64.583	61.881
500	515.407	326.190	249.603	206.439	178.168	157.968	142.687	130.650	120.879	112.759	105.884	99.975	94.830	90.304	86.284	82.681

**Precipitación Máxima Anual en 24 Horas**

NOMBRE ESTACION	
1968	60
1969	70
1970	105
1971	52
1972	70
1973	132
1974	70
1975	103
1976	70
1977	50
1978	55
1979	130
1980	75
1981	46
<b>PROMEDIO: 71.87273</b>	

**Cambiar valores de acuerdo a la información de la estación hidrometeorológica**

Ilustración 23. Excel "IDF"

Lleve este promedio al Excel 'Calculo\_intensidad'. En la hoja 'intensidad\_caudal', ingrese los datos en las celdas grises, donde automáticamente se calcularán las intensidades para diferentes tiempos de retorno. Debe tener en cuenta que cada estación hidrometeorológica tiene información diferente por lo que deberá crear tantos exceles como necesite.

### 2.1.3. Coeficiente de escorrentía

En el proyecto que está trabajando en ArcGIS, debe agregar la carpeta de coberturas que se encuentra en PROCESOS → IGAC. Arrastre el shapefile de cobertura, haga clic derecho sobre la capa, seleccione 'Propiedades', luego vaya a la pestaña de 'Symbology' y en 'Categories' busque 'Leyenda' en 'Value Field'. Después, presione 'Add All Values' y finalmente haga clic en 'Aceptar'. Los pasos se muestran en la Ilustración 24.

Utilice nuevamente la herramienta 'Identify' para ver la leyenda de cada área. Con esta capa, puede determinar si necesita la información de la tabla 1 o la tabla 2.

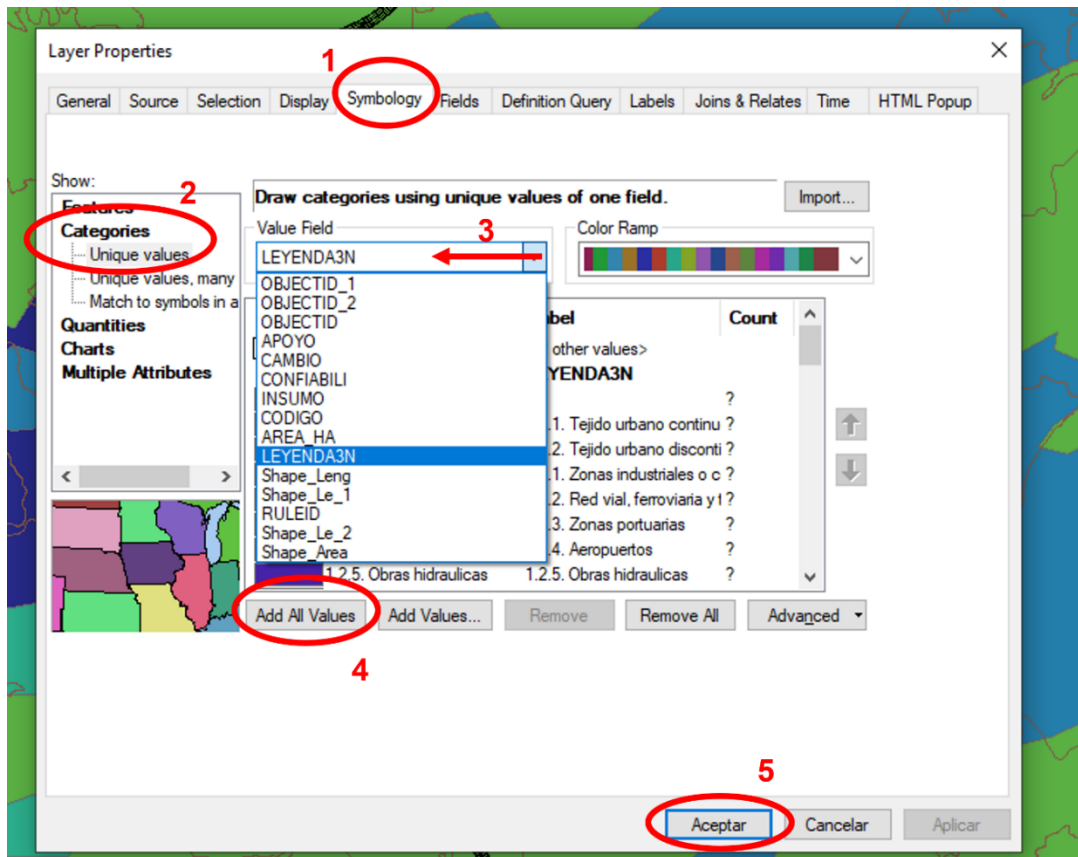


Ilustración 24. Propiedades de capa

Para la litología y pendientes usa el Mapa de Suelos del Territorio Colombiano a escala 1:100.000 del departamento que necesite, la información la puede buscar en el siguiente link:

<https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia>

Vuelve a hacer los pasos que se hicieron para la capa de coberturas solo que en “value field” escogerá “litología”.

“Clip” es una herramienta que sirve recortar una capa de datos espaciales utilizando los límites definidos por otra capa.

