



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

MEJORAMIENTO DE TRAZADO DE PARTEAGUAS EN  
MICROCUENCAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO CIVIL**

P R E S E N T A :

JUAN DE DIOS ARTEMIO MORALES PÉREZ

ASESOR: ING. MARIDEL ZARATE MORALES

FES Aragón

CIUDAD NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO, 2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

A mis hermanos que no me han abandonado y han sido un apoyo constante en mi vida y mi carrera.

Mi más profundo agradecimiento a la Ing. Maridel Zarate Morales, quien me apoyo y guio a lo largo de la elaboración de este proyecto.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
ARGUMENTO.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
ALCANCES.....	2
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>3</b>
HIDROLOGÍA.....	3
CUENCA.....	3
ESCURRIMIENTO.....	5
TRAZO TRADICIONAL DE CUENCAS.....	5
<b>MÉTODO A IMPLEMENTAR.....</b>	<b>9</b>
METODOLOGÍA.....	9
1. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A PROCESAR.....	11
2. PROCESADO DE INFORMACIÓN.....	17
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
4. REVISIÓN ESTADÍSTICA.....	31
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>

## **Introducción**

### **Argumento**

La idea general de la tesis nace de la necesidad de definir de manera adecuada las microcuencas en el ámbito laboral, los análisis hidráulicos en años anteriores estaban centrados normalmente en puentes, donde las cuencas son de dimensiones adecuadas para poderse trazar de forma tradicional, sin embargo en los últimos años las dependencias gubernamentales han puesto mayor interés en las inspecciones de obras de drenaje, con cuencas bastante pequeñas, lo que dificulta su trazo, por lo cual, se empezó a realizar recolección de información distinta a la utilizada comúnmente.

### **Planteamiento del problema**

Tradicionalmente para el trazado de cuencas se ubica la zona de estudios sobre una carta topográfica (escala 1:50,000 o 1:10,000), luego se ubica el cauce principal y se define el parteaguas guiándose de las curvas de nivel que generalmente se encuentran a intervalos de elevación de 10 o 20 metros.

Cuando la cuenca es muy pequeña o las curvas de nivel tienen una separación horizontal considerables este método tiende a ser poco preciso y genera incertidumbre en los resultados obtenidos.

Con el siguiente trabajo se pretende simplificar el trazado de cuencas a través de herramientas informáticas e información de mayor precisión que la actualmente usada, formulando un método sistemático para su trazo.

## **Alcances**

El presente trabajo busca mejorar el trazado de cuencas en condiciones puntuales (microcuencas), mas no se limita su uso en condiciones diferentes como lo podrán ser cuencas medianas, grandes o incluso regiones hidrológicas.

## Marco teórico

### Hidrología

*“Es la ciencia natural que estudia al agua, su ocurrencia, circulación y distribución en la superficie terrestre, sus propiedades químicas y físicas y su relación con el medio ambiente, incluyendo a los seres vivos.”<sup>1</sup>*

*“Los procesos que estudia la hidrología involucran tantas variables que es difícil, si no imposible, prever si alguna vez se aproximará al estatus de ciencia exacta o, incluso, si alguna vez podrá llegar a ser completamente considerada como una ciencia independiente. Las ciencias en que se apoya la investigación. Hidrológica son básicamente la geografía física, la meteorología, la hidráulica, las matemáticas y la estadística, aunque también es fácil encontrar relaciones de la hidrología con disciplinas como la física, química, biología, investigación de operaciones y otras.”<sup>2</sup>*

*“Una parte importante del trabajo del hidrólogo es la recolección y análisis de datos. La disposición de datos básicos adecuados es esencial en todas las ciencias, y la hidrología no es una excepción. De hecho, las características de los fenómenos naturales con que tiene que ver la hidrología hacen que este punto pueda ser especialmente delicado.”<sup>2</sup>*

### Cuenca

*“Una cuenca es una zona de la superficie terrestre en donde (si fuera impermeable) las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida.*

La definición anterior se refiere a una cuenca superficial; asociada a cada una de éstas existe también una cuenca subterránea, cuya forma en planta es semejante a la superficial. De ahí la aclaración de que la definición es válida si la superficie fuera impermeable.

Desde el punto de vista de su salida, existen fundamentalmente dos tipos de cuencas: endorreicas y exorreicas. En las primeras el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y generalmente es un lago; en las segundas, el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar”<sup>2</sup>

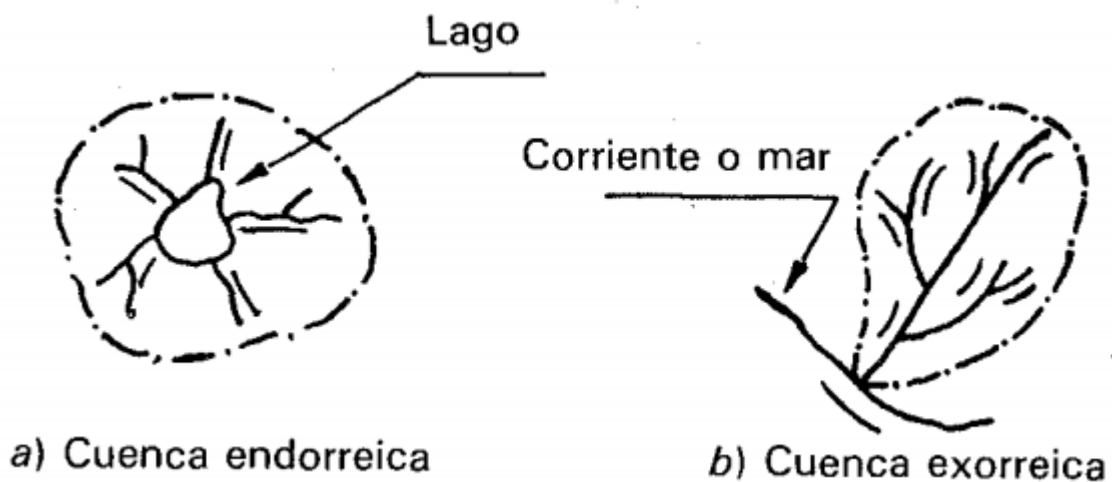


Figura 1.- Tipos de cuencas

La presente investigación centra su atención en las cuencas exorreicas los cuales son las más comunes, y frecuentemente encontradas en el ámbito laboral, a las cuales se les realiza estudios para determinar su caudal y afectaciones que puedan provocar en el tránsito de las corrientes que las conforman.



## **Escurrimiento**

*“El escurrimiento se define como el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que llega a una corriente para finalmente ser drenada hasta la salida de la cuenca.*

*El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre, una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada- sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca”<sup>2</sup>*

## **Trazo tradicional de cuencas**

Se ubica la zona a trabajar por coordenadas y se consulta la carta o cartas topográficas a la que pertenezca. La localización por lo general representa una obra hidráulica como puentes, obras de drenaje, presas, etc., que pueden estar construidas o ser proyectos por construir.

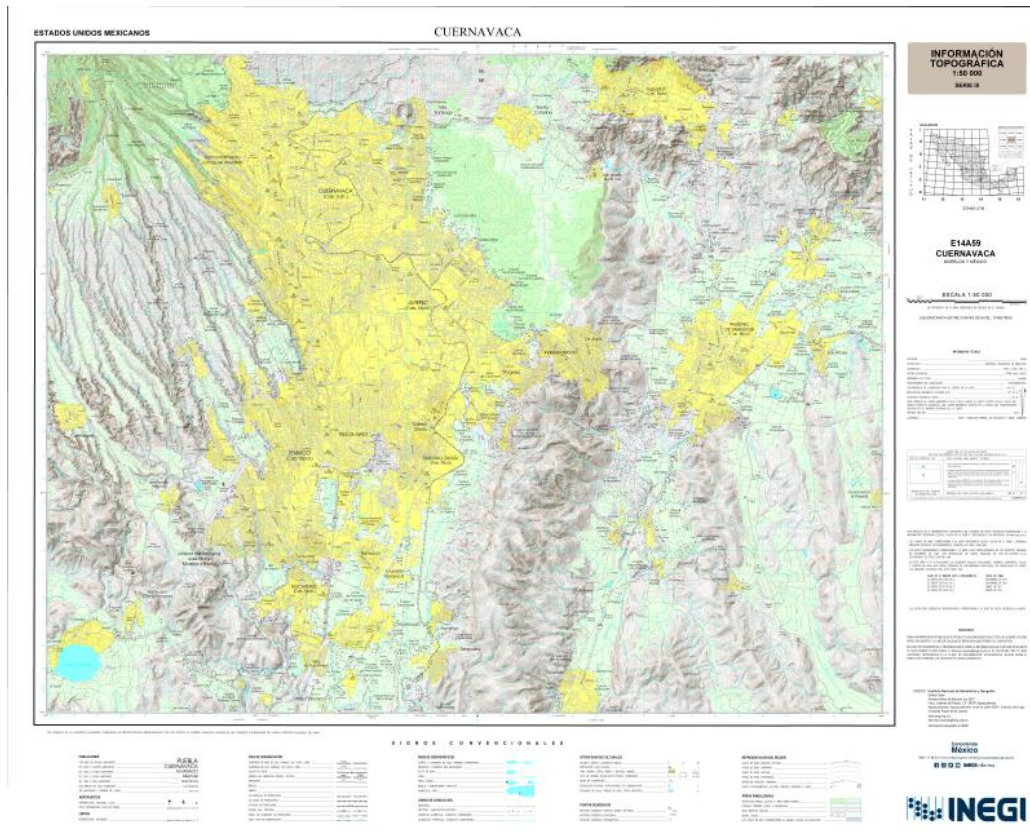


Figura 2.- Ejemplo de carta topográfica tradicional

Una vez teniendo la información se traza el parteaguas de la cuenca apoyándose de la información gráfica presente en la carta.

El trazo de cuencas ha ido mejorando a través del tiempo, en los inicios de la hidrología practica en México se imprimía o se compraba la carta topográfica y se trazaba la cuenca sobre esta para después hacer las mediciones con herramientas especiales como el planímetro para la medición del área y el curvímetro o una cuerda delgada para la medición del perímetro, sin embargo, estos métodos eran poco precisos para un análisis e influía mucho el factor humano, posteriormente el método cambio, se escaneaban las cartas topográficas y se procesaban con un software CAD (<<Computer-Aided Design>> o diseño asistido por computadoras) donde esta imagen era escalada hasta coincidir con las dimensiones reales, y se trazaba el parteaguas

siguiendo las curvas visibles en la imagen, actualmente se utilizan datos vectoriales con curvas de nivel con elevaciones y archivos GeoPDF los cuales se pueden trabajar en programas CAD sin necesidad de realizar escalados y facilitando el trabajo en gran medida y reduciendo en gran medida el error humano.

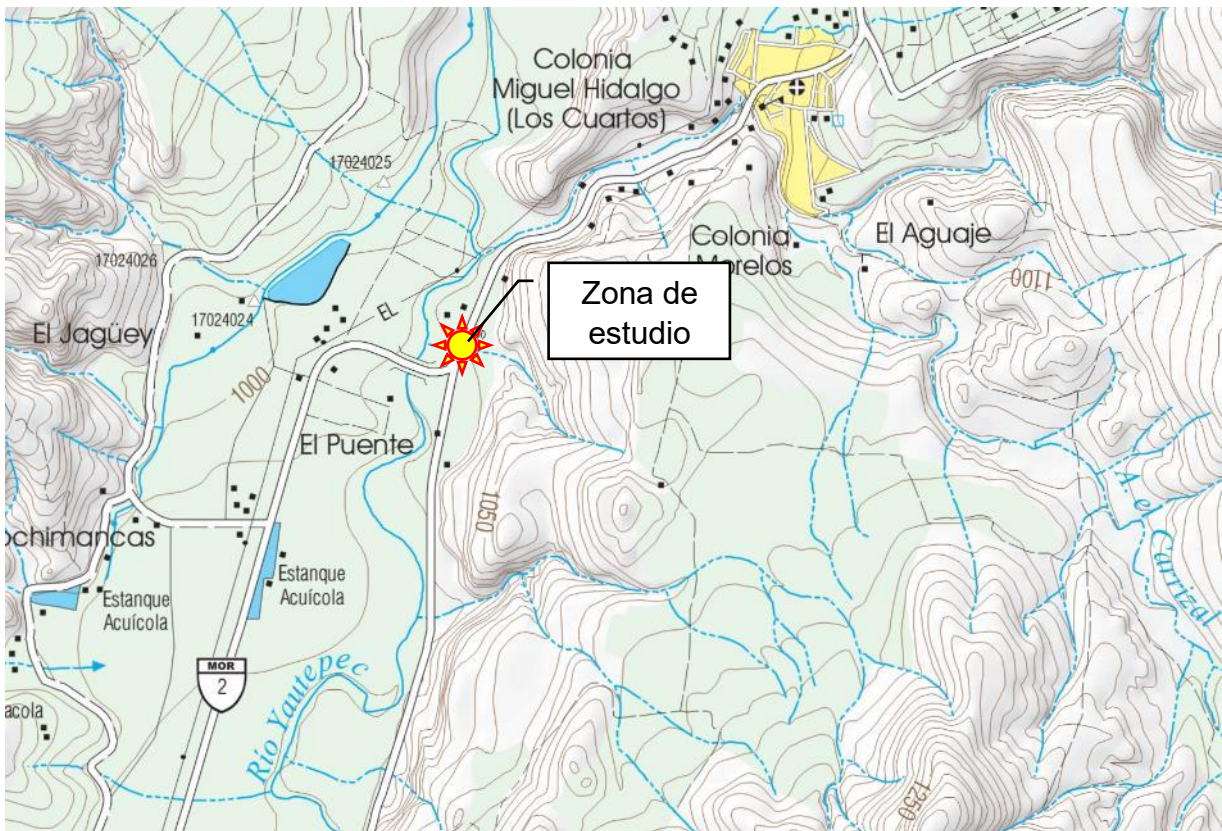


Figura 3.- Ubicación de la zona de estudios sobre carta topográfica

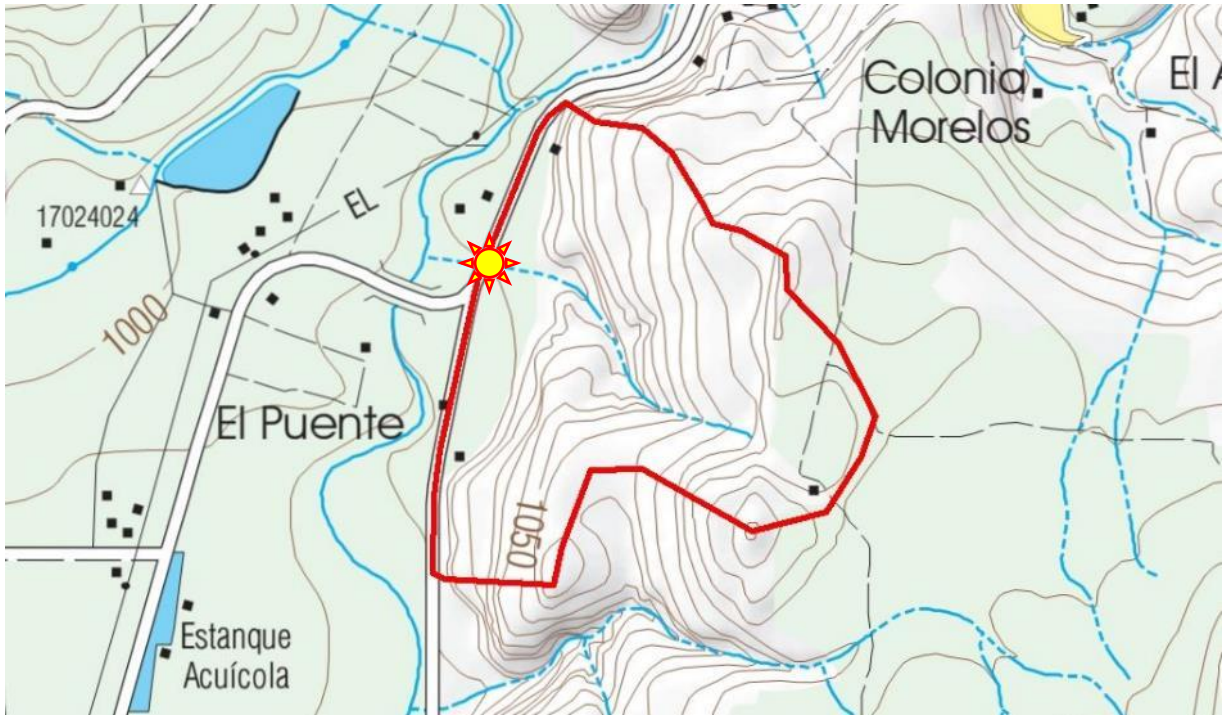


Figura 4.- trazo tradicional de la cuenca

Este trazo queda a la interpretación de las curvas y pueden dar diferentes formas según quien lo trace y el detalle que se le proporcione.

## Método a implementar

### Metodología

Al igual que el método tradicional, lo primero que se necesita es la ubicación de interés, como puede ser un puente, una obra de drenaje, un paso ganadero o un proyecto hidráulico como presas o diques que requieran saber las propiedades hídricas del sitio.

Una vez ubicado el sitio de interés se procede a realizar la siguiente metodología:

1. Obtención de información a procesar

- Archivos con elevaciones de la zona a trabajar

- Cartas topográficas (Digitales)

Fuente: Biblioteca digital de Mapas, instituto nacional de estadística y geografía (INEGI)

<https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html>

- Archivos GIS (Sistema de información geográfica)

Fuente: Biblioteca digital de Mapas, instituto nacional de estadística y geografía (INEGI)

<https://www.inegi.org.mx/app/mapas/default.html>

## 2. Procesado de información

- Análisis colorimétrico

Colorear con un sistema de colores definido, dividiendo la escala en tramos de elevaciones desde la menor a la mayor.

- Análisis de escurrimientos

Simular el escurrimiento de la cuenca por unidad de área definida, para definir con mayor precisión el parteaguas

- Trazado de cuenca

## 3. Presentación de Resultados

- Cuenca trazada sobre carta topográfica
- Datos geométricos de la cuenca:

Área

Elevación máxima

Elevación mínima

## 1. Obtención de información a procesar

### 1.1 ubicar el punto donde se realizará el análisis

Los estudios hidrológicos son utilizados (junto con otros estudios como Mecánica de suelo, geología, topografía, etcétera) para el diseño de obras civiles como son presas, puentes, pasos ganaderos o alcantarillas. Para ejemplificar el proceso del trazado de cuenca se eligió un sitio a discreción, nombrado “sitio de interés”, ubicado en el km 10+770 (aproximadamente) de la carretera Yautepec - Tlaltizapán, en el municipio de Tlaltizapán de Zapata, en el estado de Morelos, pertenece a la región hidrológica N° 8, “Balsas”.



Figura 5.- Ubicación del sitio de interés.

Latitud: 18° 47' 45.22" Norte

Longitud: 99° 06' 9.30" Oeste


- 1.2 Con ayuda del índice de cartas 1:50,000 proporcionado por la <<Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad>> (CONABIO) en su formato \*KML y Utilizando el software de uso libre <<Gogle Earth Pro>> se ubica el sitio sobre la o las cartas escala 1:50,000

Fuente:

[http://conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/indi50kgw.xml?\\_xsl=/db/metadatos/xsl/fqdc\\_html.xsl&\\_indent=no](http://conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/indi50kgw.xml?_xsl=/db/metadatos/xsl/fqdc_html.xsl&_indent=no)

**Índice de cartas 1:50000**  
Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad

**Autor:** Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), (1999)  
**Palabras clave:** topografía, información, general, 1:50000, aspecto, físico, topografía  
**Fecha de publicación:** 10-05-2001, del metadato 10-03-2008  
**Datos:** [ESRI Shapefile\(SHP\)](#)<sup>1</sup>, [ESRI Shapefile\(SHP\)](#)<sup>2</sup>, [KML](#), [WMS](#), [Geoportal CONABIO](#).  
**Metadatos:** [XML](#), [HTML](#)



[IMPRIMIR](#)

[METADATO COMPLETO \[+\]](#)

1. Información de identificación
2. Calidad de la información
3. Atributos espaciales
4. Sistema de referencia
5. Atributos no espaciales
6. Distribución de la información
7. Acerca de este documento

Figura 6.- Pagina de descarga de información (CONABIO).



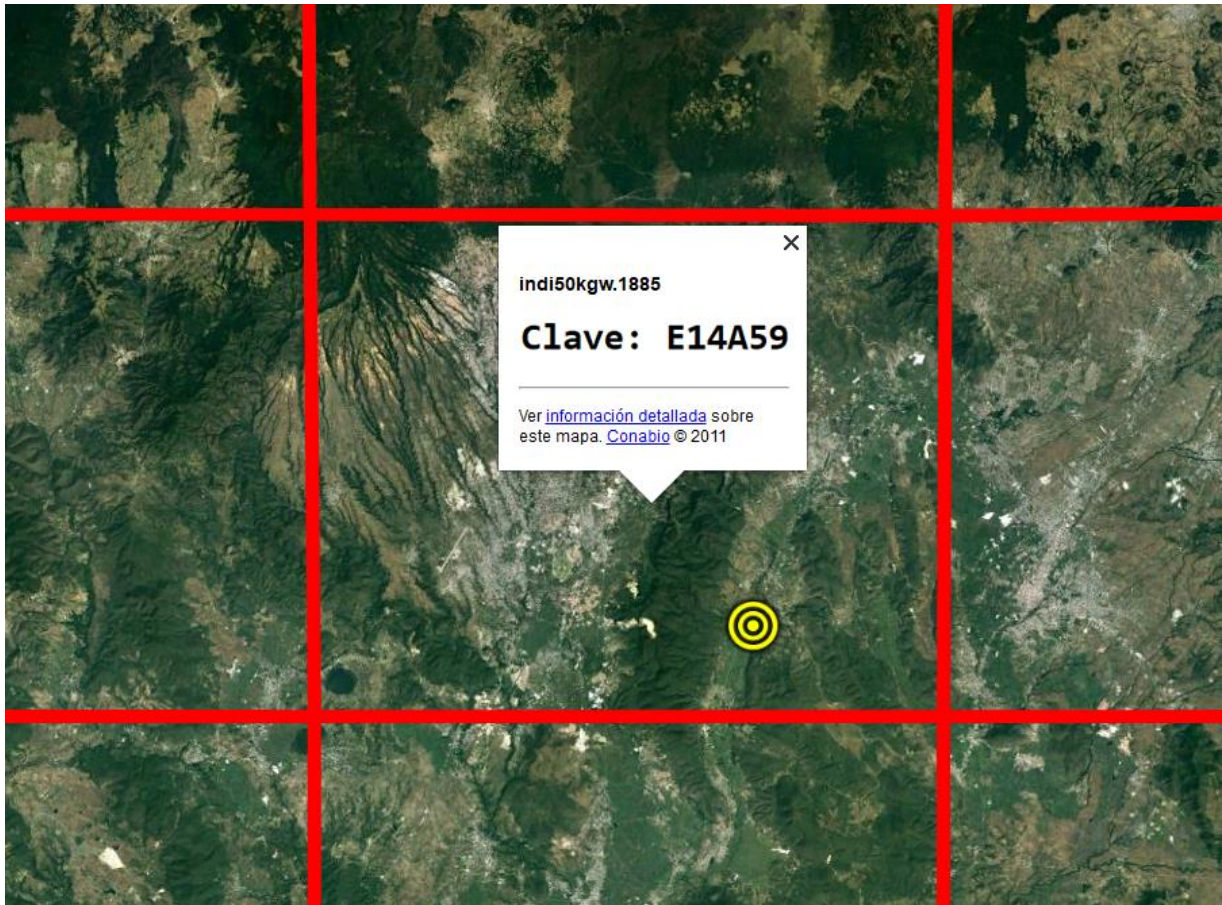


Figura 7.- Selección de carta topográfica.

Nuestro sitio de estudio se encuentra ubicado en la carta con clave: E14A59 y a primera impresión pareciese que el área de la cuenca no supera la superficie de la carta, se realizará el análisis de colorimetría para poder definir un parteaguas

### 1.3 Obtención de la carta topográfica y datos de elevación en bruto

La información se obtiene de manera digital a través del portal de la <<Biblioteca digital de Mapas>>, del instituto nacional de estadística y geografía (INEGI), dentro del portal se puede ubicar el sitio a través del mapa interactivo o por medio de la barra de búsqueda en la cual se puede buscar el municipio de interés o directamente el número de la carta topográfica. Ya que se tiene el número de la carta topográfica para el ejemplo dado, se procede a su búsqueda.

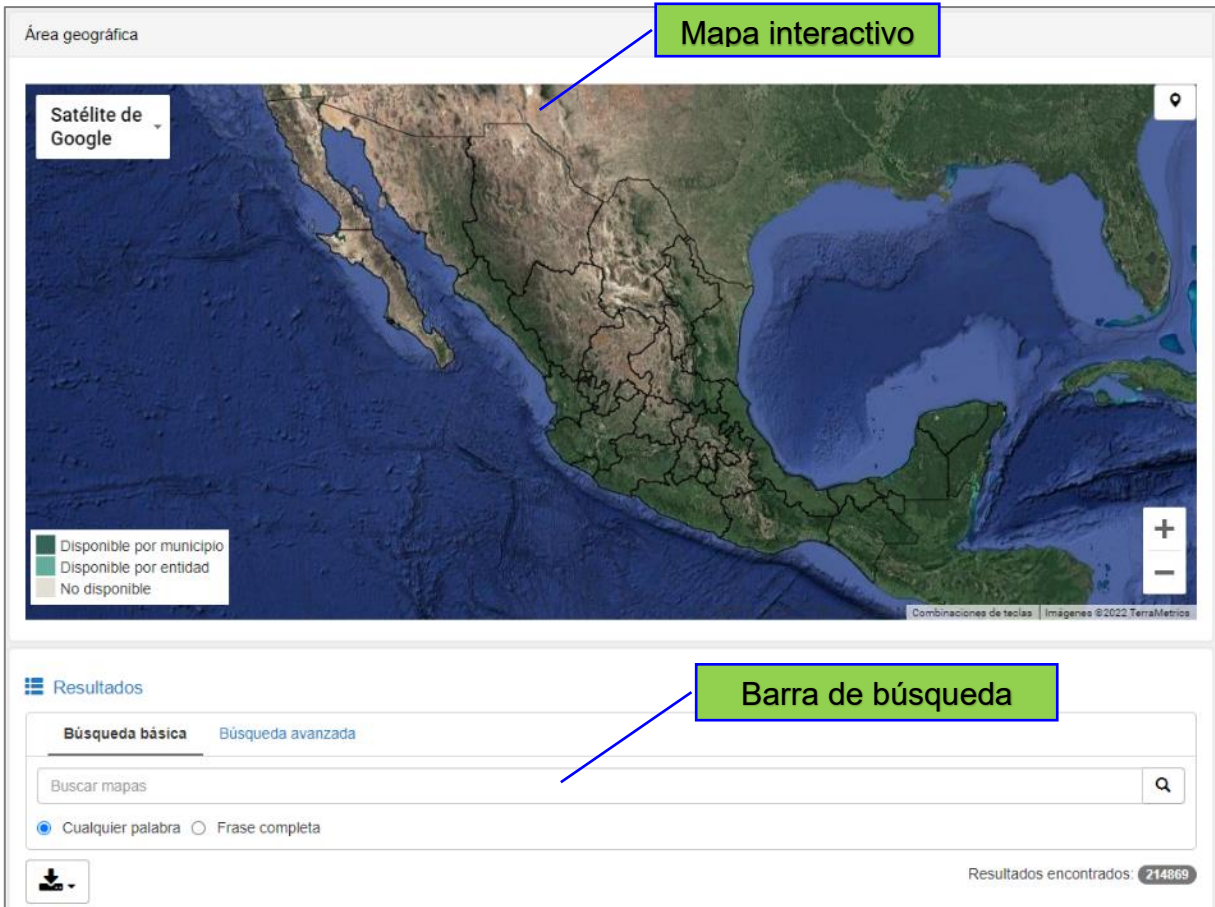


Figura 8.- Interfaz biblioteca digital de mapas (INEGI).

Los resultados arrojados en la búsqueda están organizados en columnas, de la siguiente manera:

Resultados encontrados: 12

[IIN](#) Información de Interés Nacional
 [Estándar de datos abiertos](#)

Ver	Clave	Título	Escala	Edición	Tipo de archivo
<input type="checkbox"/>	E	Información Topográfica 1:50 000 serie III <a href="#">IIN</a> ⓘ	1:50 000	2017	<a href="#">GIF</a> ↓ 15.41 MB <a href="#">TIFF</a> ↓ 13.51 MB <a href="#">GeoPDF</a> ↓ 20.39 MB

Figura 9.- Resultado de búsqueda en biblioteca digital de mapas (INEGI).

Se observa;

**Clave:** Numero de carta o sección de esta (para datos GIS suelen estar divididas en 6 partes de la **A** a la **F**)

**Título:** Tipo de información que presenta la carta

**Escala:** Para cuencas medianas o grandes se suele utilizar la escala 1:50,000 y para las cuencas pequeñas y microcuencas se suele utilizar la escala 1:20,000 cuando están disponibles.

**Edición:** Año de publicación

**Tipo de Archivo:**

De imagen como GIF y TIFF

PDF que estándar para cartas aun no actualizadas

GeoPDF para las cartas de mayor interés en la república el cual es un formato georreferenciado, hoy en día se cuenta con un vasto número de cartas PDF georreferenciadas para facilitar el procesamiento de datos

SHP (Shape) conjunto de datos vectoriales compatibles con programas GIS

Archivos de elevaciones como BIL, GRID y ASCII.

Ver	Clave	Título	Escala	Edición	Tipo de archivo
<input type="checkbox"/>	E14A59	Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica E14A59 (Cuernavaca) Escala 1:50 000, 2021	1:50 000	2021	SHP 24.08 MB
	E14A59	Conjunto de Datos Vectoriales de Información Topográfica E14A59 Cuernavaca escala 1:50 000, 2019	1:50 000	2019	SHP 18.17 MB
<input type="checkbox"/>	E14A59a1	Modelo digital de elevación tipo superficie con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. E14A59a1	1:10 000	2019	BIL 5.91 MB ASCII 10.1 MB GRID 4.33 MB
<input type="checkbox"/>	E14A59a3	Modelo digital de elevación tipo superficie con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. E14A59a3	1:10 000	2019	BIL 5.55 MB ASCII 9.8 MB GRID 4.04 MB
<input type="checkbox"/>	E14A59a1	Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. E14A59a1	1:10 000	2019	BIL 5.86 MB ASCII 10.08 MB GRID 4.3 MB
	E14A59C2	Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. E14A59C2	1:10 000	2016	BIL 5.97 MB ASCII 10.16 MB GRID 4.32 MB
	E14A59C3	Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. E14A59C3	1:10 000	2016	BIL 5.37 MB ASCII 9.62 MB GRID 3.89 MB
	E14A59C4	Modelo digital de elevación tipo terreno con 5m de resolución derivado de datos de sensores remotos satelitales y aerotransportados. E14A59C4	1:10 000	2016	BIL 4.43 MB ASCII 9.13 MB GRID 3.28 MB
<input type="checkbox"/>	E14A59	Información Topográfica E14A59 Cuernavaca escala 1:50 000 serie III	1:50 000	2014	GIF 16.89 MB TIFF 14 MB GeoPDF 36.22 MB
<input type="checkbox"/>	E14A59	Conjunto de datos vectoriales de información topográfica E14A59 Cuernavaca escala 1:50 000 serie III	1:50 000	2013	SHP 17.21 MB

Figura 10.- Resultado de búsqueda E14A59

Se realizó una búsqueda para la carta E14A59 como se observa en la imagen anterior, en la cual se puede observar los resultados de dicha búsqueda, estos resultados están ordenados por fecha, al principio de la búsqueda se encuentran los conjuntos de datos vectoriales (SHP) del año 2021 y 2019, luego se observan los modelos de elevaciones digitales tipo superficie del año 2019, debajo de estos se encuentran observan los modelos de elevaciones digitales tipo terreno del año 2016 y finalmente la carta topográfica tradicional escala 1:50,000 del año 2014.

La diferencia de los modelos de elevación tipo superficie y tipo terreno es que el primero cuenta con las elevaciones tal cual se encuentran en la naturaleza contando con árboles, cercas y estructuras, mientras que la segunda esta procesada de tal manera que sea solo visible la topografía del terreno.

## 2. Procesado de información

Por medio de un software GIS (sistema de información geográfica) como ArcGIS, QGIS O GlobalMapper, se procede a ubicar el sitio de interés sobre la carta topográfica, evitando ubicar el punto a través de coordenadas.