1. Haga clic en el menú "Geoprocessing" en la barra de herramientas superior y seleccione "Clip".
2. En el cuadro de herramientas "Clip", seleccione la capa que se cortará (capa de "entrada") en el campo "input features".
3. Seleccione la capa que se utilizará para cortar (capa de "clip") en el campo "clip features".
4. Especifique la ubicación y el nombre del archivo de salida en el campo "output feature class".
5. Haga clic en "Ok" para ejecutar la herramienta de Clip.

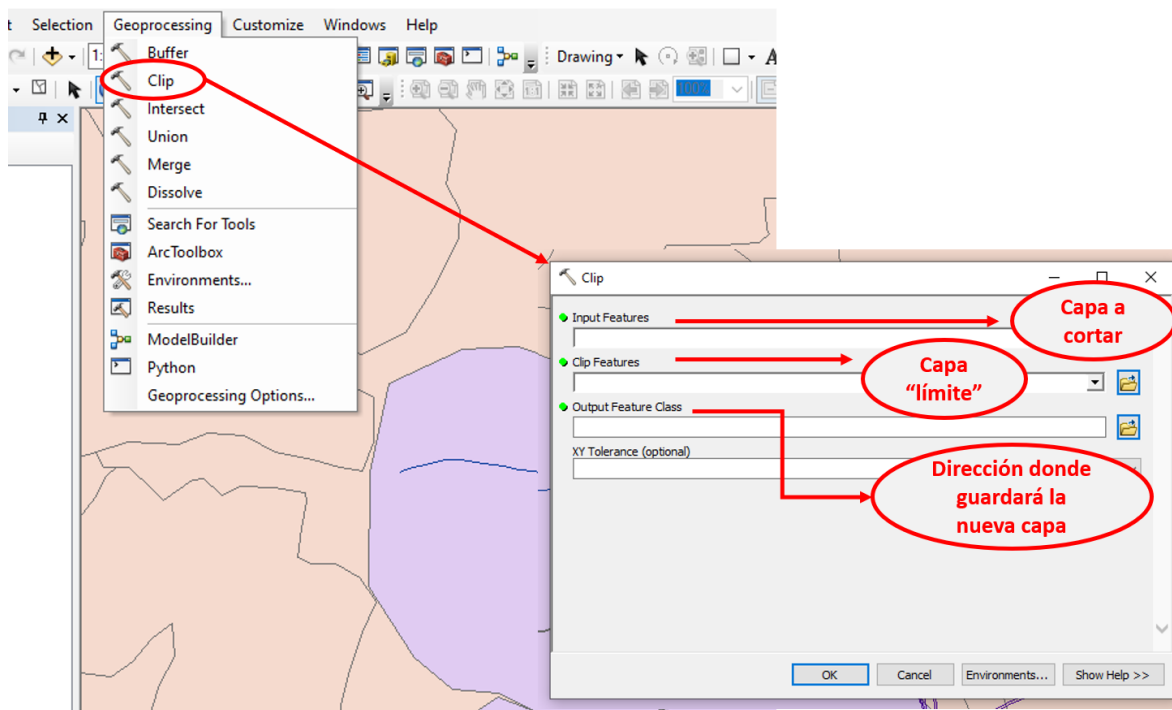


Ilustración 25. Herramienta Clip

Hará lo mismo para el shapefile de coberturas el cual lo puede encontrar siguiendo la siguiente ruta: INFORMACION BASE IBG → CARTOGRAFIA → COBERTURAS.

Procederá a unir las capas de cuencas, clip de coberturas y clip de suelos por medio de la herramienta "unir":

1. Haga clic en el menú "Geoprocessing" en la barra de herramientas superior y seleccione "Union".
2. En el cuadro de herramientas "Union", seleccione todas las capas que necesite unir, en este caso son la de cuencas, el clip que realizó en el paso anterior de coberturas y suelos
3. Especifique la ubicación y el nombre del archivo de salida en el campo "output feature class".