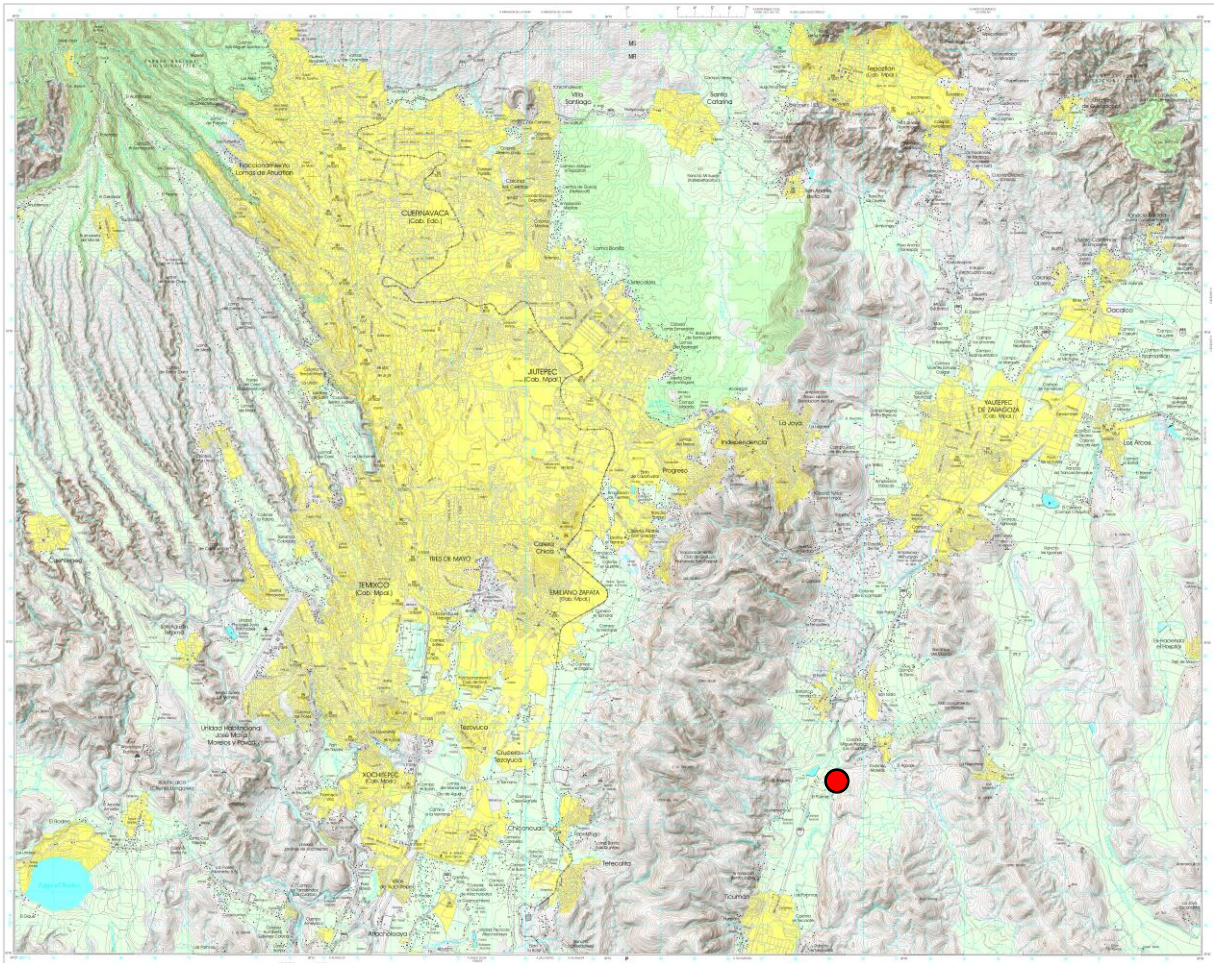


Figura 11.- Ubicación de la zona de estudio sobre carta topográfica

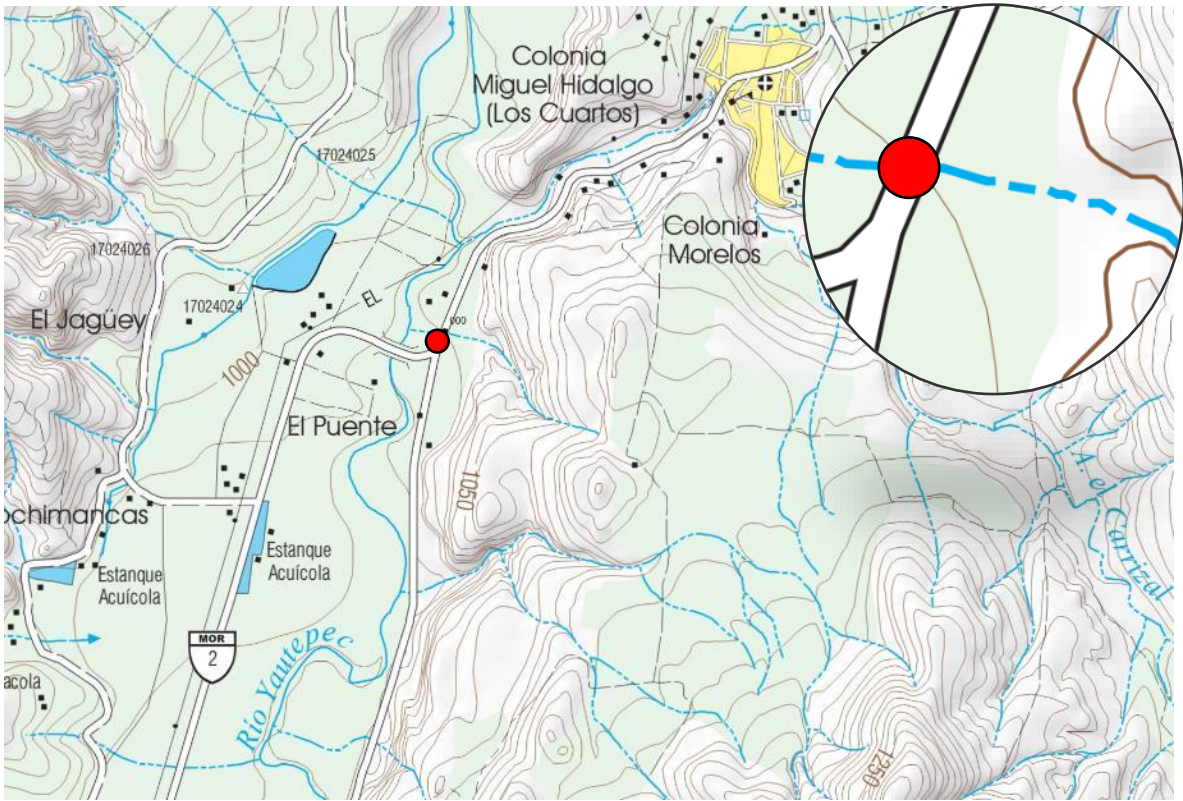


Figura 12.- Ubicación de la zona de estudio sobre carta topográfica (pdf)

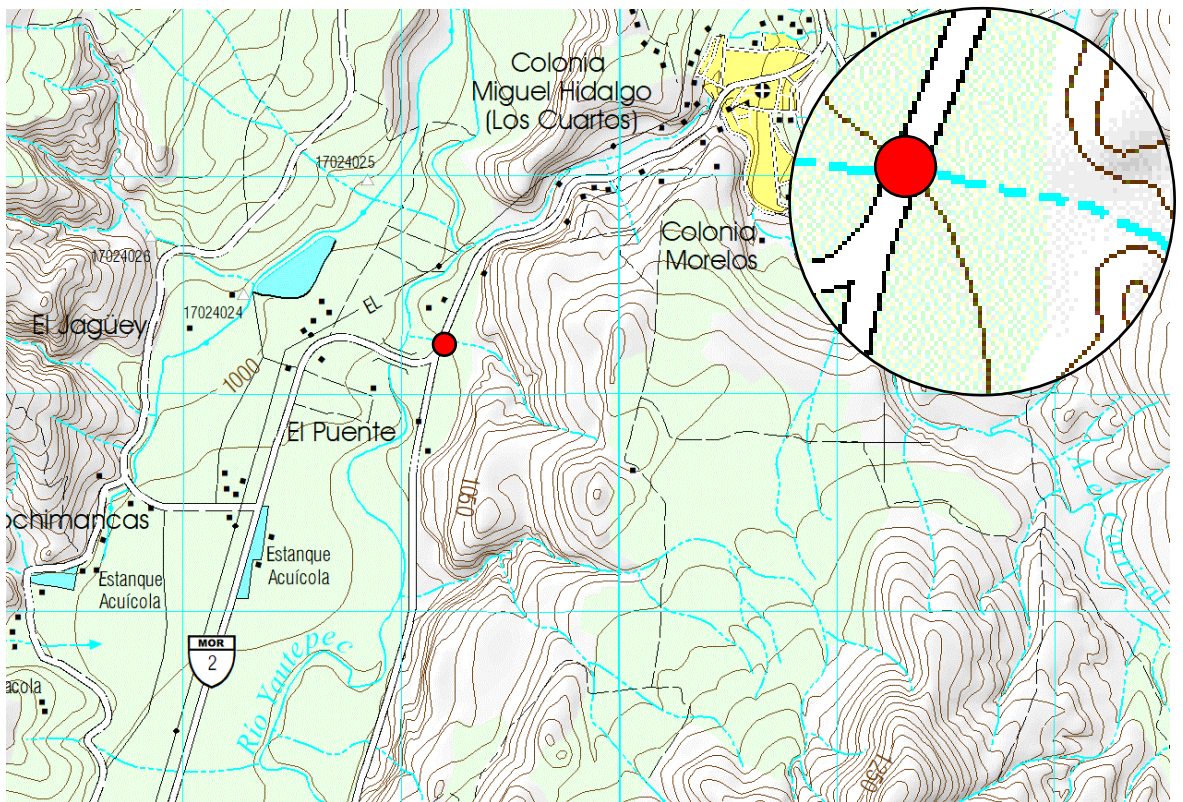


Figura 13.- Ubicación de la zona de estudio sobre carta topográfica (tradicional)

Como se observa en las imágenes, el arroyo es de tipo intermitente, se puede esbozar una cuenca preliminar a simple vista de la manera tradicional, como se observa en las figuras 12 y 13 la mejor forma de trazarla será sobre la carta topográfica en formato \*PDF georreferenciado, ya que cuenta con mayor definición, lo que facilita su trazado.

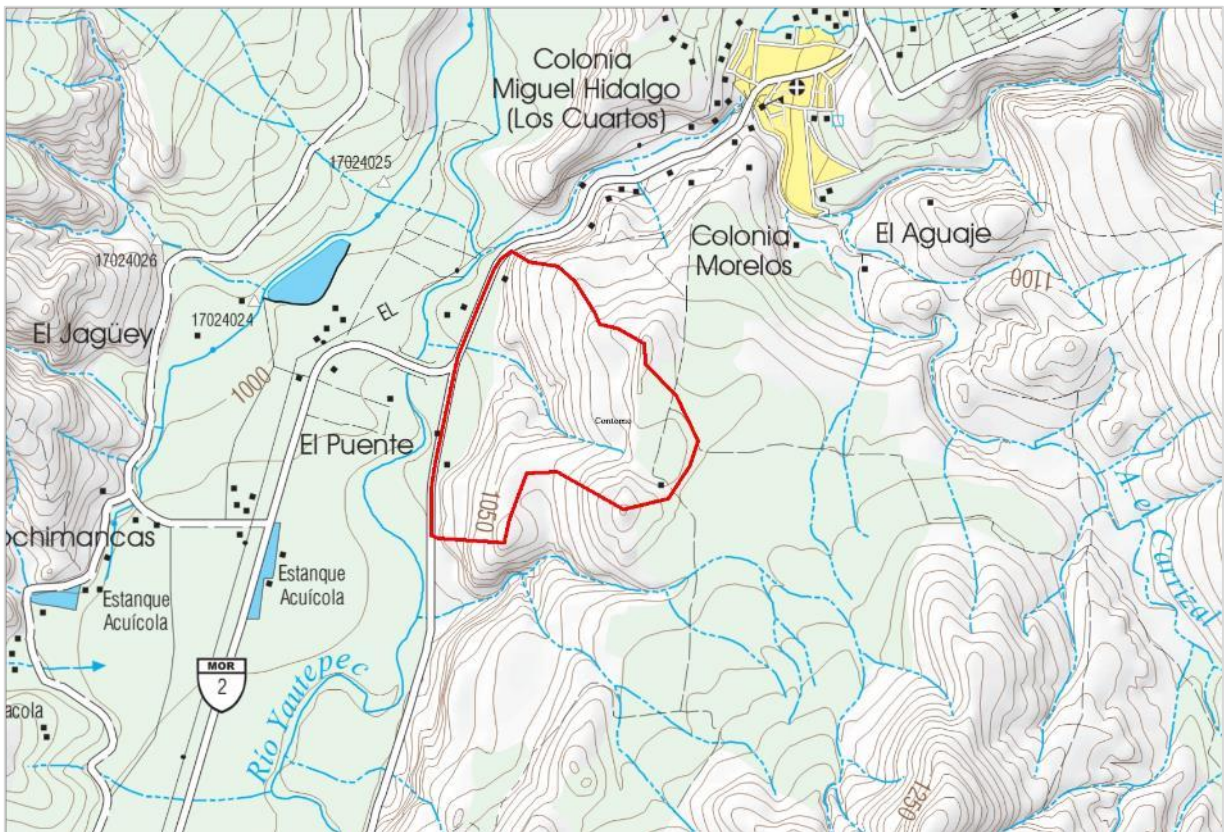


Figura 14.- Trazo tradicional de la cuenca

Al realizar el trazado de cuenca se obtuvo un área de 0.9082 Km<sup>2</sup>, un área bastante pequeña donde algún desnivel no observable podría causar una modificación de poca a gran escala, como suele suceder en terrenos con poca pendiente como es el caso de la parte baja del área de estudio.

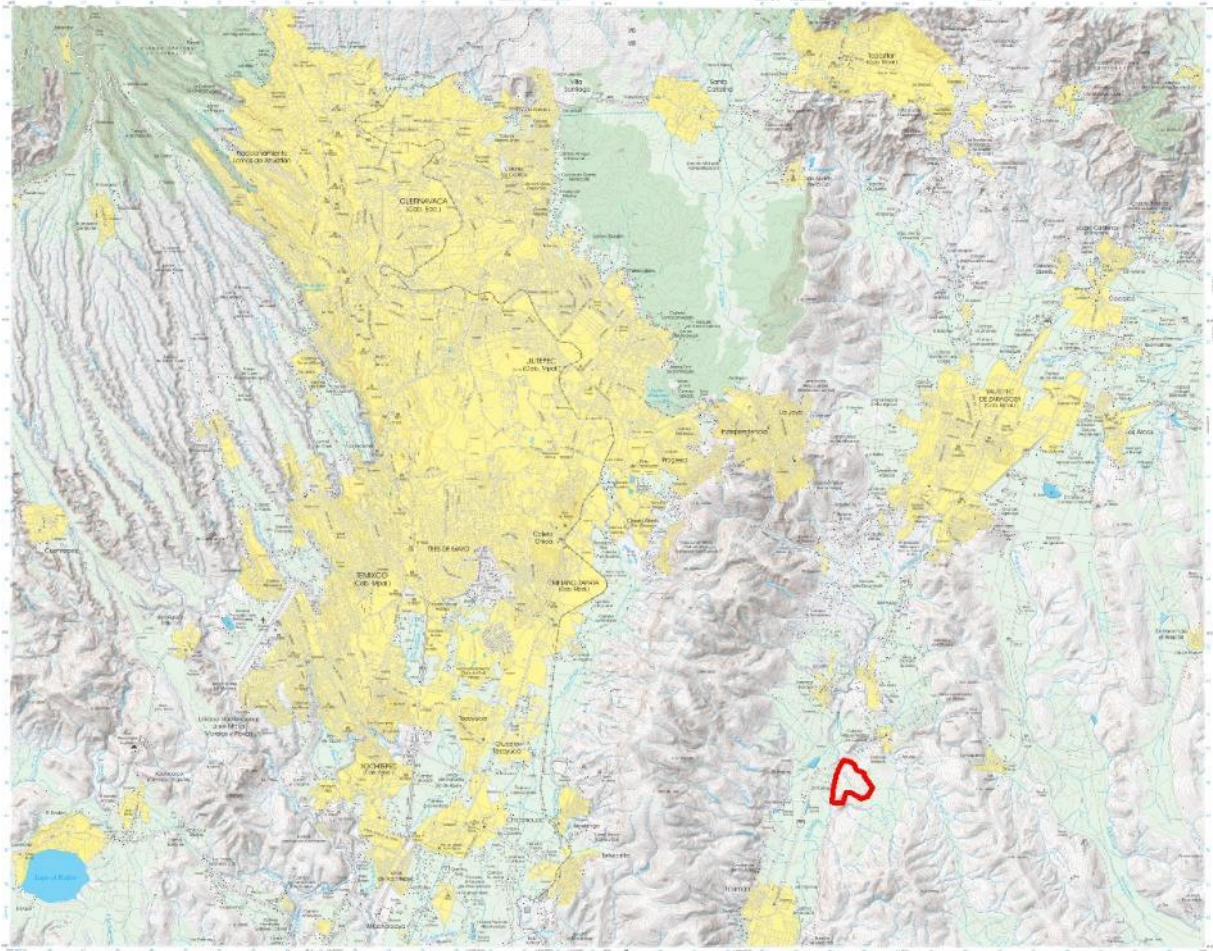


Figura 15.- Cuenca sobre carta topográfica escala 1:50,000

Como se observa en la imagen anterior, el trazo de la cuenca sobre una carta tradicional resulta poco visible y no se considera representativa para realizar los estudios.

Como se mencionó anteriormente para mejorar el trazo es necesario obtener topografía de mayor definición, se utiliza el modelo de elevaciones digital, el cual es obtenido de la biblioteca digital de mapas del INEGI.

Una vez se tiene el modelo cargado en algún programa GIS, se procede a delimitar el área de trabajo según las observaciones preliminares que se realizaron anteriormente.