4. Haga clic en "Ok" para ejecutar la herramienta de Union.

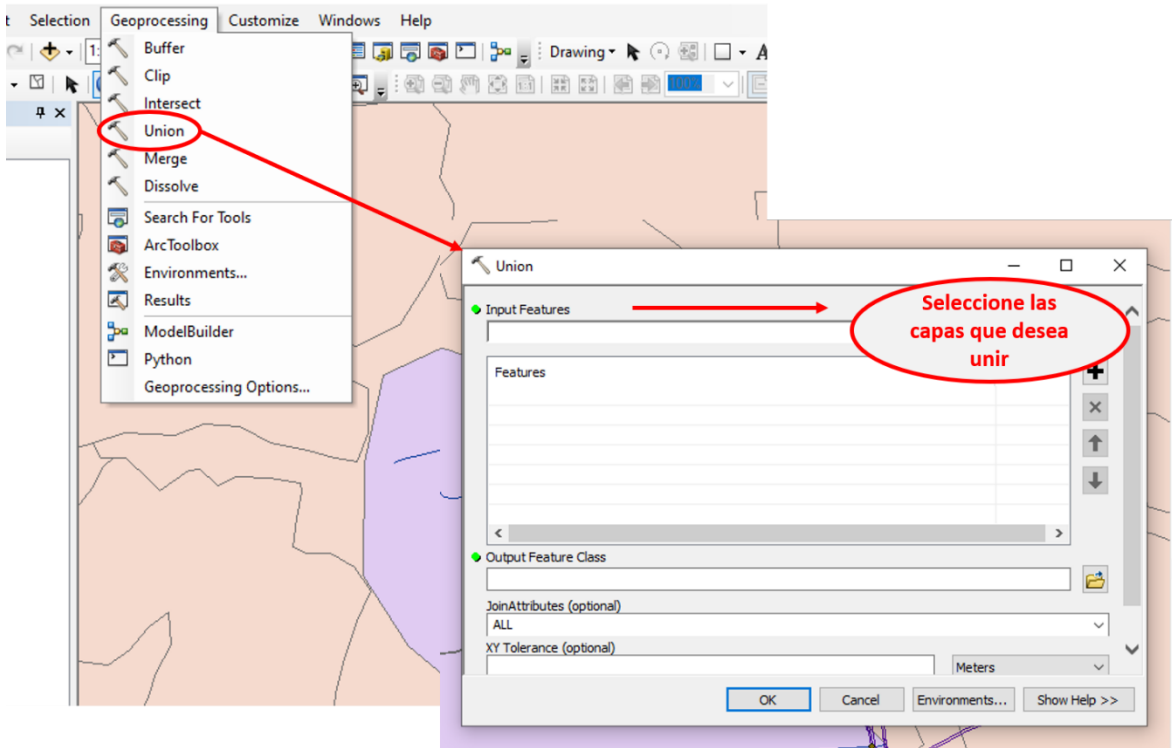


Ilustración 26. Herramienta Union

Se creó una nueva capa con la información conjunta, abre la tabla de atributos dando clic derecho sobre la capa y escogiendo la opción “Open attribute table”, procede a crear una nueva columna para calcular el área de cada sección de la misma manera que se explicó en la sección 2.1.1.4.1.

Copia toda la tabla a un Excel y elimina las columnas que no interesan. Se quedará con las columnas de id (para saber a qué cuenca pertenece la información), “LEYENDA3N”, el área de la cuenca, “TIPO\_RELIE”, “LITOLOGÍA” y el área que creó previamente.

En el Excel cree una columna donde identificará el tipo de suelo de acuerdo a la litología, otra columna donde determine el valor de coeficiente de escorrentía usando las tablas de la sección 1.1.1 y otra columna donde sea el resultado de la multiplicación entre el coeficiente

de escorrentía y el área aplicada. Debe hacer la sumatoria de la última columna y hacer un ponderado, así como se muestra en Tabla 8 y Tabla 9. Deberá hacer este proceso para cada cuenca.

Tabla 8. Coeficiente de escorrentía para cada sección

id	LEYENDA3N	Area_1	TIPO_RELIE	LITOLÓGÍA	AREA_FINAL	SUELO	Ce	Ce*A
1	3.2.1. Herbazal	0.73622	Escarpes	Areniscas, arcillolitas y calizas	0.156065	B	75	11.704875
1	3.2.1. Herbazal	0.73622	Lomas y colinas	Arcillolitas, limolitas y arcillas	0.115183	B	60	6.91098
1	2.3.3. Pastos enmalezados	0.73622	Escarpes	Areniscas, arcillolitas y calizas	0.410994	B	70	28.76958
1	2.3.3. Pastos enmalezados	0.73622	Lomas y colinas	Arcillolitas, limolitas y arcillas	0.004065	C	72	0.29268
1	2.3.3. Pastos enmalezados	0.73622	Lomas y colinas	Arcillolitas, limolitas y arcillas	0.000311	B	45	0.013995
1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.73622	Escarpes	Areniscas, arcillolitas y calizas	0.011738	B	75	0.88035
1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.73622	Lomas y colinas	Arcillolitas, limolitas y arcillas	0.03786	B	70	2.6502
1	2.3.3. Pastos enmalezados	0.73622	Escarpes	Areniscas, arcillolitas y calizas	0	B	42	0
1	2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	0.73622	Escarpes	Areniscas, arcillolitas y calizas	0.000001	B	50	0.00005
							Σ	51.22271

Tabla 9. Coeficiente de escorrentía para una cuenca

<b>Σ (Ce*A)</b>	51.22271
<b>ÁREA</b>	0.736217
<b>Coeficiente de escorrentía</b>	70

### 2.1.4. Caudal

Ya una vez se tenga todos los insumos necesarios los implementa en la ecuación( 1 con el objetivo de calcular el caudal de diseño.

## 2.2. Método del hidrograma de escorrentía superficial

### 2.2.1. Número curva

Calcule el número de curva de la misma forma que calculó el coeficiente de escurrentía, solamente que usará las tablas 5, 6 y 7

### 2.2.2. Hietograma

Primero, calculamos la precipitación acumulada multiplicando el tiempo por la intensidad. Luego, determinamos la precipitación en cada intervalo de tiempo restando la precipitación acumulada actual de la acumulada en el intervalo anterior. Después, intercalamos estos datos recién calculados. El hietograma se representa con una gráfica donde el tiempo se ubica en el eje x y los datos intercalados en el eje y. En la pestaña "Hietograma" del Excel "IDF", este proceso está automatizado para calcular el hietograma utilizando los datos de intensidad.