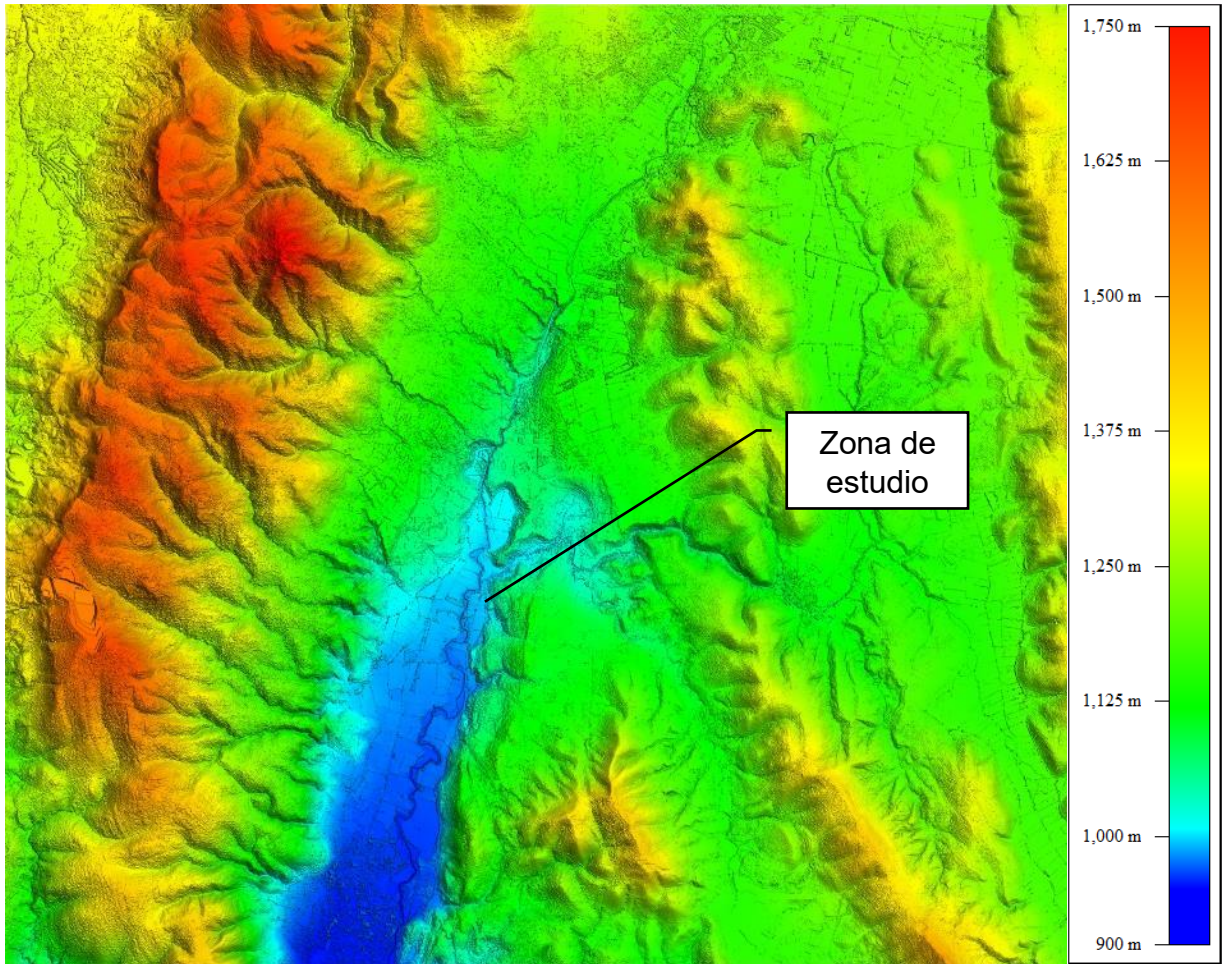


Figura 16.- Vista general del modelo de elevaciones

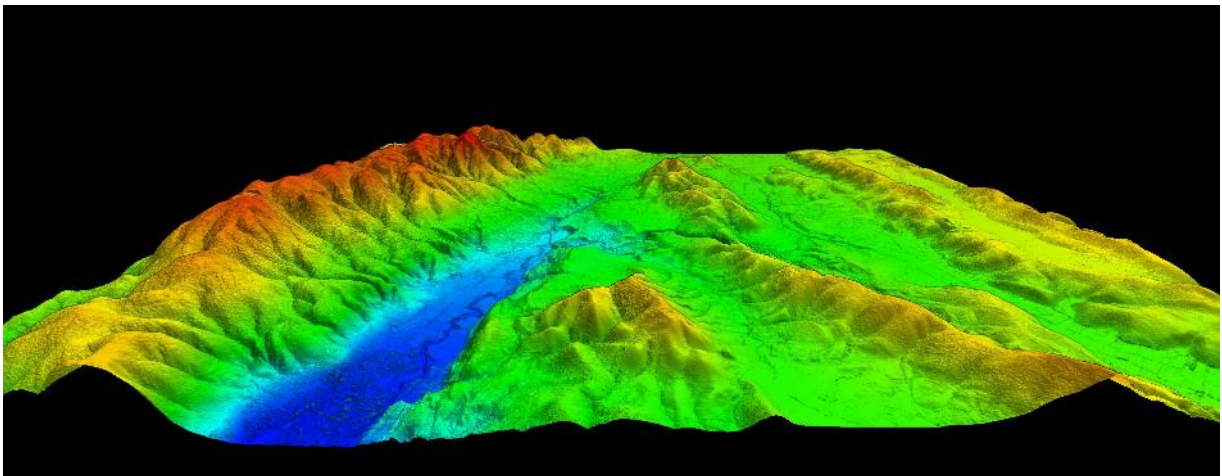


Figura 17.- Vista del modelo procesado en tercera dimensión

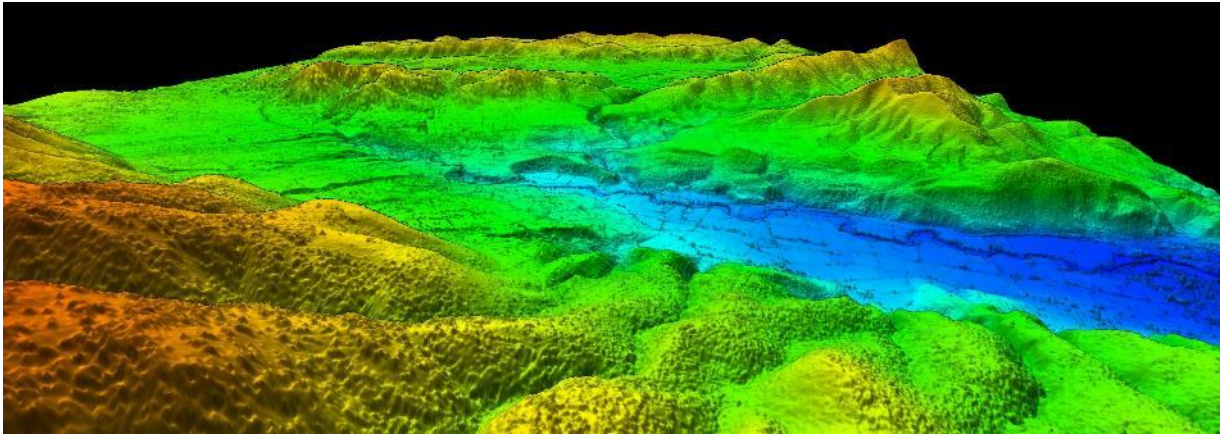


Figura 18.- Vista lateral del modelo

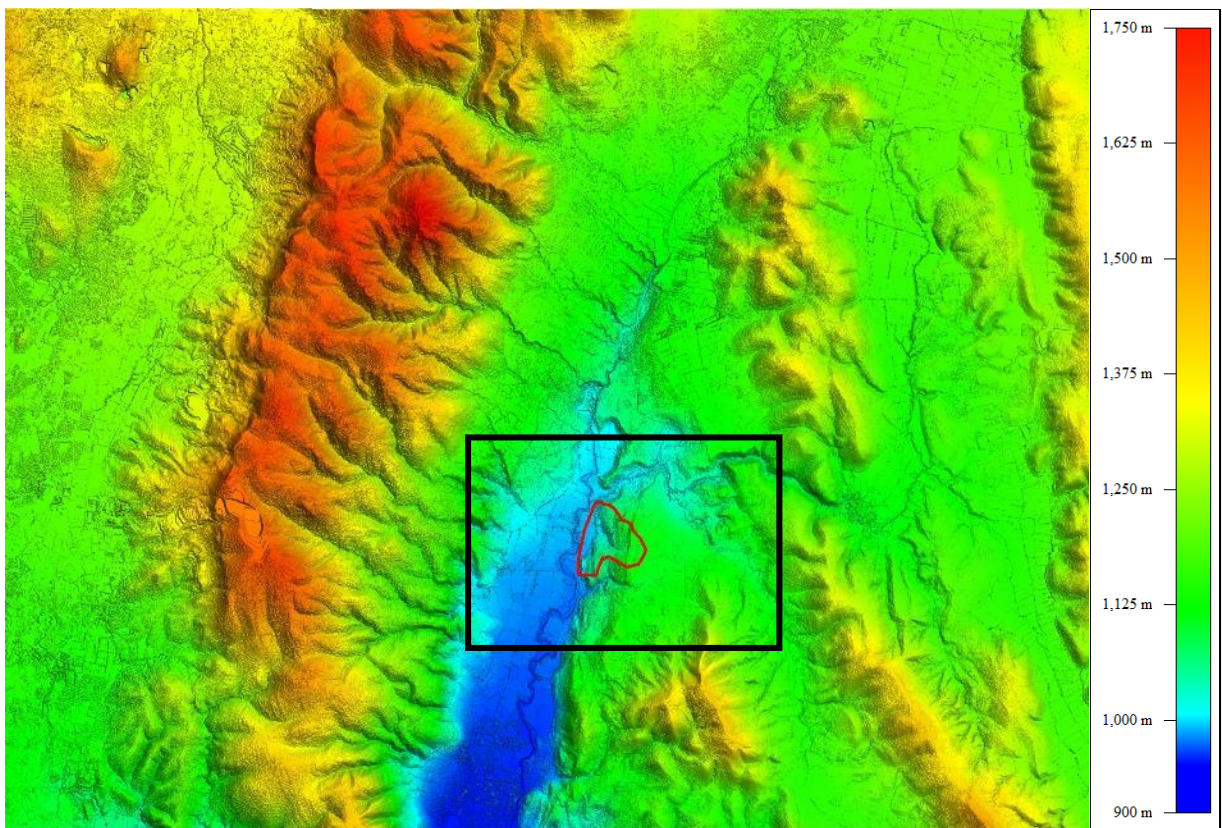


Figura 19.- Delimitación de área de trabajo

Para ejemplificar la diferencia de los modelos de elevaciones tipo superficie y tipo terreno se procedió a delimitar el área para ambos casos y presentarlos de manera grafica para su mejor entendimiento. Muchas veces resulta favorable al realizar los análisis hidrológicos en microcuencas trabajar con los modelos de elevaciones tipo

superficie ya que se pueden observar detalles que pueden influir en el parteaguas de la cuenca.

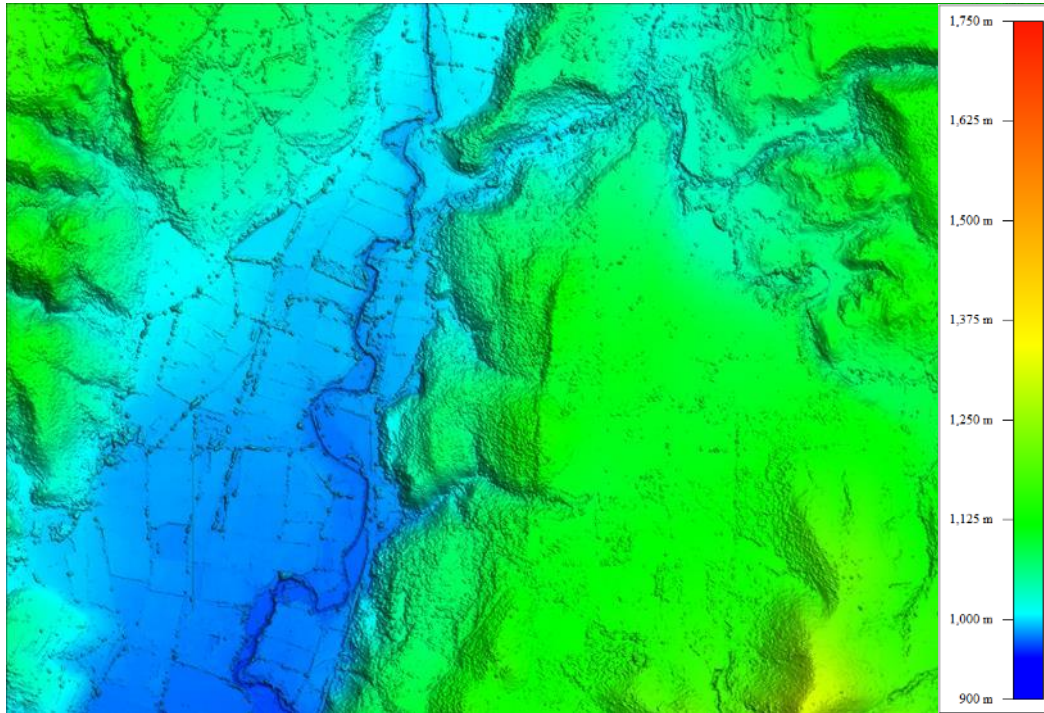


Figura 20.- Área de trabajo en modelo de elevaciones tipo superficie

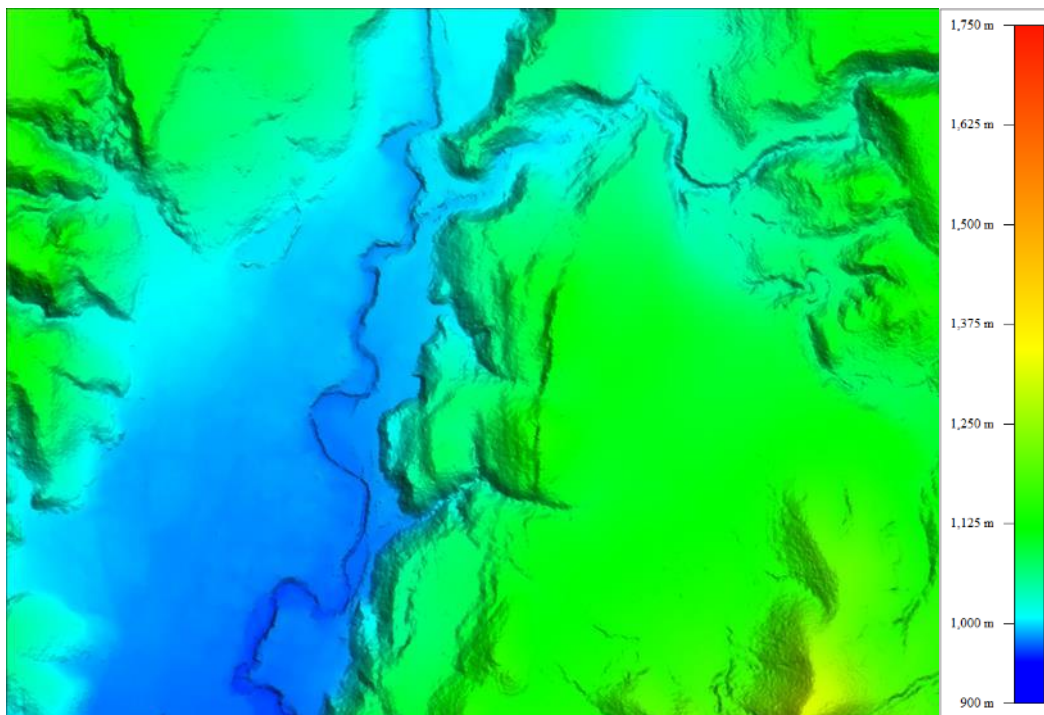
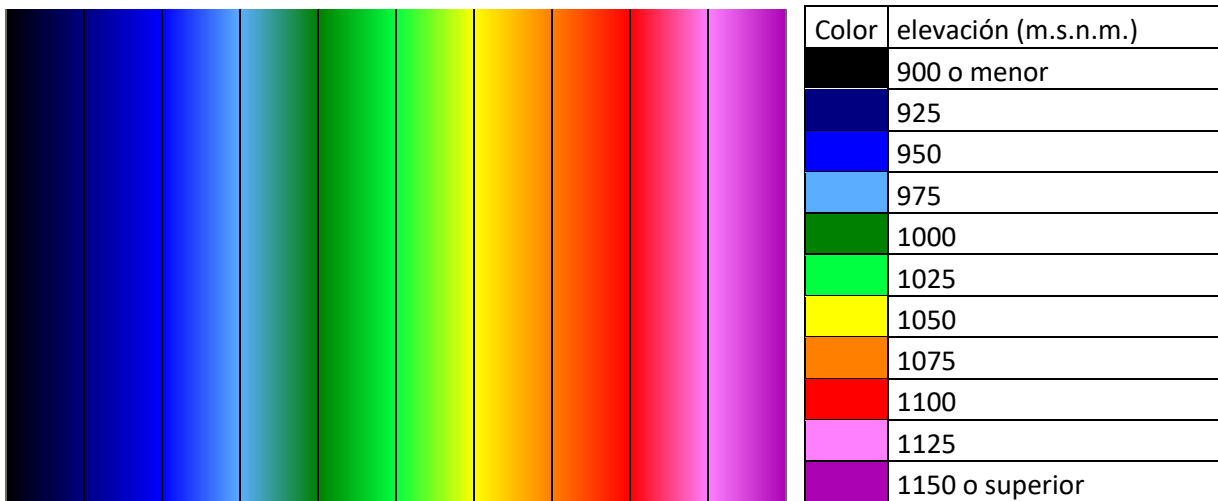


Figura 21.- Área de trabajo en modelo de elevaciones tipo terreno

## 2.1 Análisis colorimétrico

Como se observa en las figuras anteriores, al mantener este esquema de colores se pierde la principal cualidad de este método, por lo que es necesario realizar un análisis colorimétrico delimitando las elevaciones mayores y menores, se delimitó el esquema de colores de 900 a 1150 m.s.n.m., con una escala de colores arbitraria, la cual se puede modificar según las necesidades, la escala utilizada para el ejemplo ha sido trabajada y adecuada por trabajos que se han realizado a lo largo de los años.