### 2.2.3. HEC-HMS

1. Preparación del modelo en HEC-HMS:
  - Abre el software HEC-HMS y crea un nuevo proyecto.
  - Define los componentes del modelo:

Componentes de la cuenca:

Cuenca: Components → Create component → Basin model

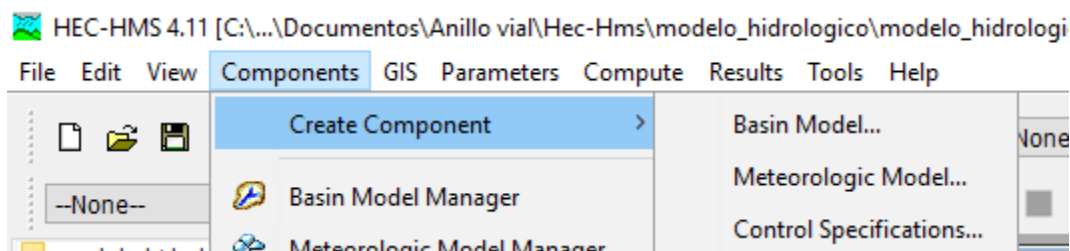


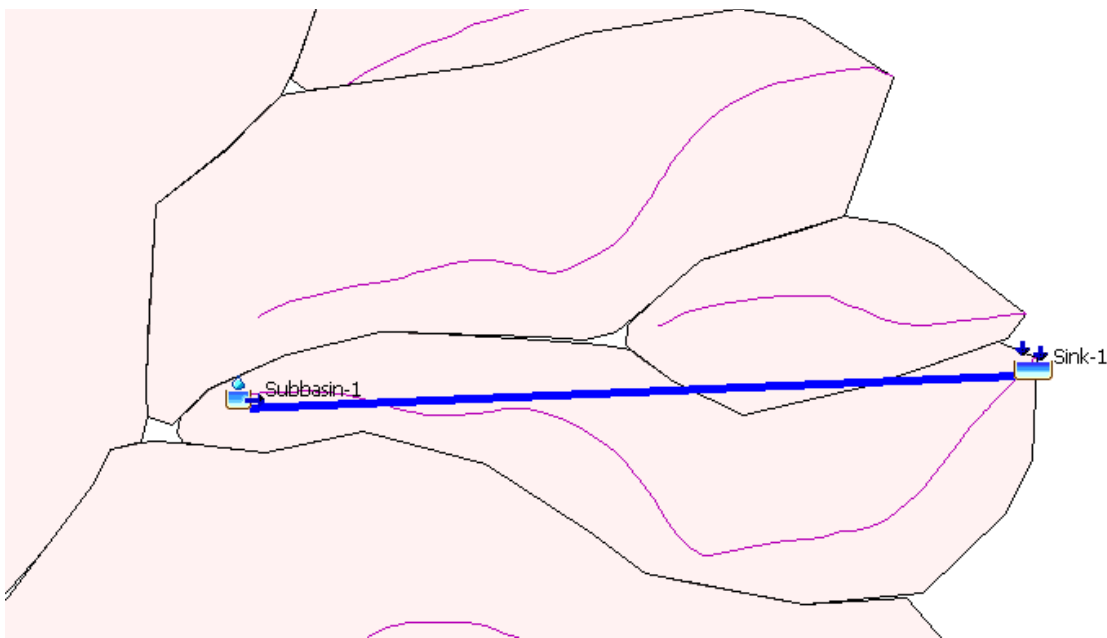
Ilustración 27. Crear componentes en HEC-HMS

Puede agregar una capa de las cuencas para ayudarse visualmente al momento de agregar los otros componentes. View → Map layers y busca el sph.

Ubíquese en su cuenca y agregue las siguientes herramientas de acuerdo a su caso de estudio

- Subbasin creation tool: subcuenca
- Sink creation tool: Es el punto de descarga del agua
- Junction creation tool: Puntos de conexión entre diferentes componentes del modelo hidrológico.
- Reach creation tool: Representa un tramo de flujo, como un río o canal). Se dibuja de aguas arriba a aguas abajo.

En la siguiente imagen se puede ver un ejemplo sencillo de cómo debería modelarse, siendo el reach la línea que une la subbasin y el sink.



*Ilustración 28. Modelación de la subcuenca*

- Ingresar los datos necesarios para cada componente, como características físicas de la cuenca, curvas de hidrograma, coeficientes de escorrentía, etc.

En “subbasin” se debe conectar el downstream con el reach que se creó, se digita el área de la cuenca y en “loss method” y “transform method” hay variedad de métodos con los que se puede trabajar, usualmente se trabaja con SCS curve number y SCS Unit hydrograph respectivamente, en baseflow method se escoge “none” asumiendo que no se tiene un flujo base. Sin embargo, estos parámetros pueden cambiar de acuerdo a lo que requiera el proyecto.

Pasa a la pestaña Loss y allí piden el número de curva. El término impervious se refiere a superficies que no permiten la infiltración de agua como el concreto, el asfalto, el tejado de una casa, entre otros, usualmente es un valor de 0 pero este va cambiando de acuerdo a las características del proyecto.

La siguiente pestaña es la de transform, allí solo piden el Lag time en minutos el cual se toma como el 60% del tiempo de concentración.

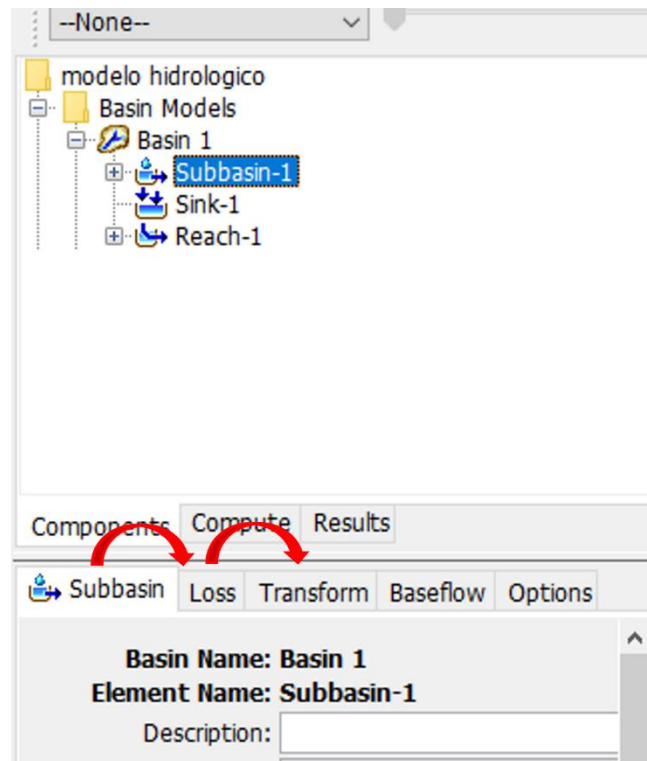


Ilustración 29. Componente de subcuenca.

Pasamos al elemento de reach y en downstream elegimos el punto a donde va a llegar o descargar el agua, en routing method se escoge lag, en la pestaña de routing se vuelve a indicar el Lag time.

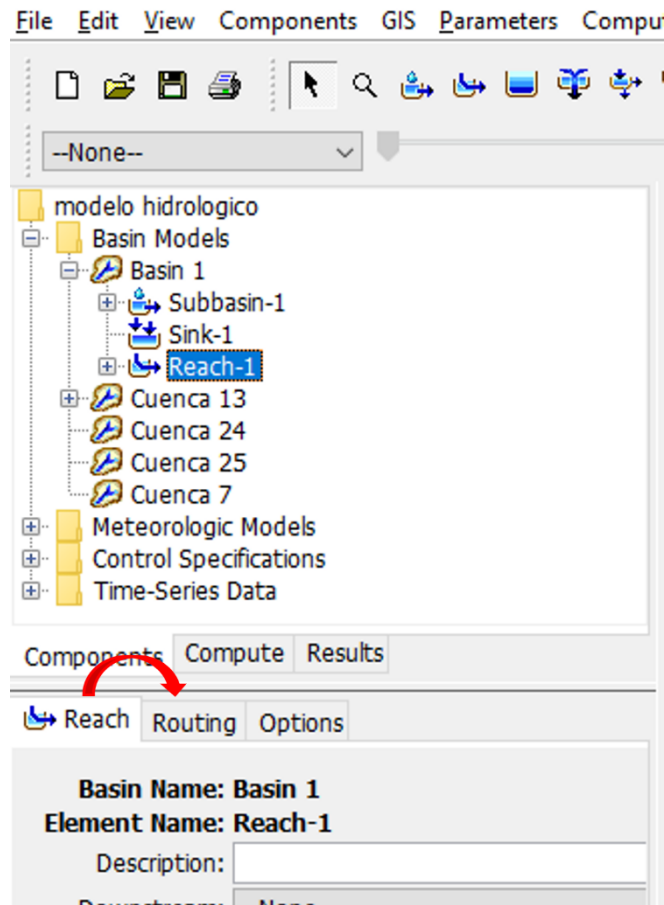


Ilustración 30. Componente de "reach"

## 2. Configuración del modelo de precipitación:

- Define la serie temporal de precipitación para tu evento de diseño. Puede ingresar datos de lluvia históricos o generar eventos de diseño sintéticos.

Se debe crear otros 3 componentes:

- Components → Time series data

Debe configurar el componente para que coincida con la estación de monitoreo correspondiente. Esto implica ingresar la frecuencia de muestreo de los datos y los valores

del hietograma. Las fechas de inicio y fin son irrelevantes, sin embargo, tienen que coincidir con los valores que vaya a proporcionar.