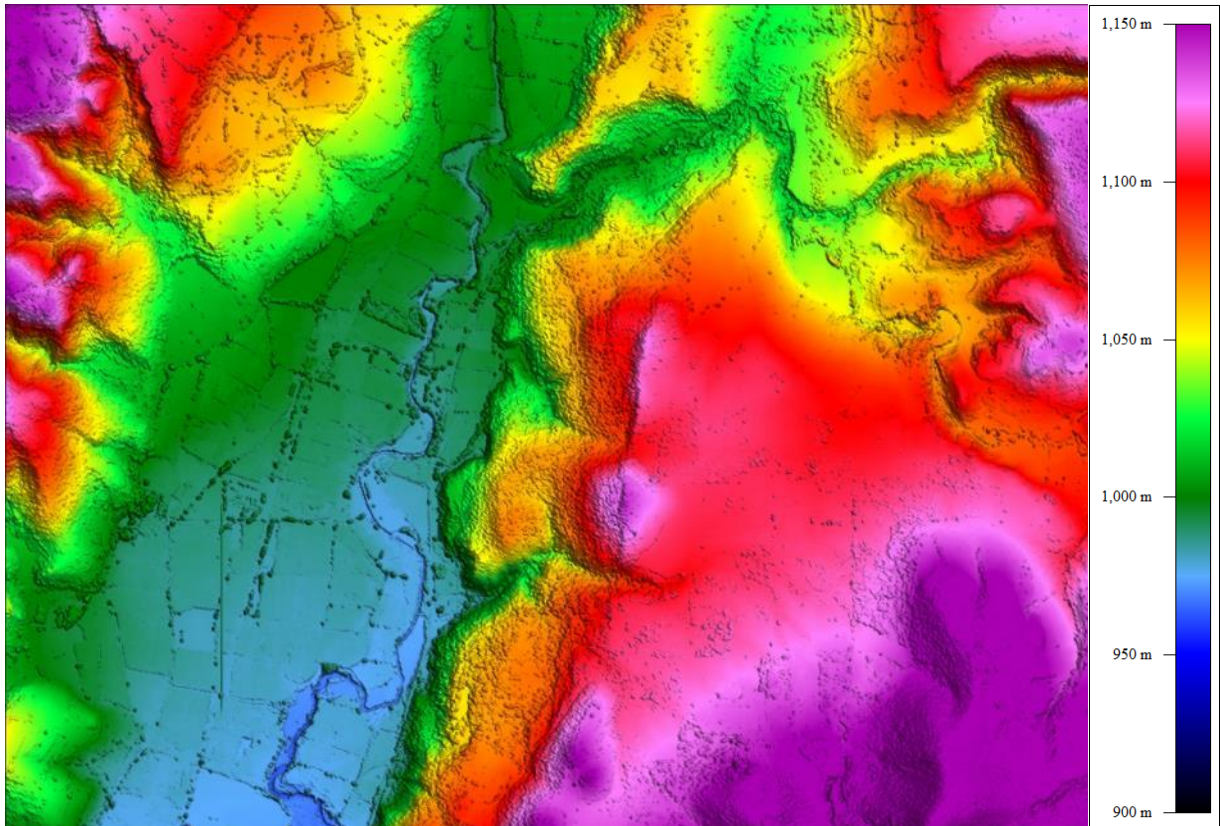


Figura 22.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria

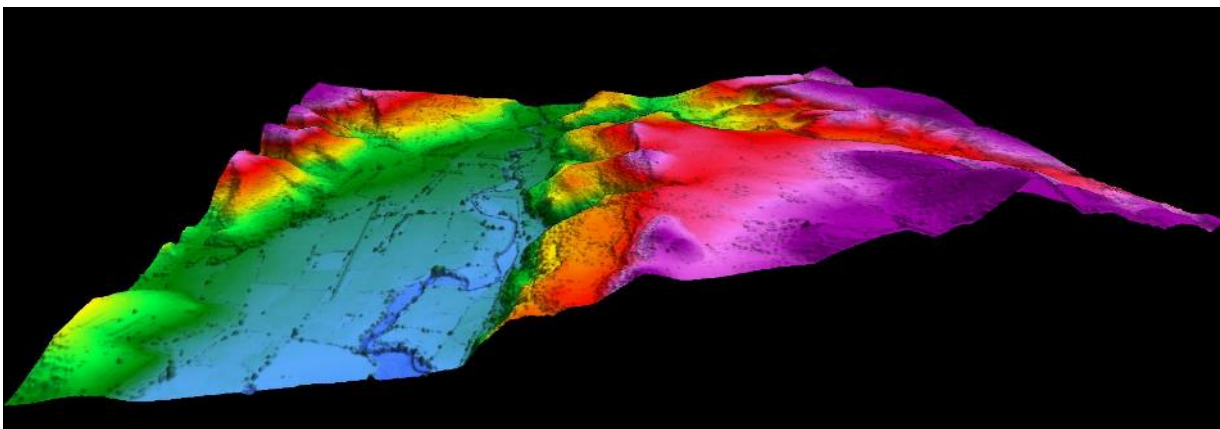


Figura 23.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

Una vez se tiene un resultado aceptable, de fácil interpretación, se recomienda el trazo de curvas de nivel para ayudar a visualizar mejor la morfología de la zona quedando de la siguiente forma.

## 2.2 Análisis de escurrimientos

A partir de este momento es factible calcular el parteaguas, sin embargo, si se encuentran zonas de vados o si la morfología de la zona impide visualizar de manera adecuada el parteaguas, se requiere aplicar otra técnica que apoyada por la colorimetría ayudan a simplificar el trazo de la cuenca para su estudio, esta técnica es el “análisis de escurrimiento”, que consiste en modelar una lamina de agua que escurre por la superficie creando escurrimientos que determinados por la dirección del flujo.

Por la escala de trabajo, tamaño preliminar de la cuenca y morfología se procedió a hacer el análisis con una interpolación en cuadrícula de 5x5 m, escurrimientos mayores a 50 m para que la cantidad de escurrimientos no entorpezca la visualización y una altura del espejo de agua de 5 m, para evitar el estancamiento en zonas planas.

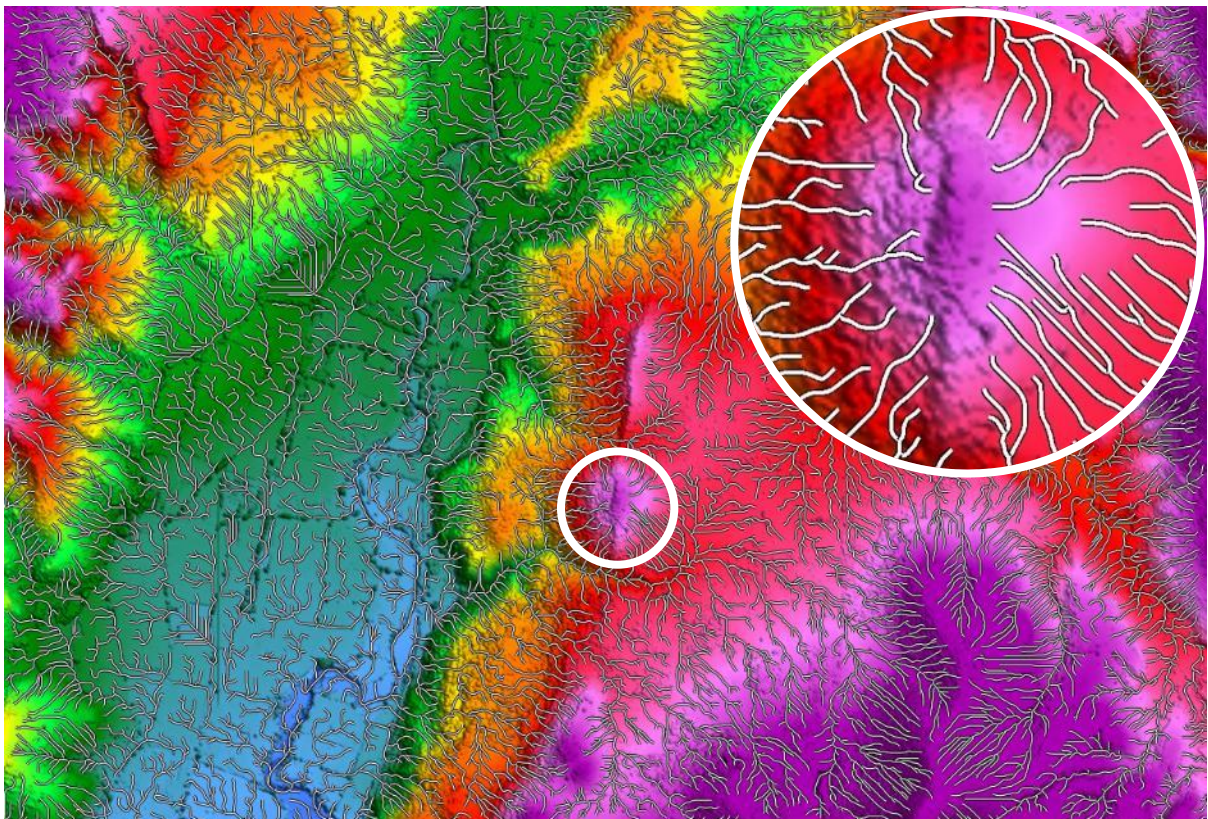


Figura 24.- Análisis de escurrimientos

### 2.3 Trazado de cuenca

Al igual que el trazado de cuencas tradicional se sigue la morfología de la superficie ayudándose de los escurrimientos visibles, evitando cortarlos al realizar el trazo.