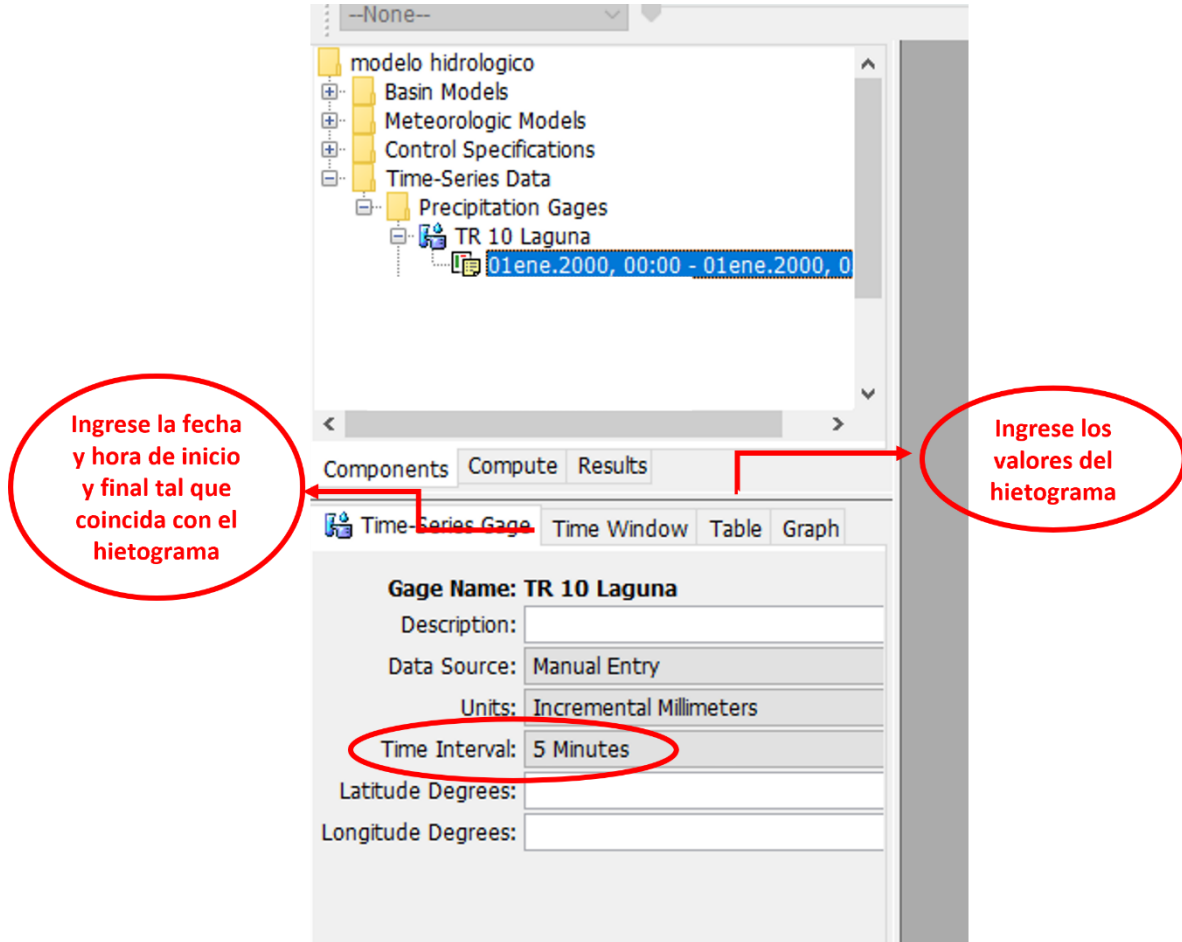


Ilustración 31. Componente de time series data

- Components → meteorologic model

Se escoge el método de “specified hyetograph” para precipitation y en replace missing se establece “set to default” para que siga calculando después del tiempo de precipitación. En la pestaña de Basins da clic en “yes” en las cuencas que vaya a incluir en la simulación. En

la pestaña de “specified hyetograph” debe definir las series temporales correspondientes a cada subcuenca del modelo.

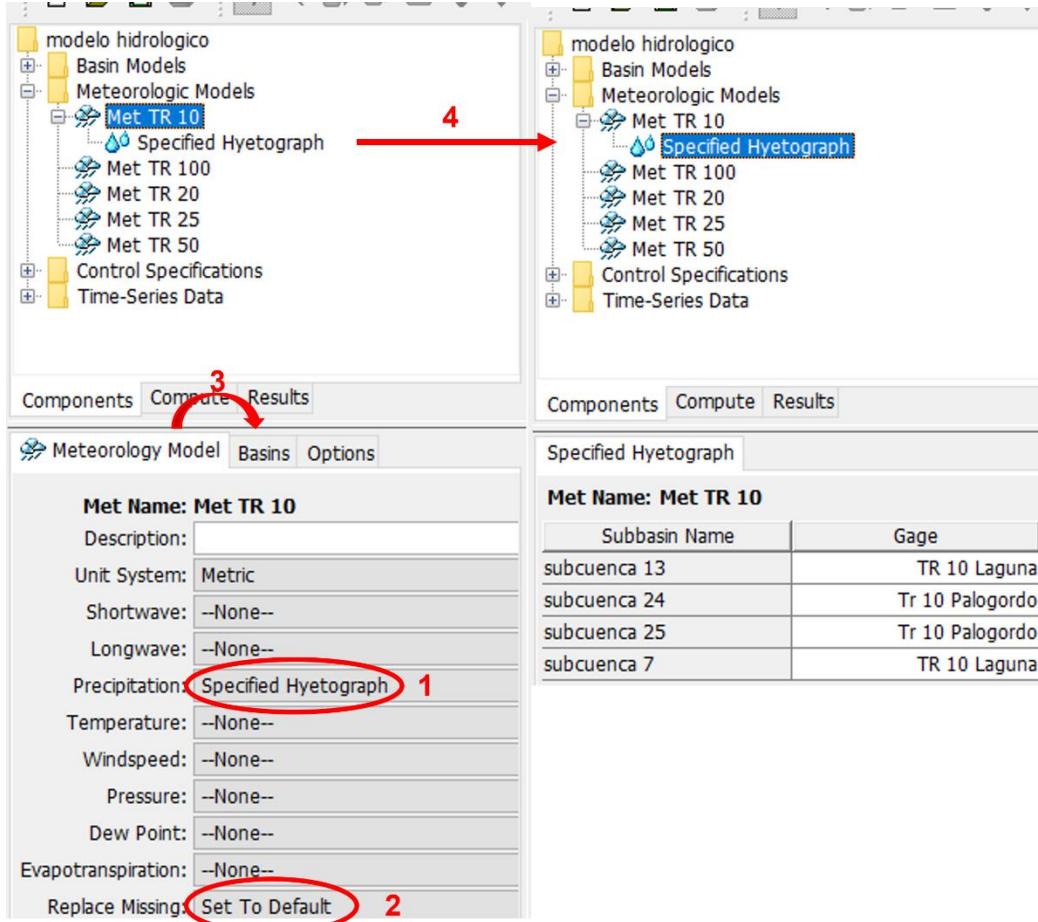


Ilustración 32. Componente meteorológico

- Components → Control specifications

En “End time” se le puede indicar un mayor valor del que se ingresó en el time series data, pueden ser 3 horas más y va modificando el valor dependiendo de si en los resultados se observa el hidrograma completo.

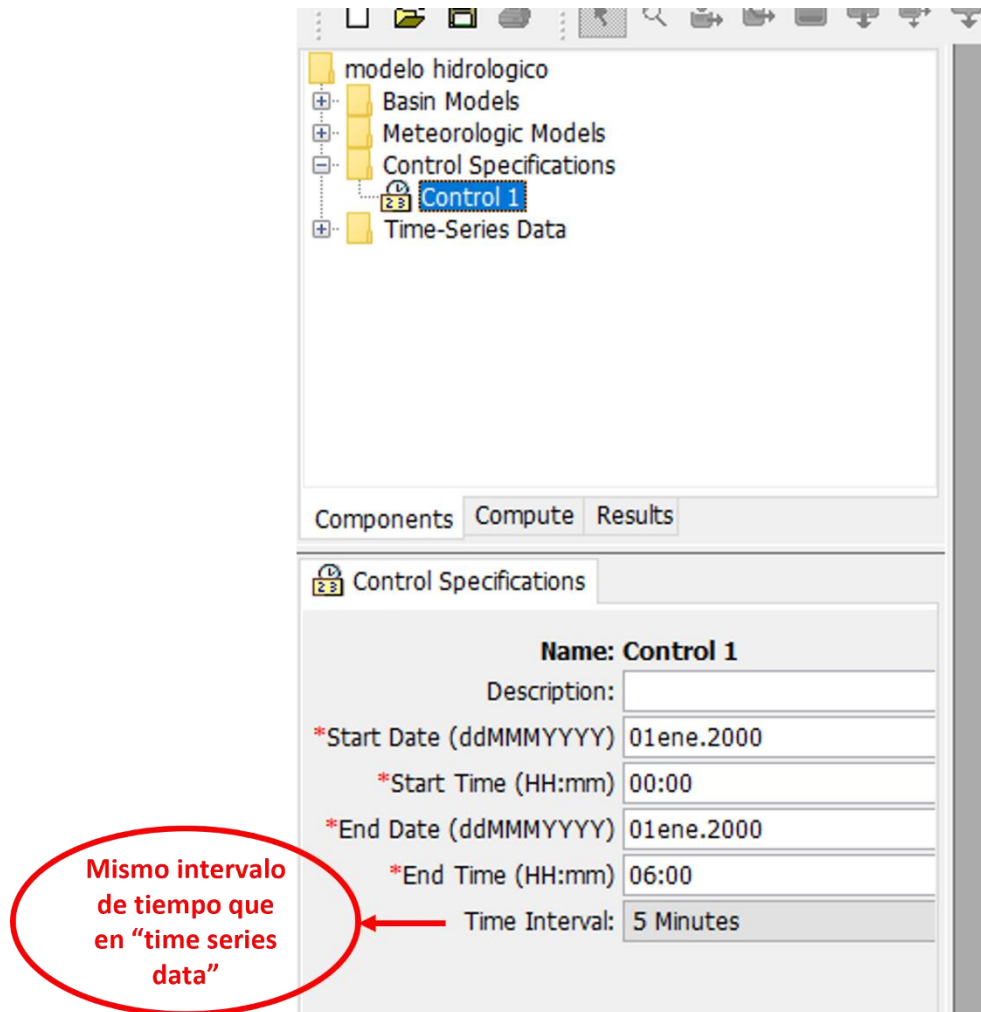


Ilustración 33. Componente de control

### 3. Ejecución del modelo:

- Ejecute el modelo para simular la respuesta hidrológica de la cuenca a la precipitación. Durante la ejecución, HEC-HMS calculará el hidrograma de salida en cada punto de salida especificado en el modelo.