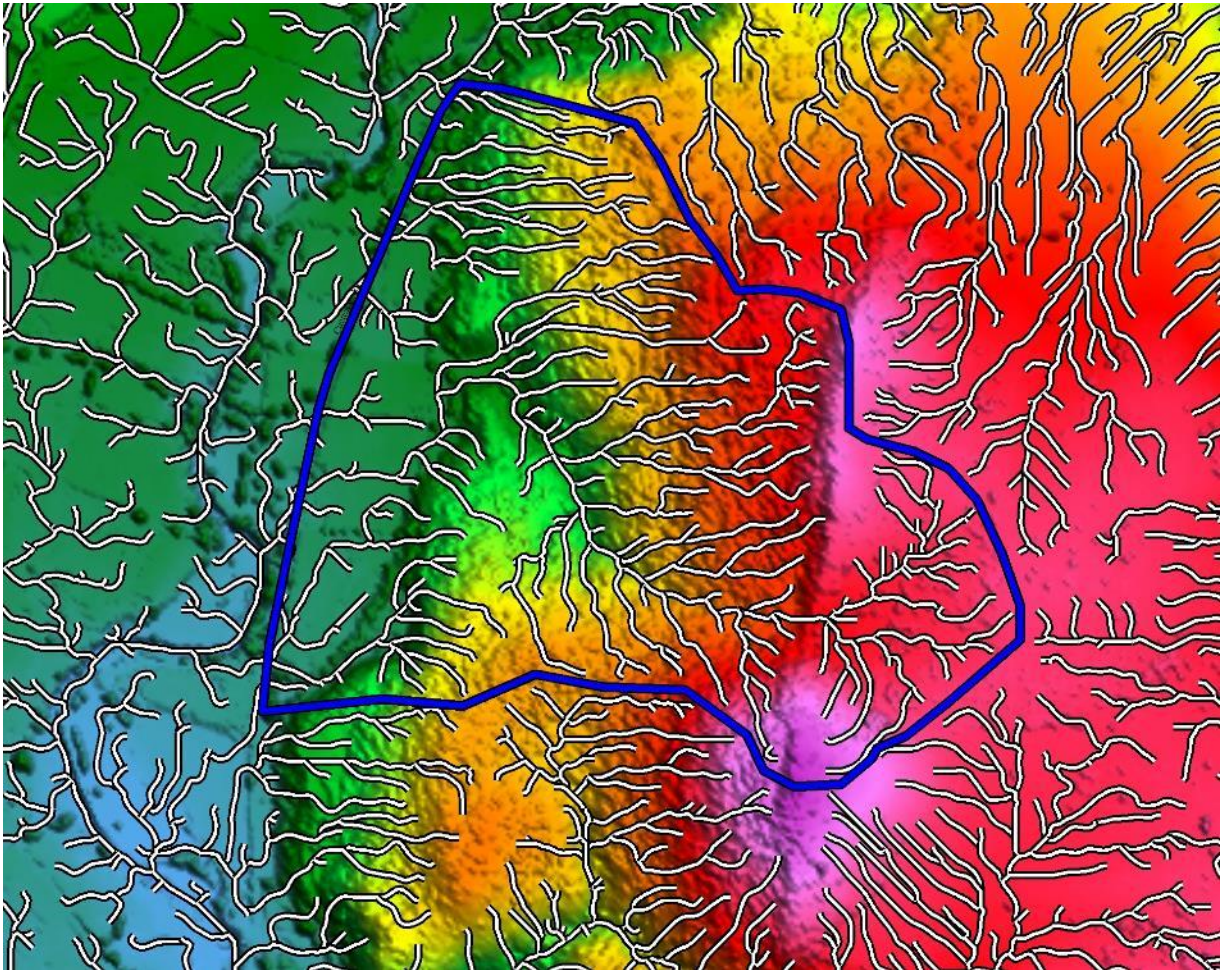


Figura 25.- trazado de cuenca

Área de la cuenca: 0.8046 Km<sup>2</sup>

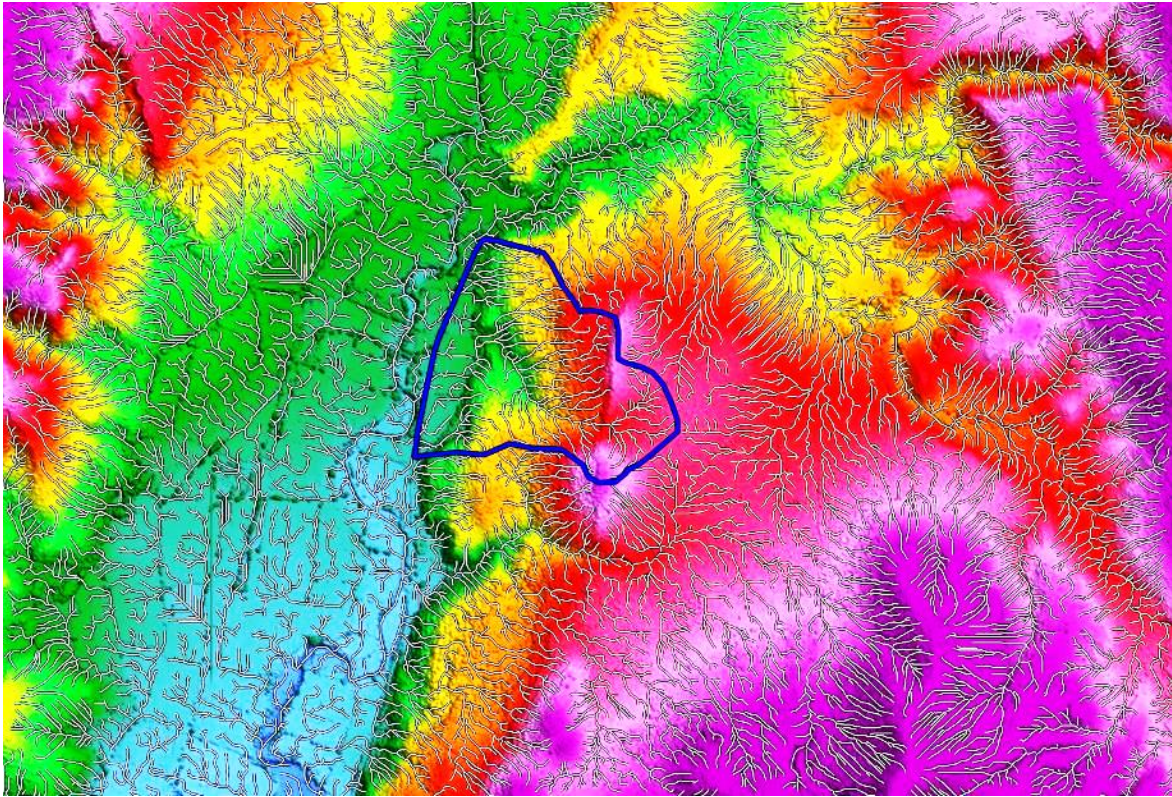


Figura 26.- Vista de la cuenca trazada sobre área delimitada

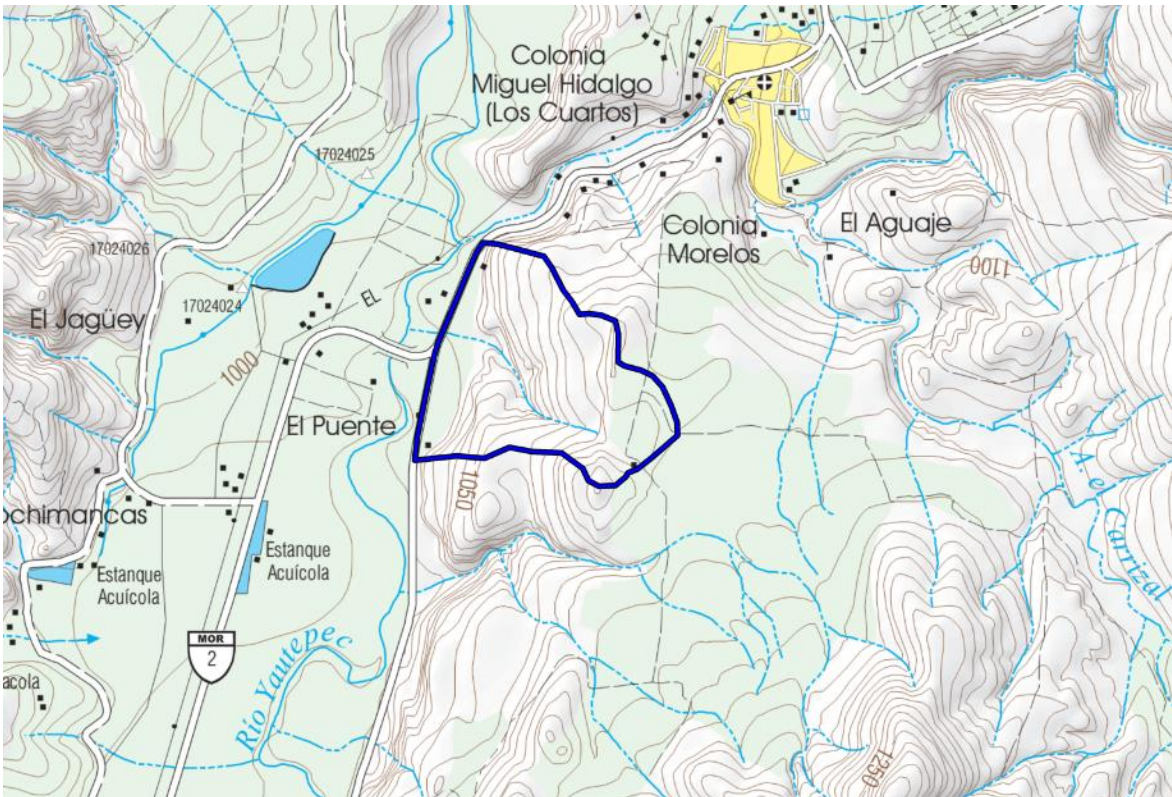


Figura 27.- Vista de la cuenca trazada sobre carta topográfica



### 3. Análisis de resultados

Para realizar la comparativa de los procedimientos se deben distinguir los aspectos mas importantes, como la geometría, veracidad, cantidad de información obtenida y facilidad de la metodología.

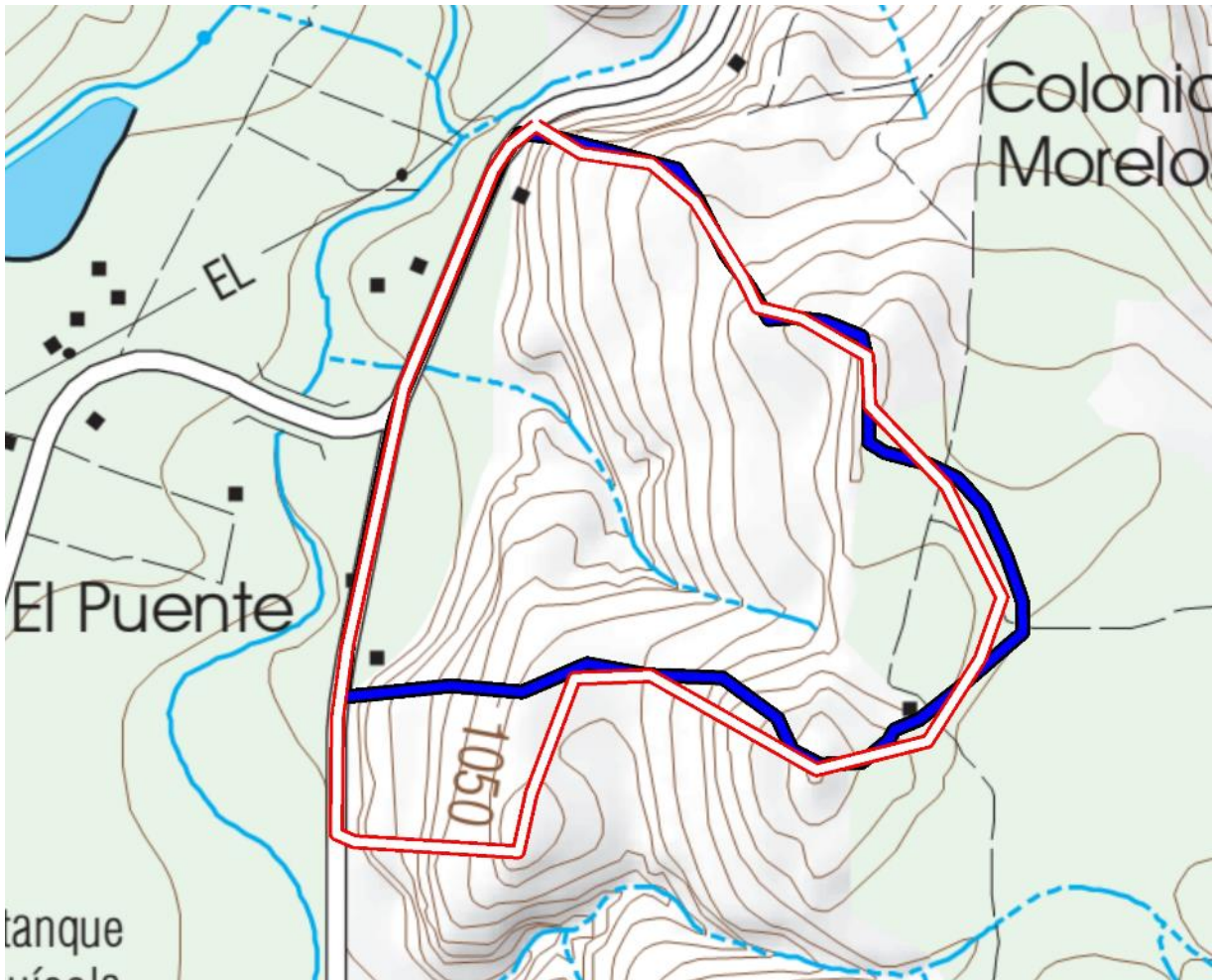


Figura 28.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de  $0.9082 \text{ Km}^2$  mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de  $0.8046 \text{ Km}^2$ , que corresponde a una reducción del 12.4%.

La precisión en el trazado en cuencas de mayor tamaño es fácilmente satisfecha por medio de las cartas topográficas ya que un kilómetro cuadrado más o menos, no afectara los cálculos hidrológicos, sin embargo, en este caso, al revisar los resultados se observa una discrepancia en los métodos que indica que la precisión es mayor con la utilización de modelos de elevación.

La información obtenida por el método tradicional es el trazo de la cuenca mientras que en el caso del modelo de elevaciones se obtienen tanto el trazo de la cuenca como el análisis de escurrimiento, también obteniendo modelos tridimensionales de la zona de estudio.

El método tradicional ahorra bastante tiempo en el trazado de la cuenca, mientras que el método propuesto requiere del uso de softwares GIS, así como softwares de terceros como el GoogleEarth, haciendo su uso más limitado a personas que dominen el uso de computadoras.

## 4. Revisión estadística

Una vez establecida la metodología básica y conociendo las diferencias que se pueden dar en el trazado, se procede a seleccionar diferentes regiones de forma indiscreta, a las cuales se les realiza el mismo análisis, se comparara las diferencias del trazado en cada una de ellas y se procede a revisar el conjunto de resultados y se realiza un análisis estadístico, de esta manera se intenta presentar un panorama mas amplio del método, obteniendo más datos sobre su uso, funcionamiento y alcances.

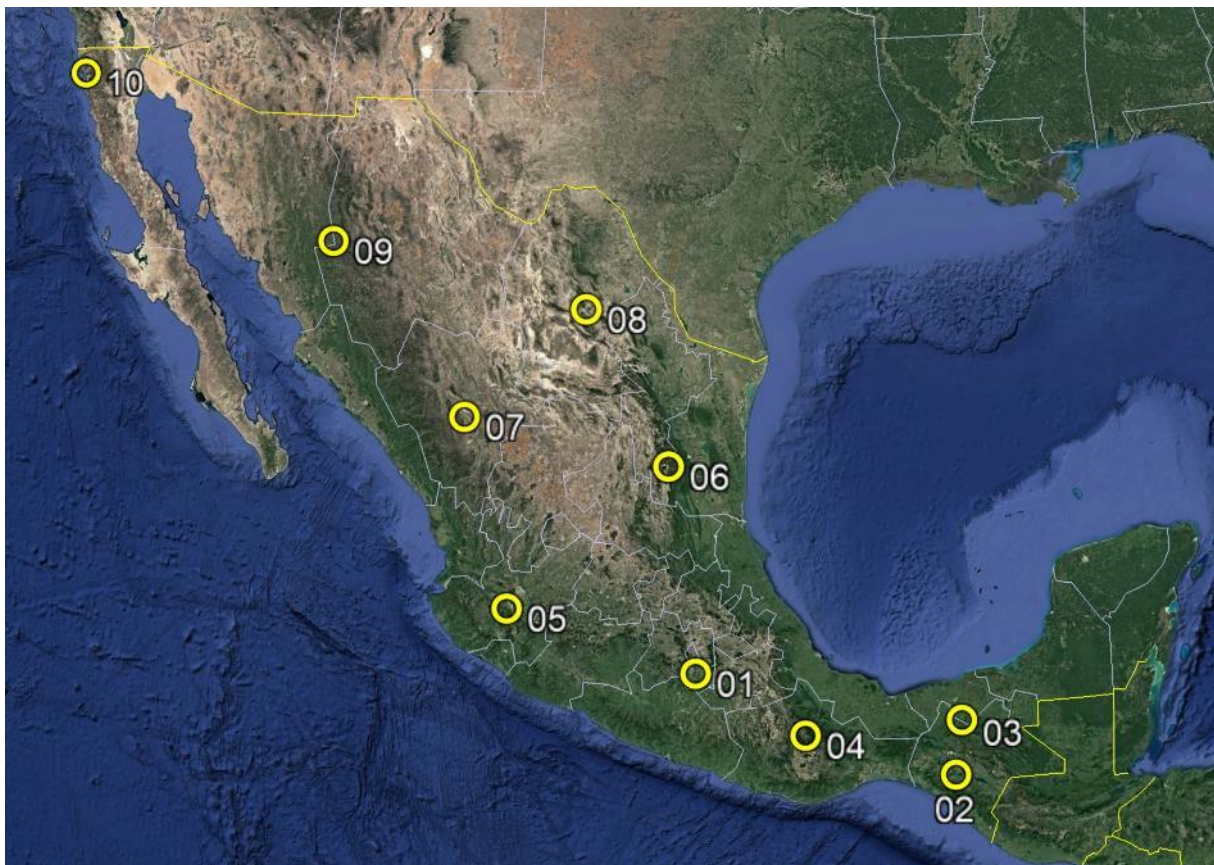


Figura 29.- Ubicación de las 10 zonas de estudio (Google Earth Pro)

\*La zona 01 hace referencia al análisis realizado para ejemplifica la metodología.

Zona 02, perteneciente al municipio Villa Corzo en el estado de Chiapas, se trabaja la carta topográfica E15C89 para los análisis.



Figura 30.- Ubicación de la zona de estudio 02 (Google Earth Pro)

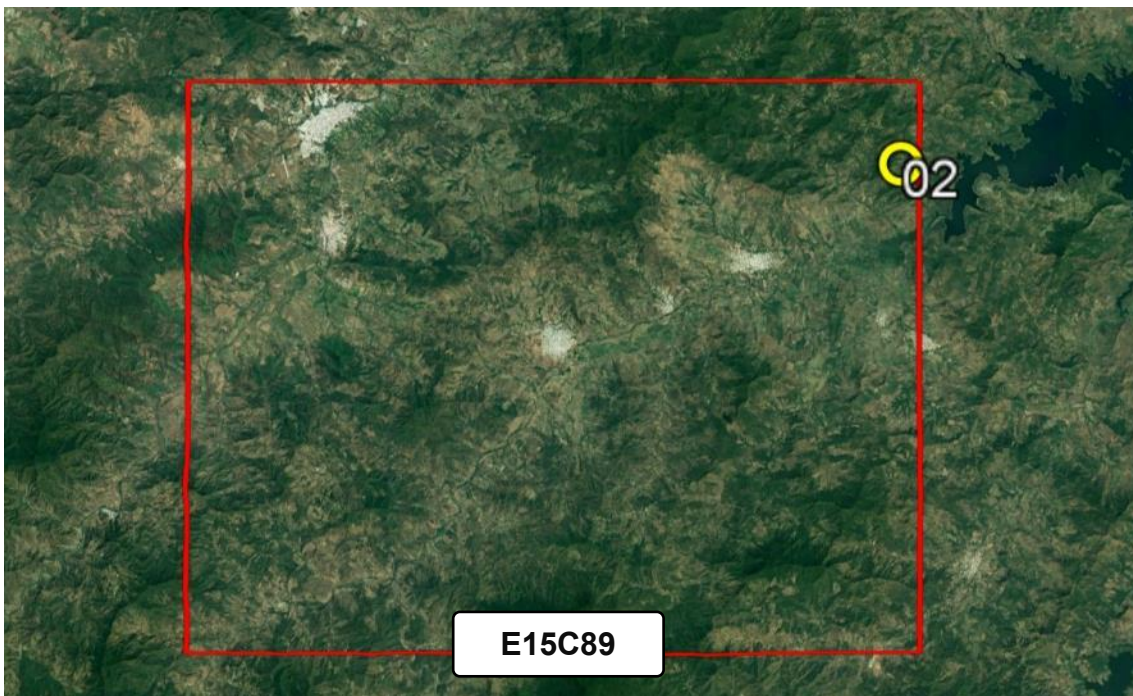


Figura 31.- Carta topográfica de las zonas de estudio 02 (Google Earth Pro)