Compute → create compute → simulation run

Escoja la cuenca de interés, el “meteorologic model” y “control specifications”

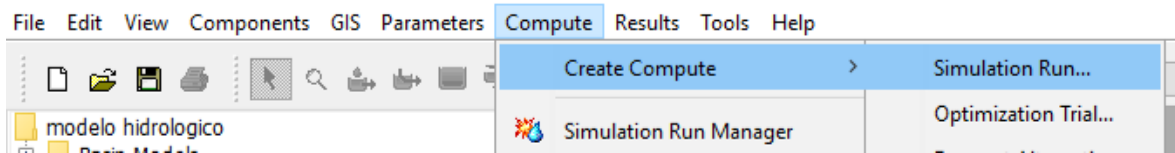


Ilustración 34. Simulation run

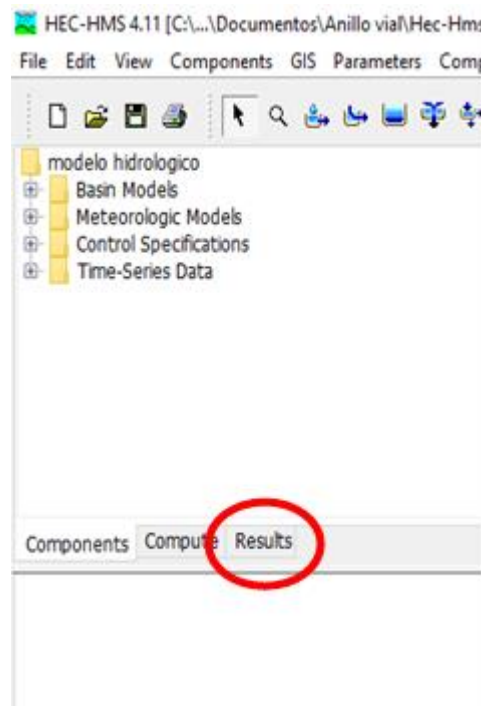


Ilustración 35. Ubicación de “Resultados”

En global summary encontrará el caudal máximo “peak discharge” y en la gráfica podrá ver el hidrograma resultante.

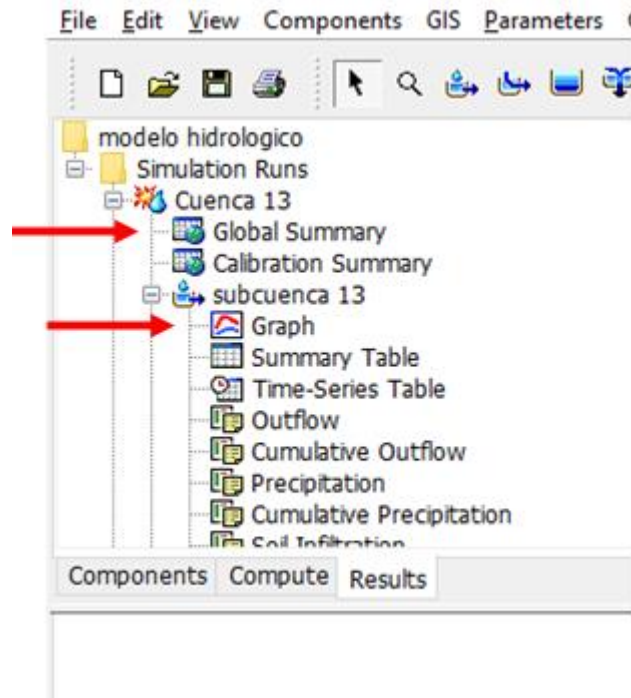


Ilustración 36. Results

Global Summary Results for Run "Cuenca 13"

Project: modelo hidrológico Simulation Run: Cuenca 13

Start of Run: 01ene.2000, 00:00 Basin Model: Cuenca 13  
 End of Run: 01ene.2000, 06:00 Meteorologic Model: Met TR 100  
 Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Control 1

Show Elements: All Elements Volume Units:  MM  1000 M3 Sorting: Watershed Explorer

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
subcuenca 13	2.7	26.7	1 January 2000, 0...	39.38
Reach-1	2.7	26.7	1 January 2000, 0...	39.38
Punto de descarga	2.7	26.7	1 January 2000, 0...	39.38

**Caudal de diseño**

Ilustración 37. Resultados

## **BILBIOGRAFIA**

INVIAS. (2009). Manual de Drenaje para Carreteras.