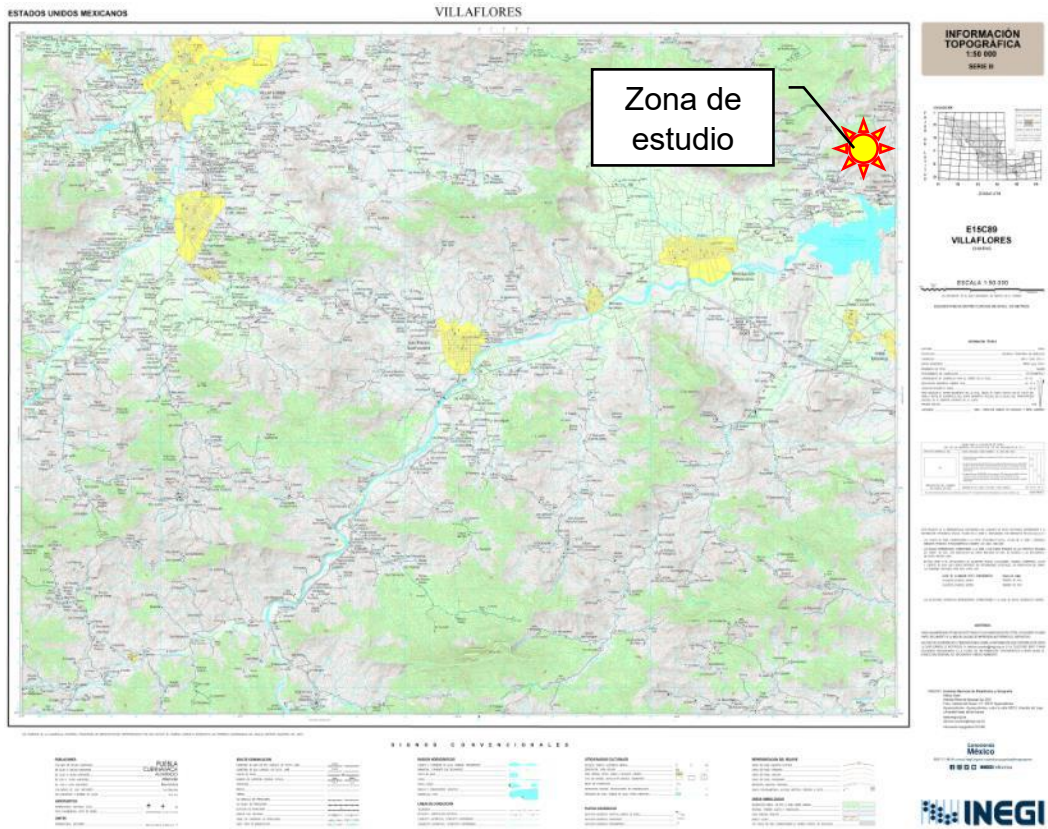


Figura 32.- Carta topográfica E15C89

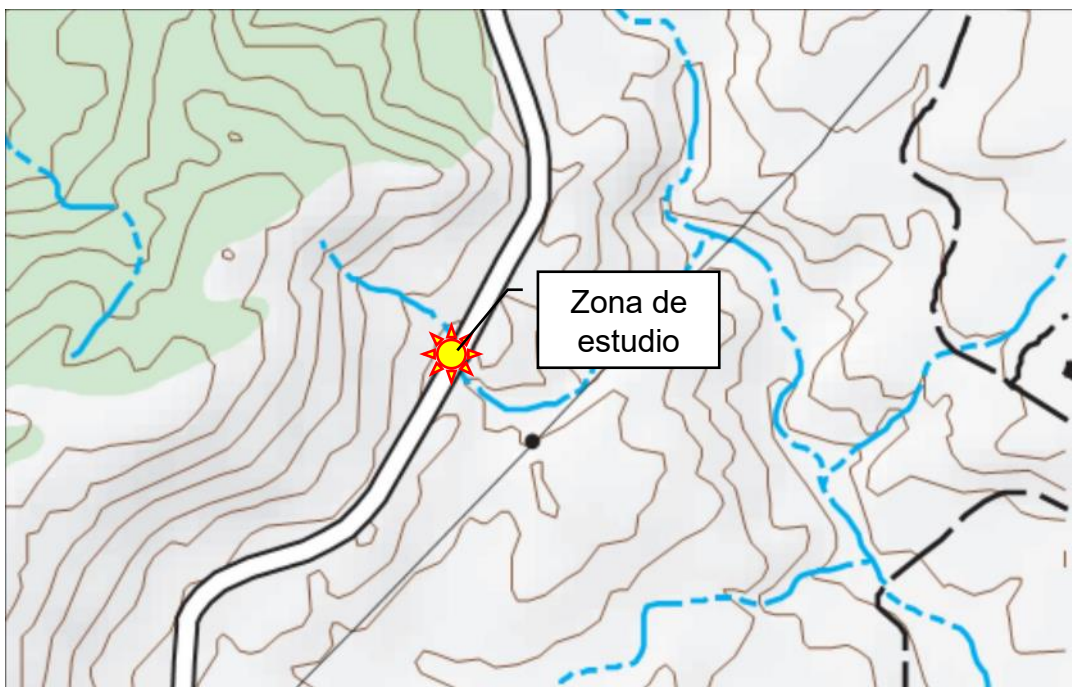


Figura 33.- Ubicación de la zona de estudios sobre carta topográfica

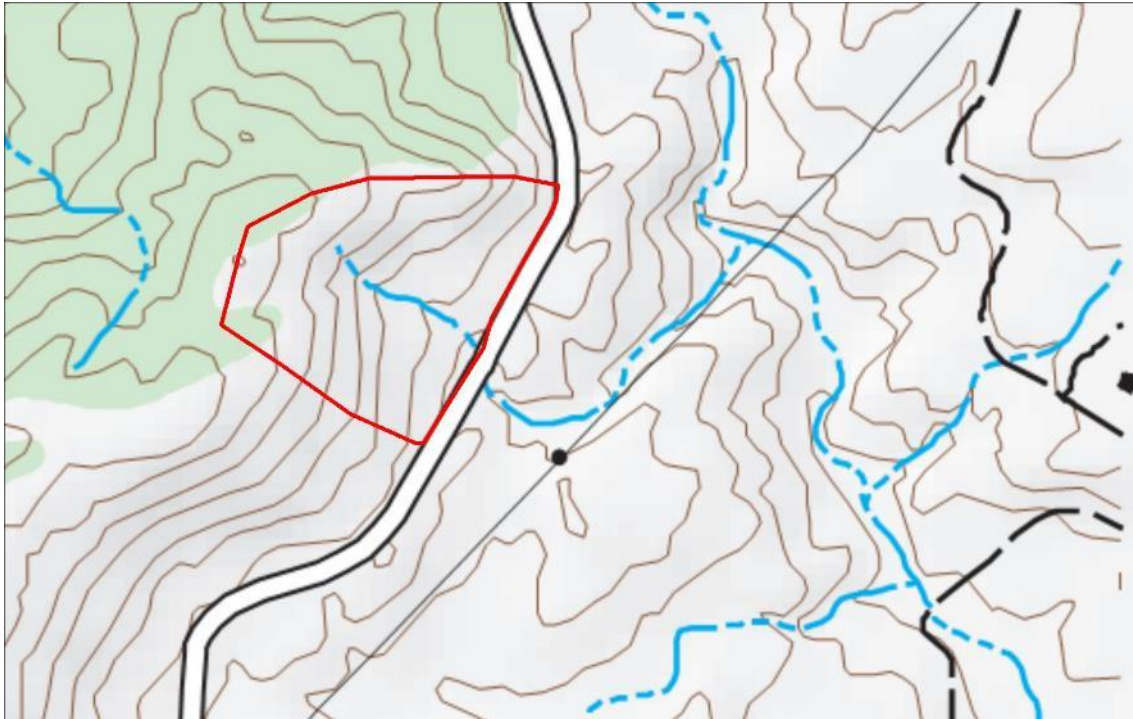


Figura 34.- trazo tradicional de la cuenca 02

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.1227 km<sup>2</sup>

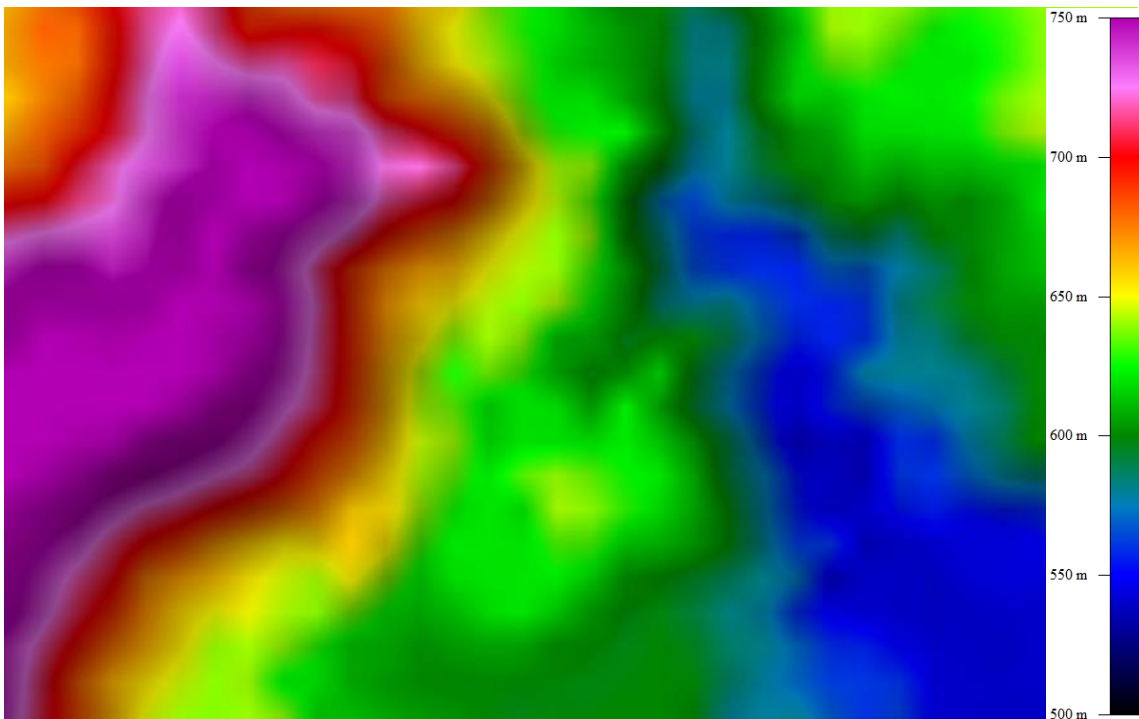


Figura 35.- Vista general del modelo de elevaciones

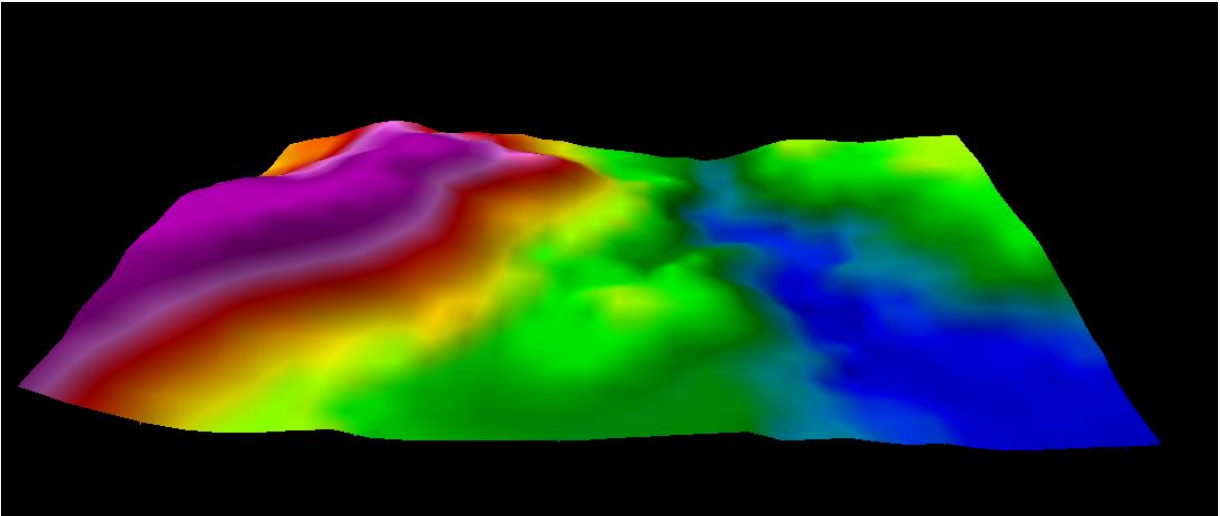


Figura 36.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

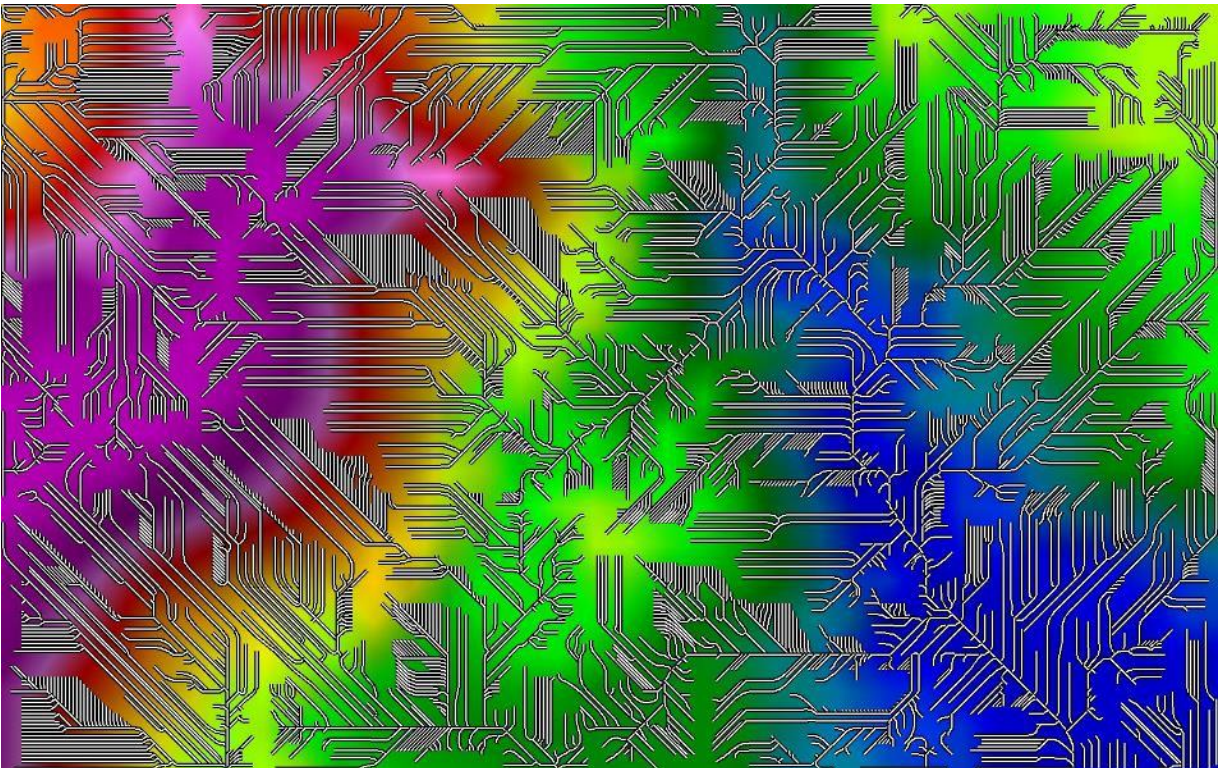


Figura 37.- Análisis de escurrimientos

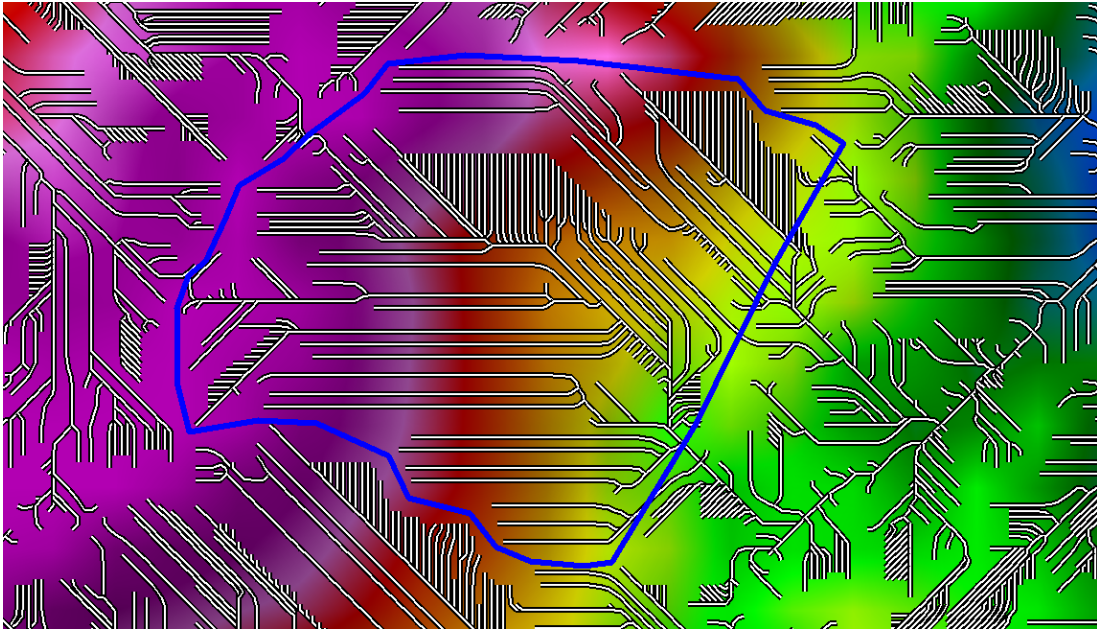


Figura 38.- trazado de cuenca

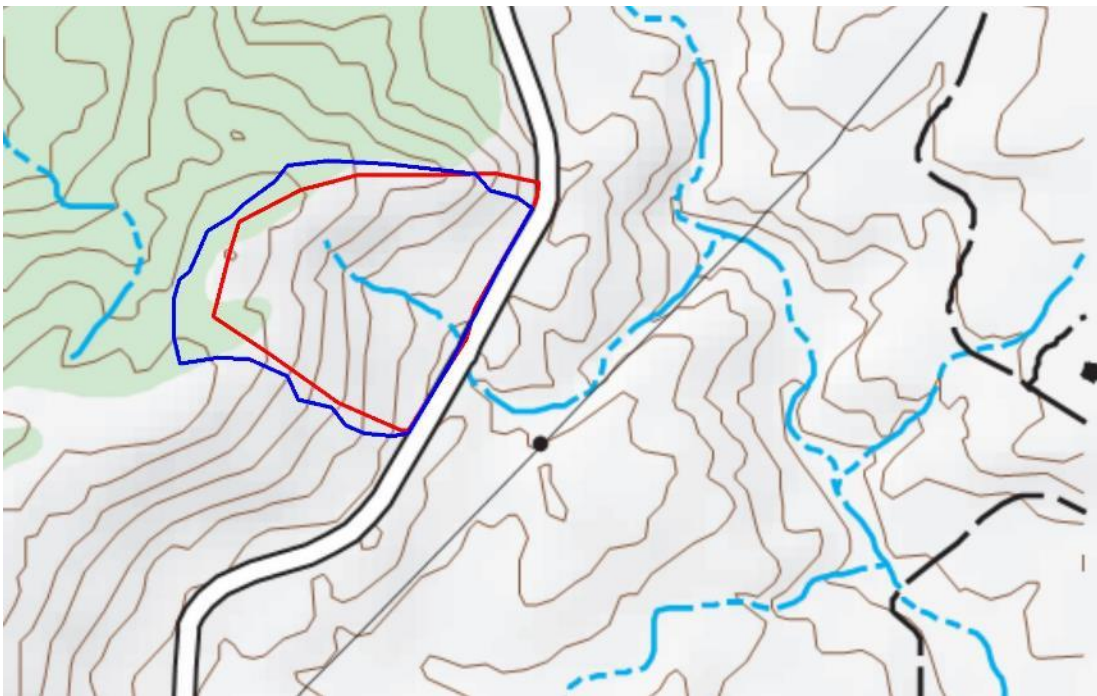


Figura 39.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de  $0.1227 \text{ Km}^2$  mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de  $0.1470 \text{ Km}^2$ , que corresponde a un aumento del 19.8%.



Zona 03, perteneciente al municipio Tacotalpa en el estado de Tabasco, se trabaja la carta topográfica E15D31 para los análisis.



Figura 40.- Ubicación de la zona de estudio 03 (Google Earth Pro)

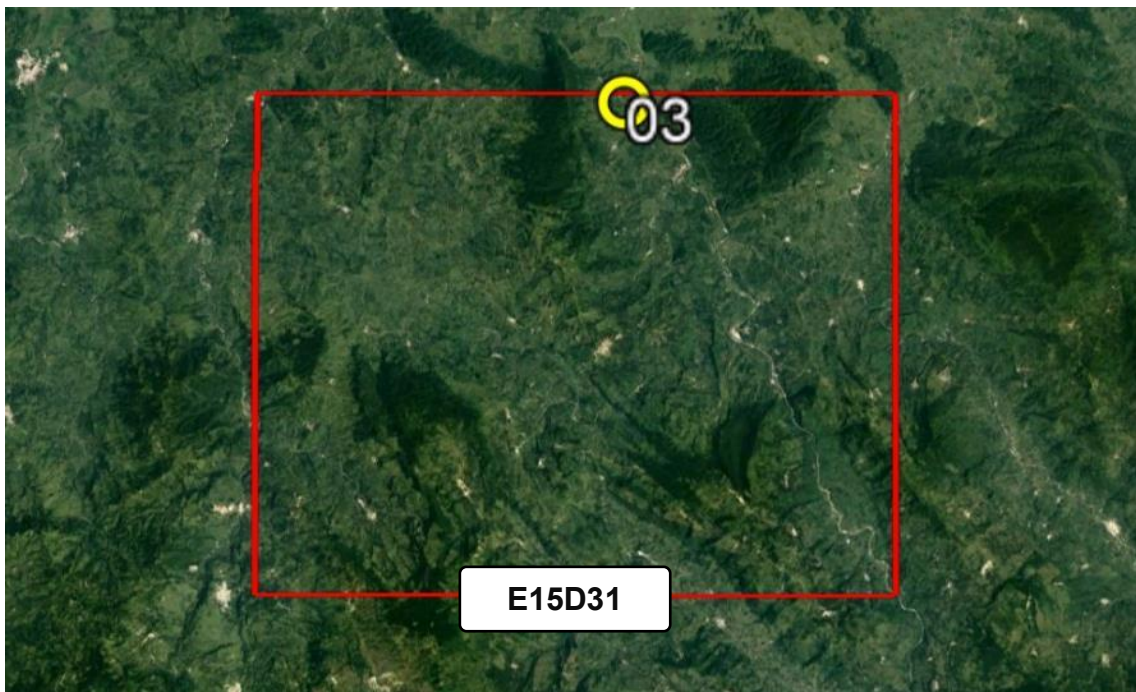


Figura 41.- Carta topográfica de las zonas de estudio 03 (Google Earth Pro)

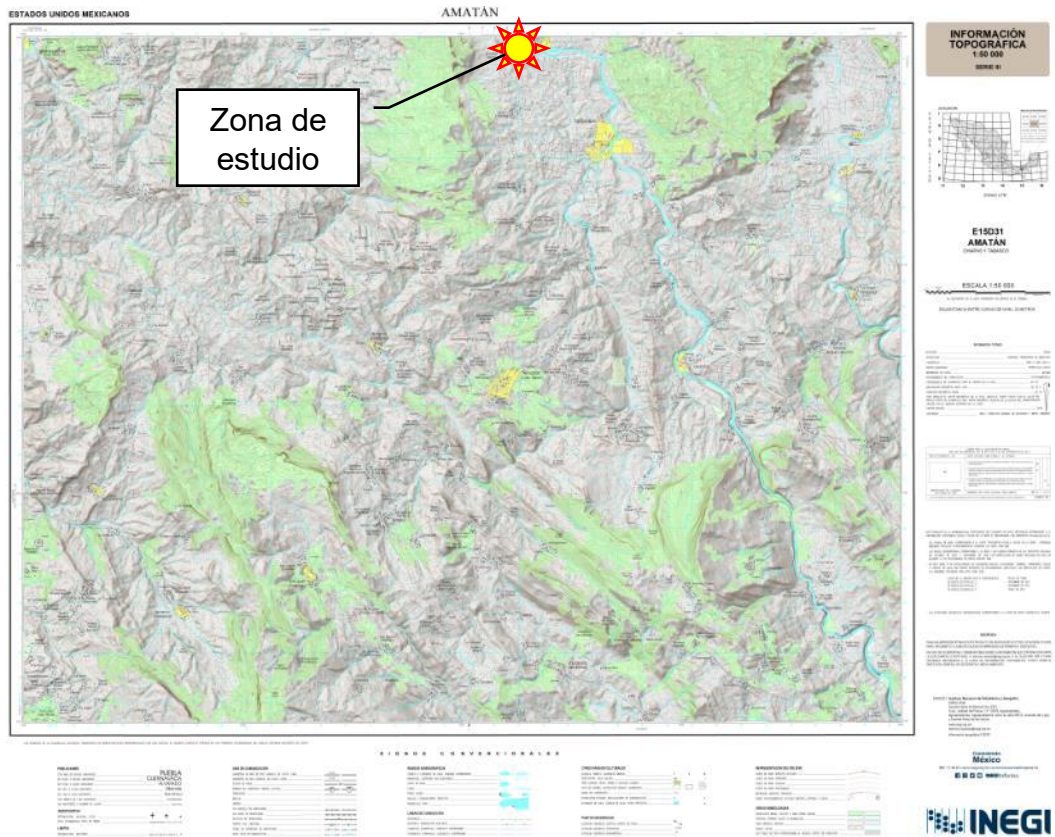


Figura 42.- Carta topográfica E15D31



Figura 43.- Ubicación de la zona de estudios sobre carta topográfica



Figura 44.- trazo tradicional de la cuenca 03

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.0610 km<sup>2</sup>

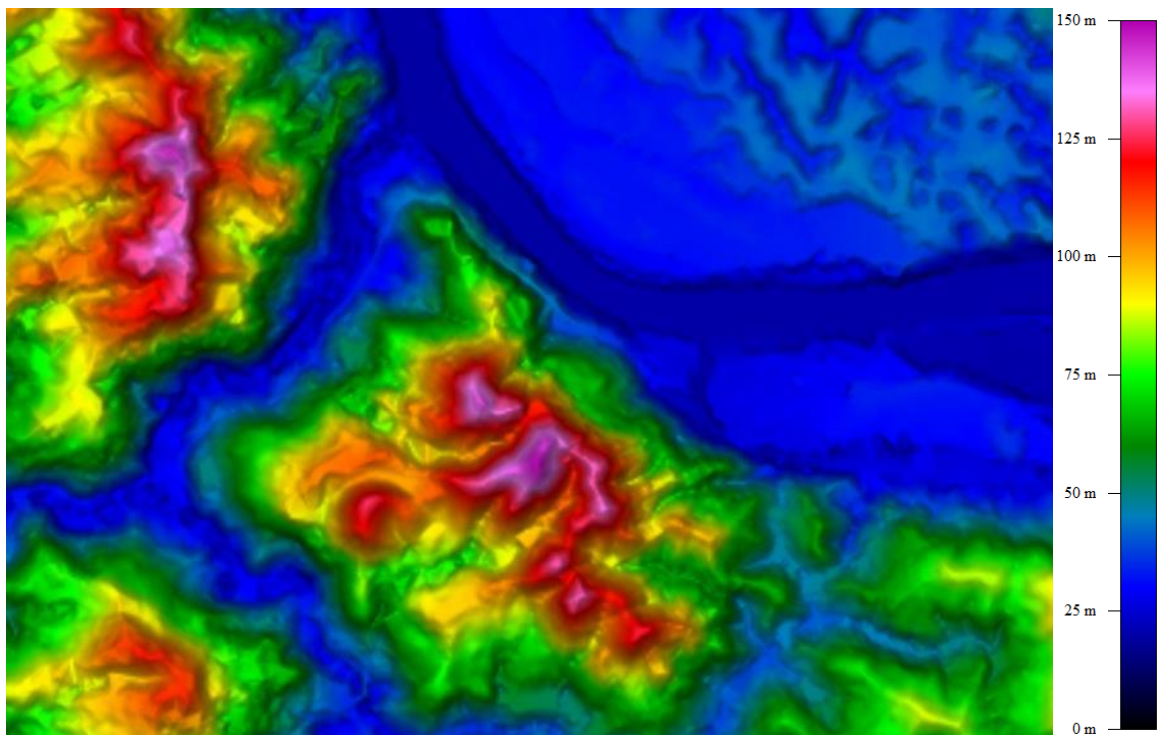


Figura 45.- Vista general del modelo de elevaciones

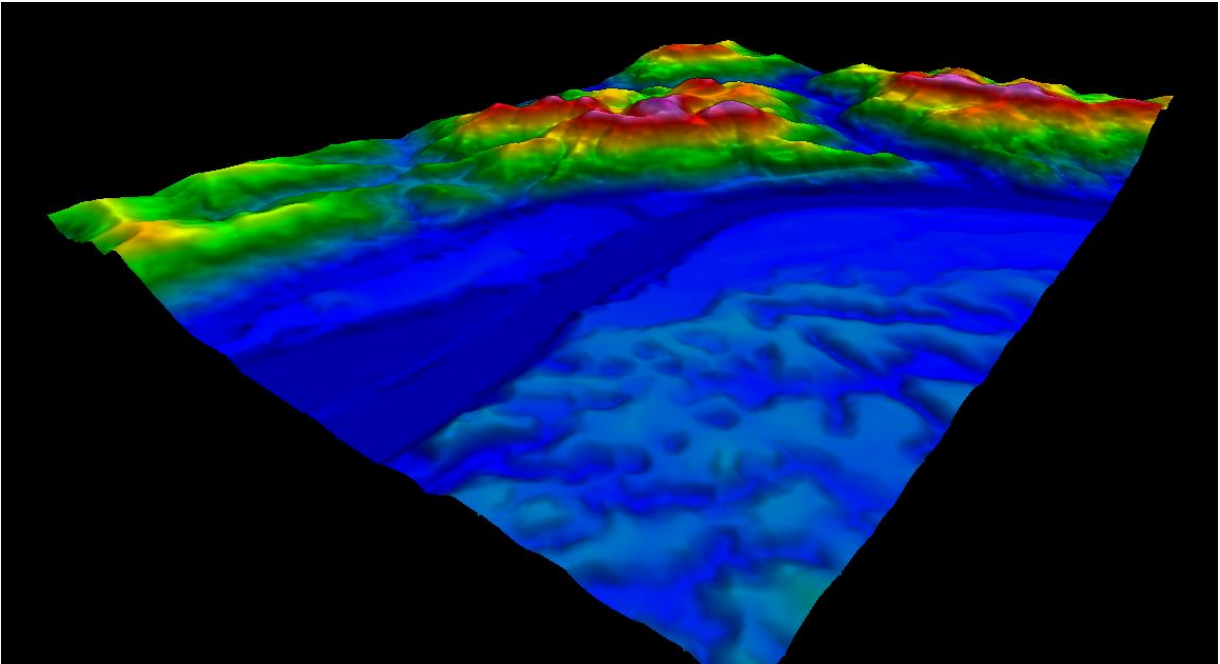


Figura 46.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

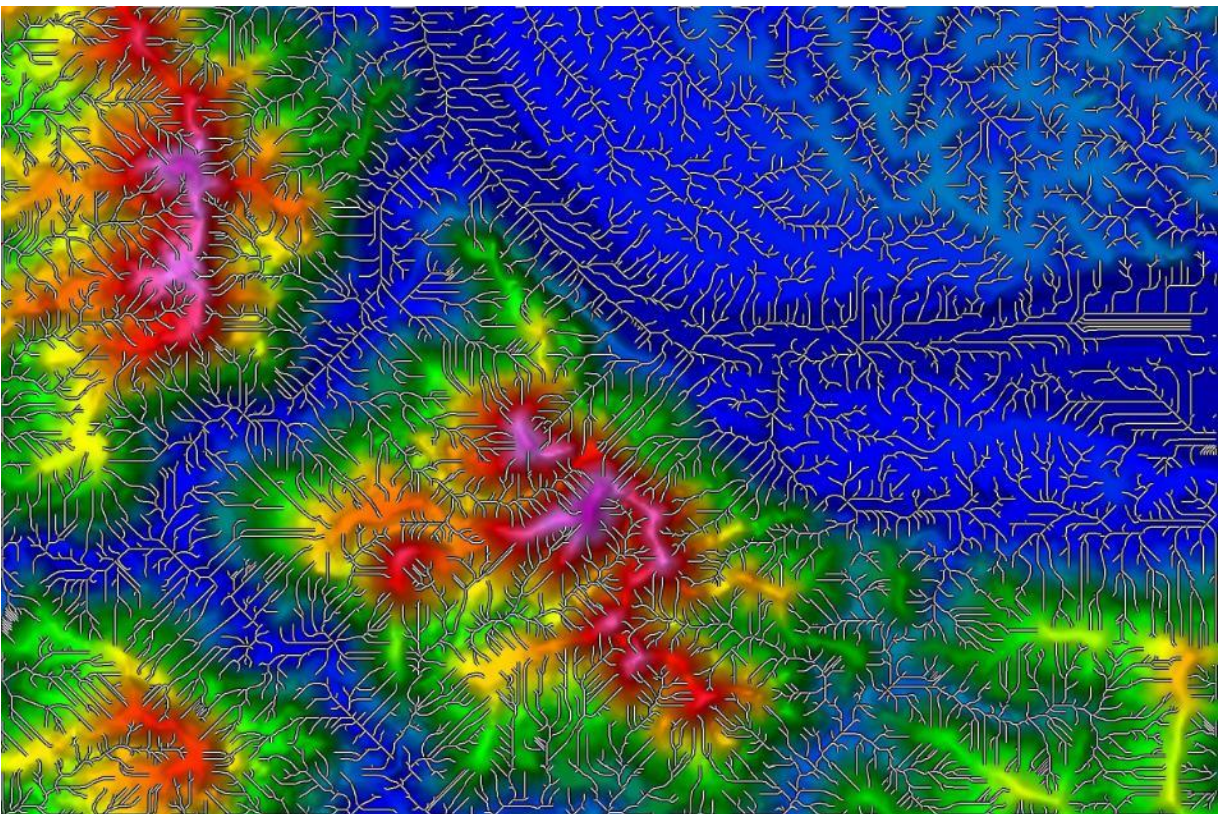


Figura 47.- Análisis de escurrimientos

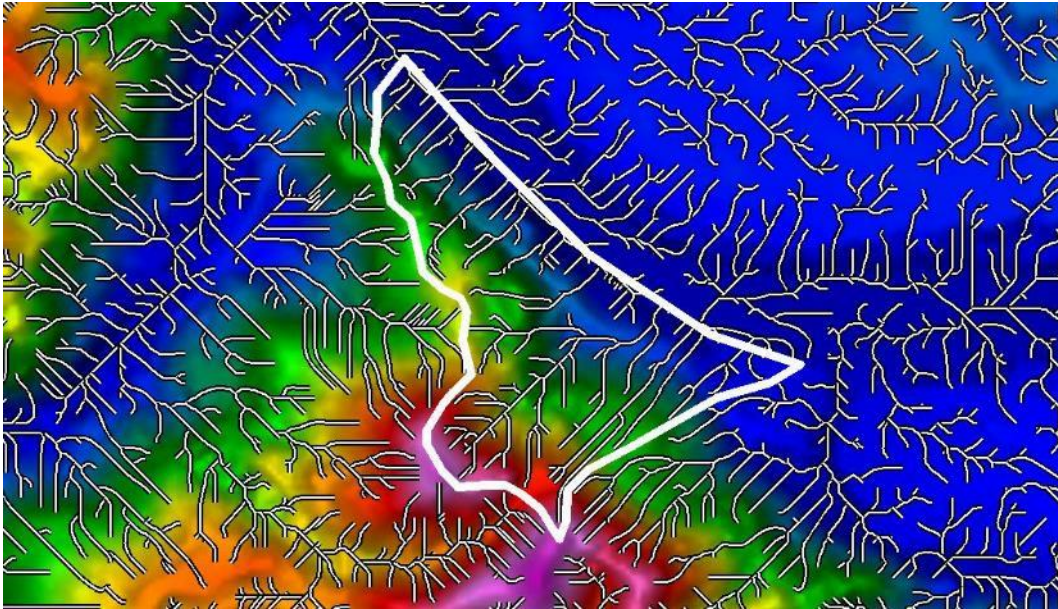


Figura 48.- trazado de cuenca



Figura 49.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 0.0610 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 0.0755 Km<sup>2</sup>, que corresponde a un aumento del 23.8%.

Zona 04, perteneciente al municipio Santa Catarina Ixtepeji en el estado de Oaxaca, se trabaja la carta topográfica E14D38 para los análisis.

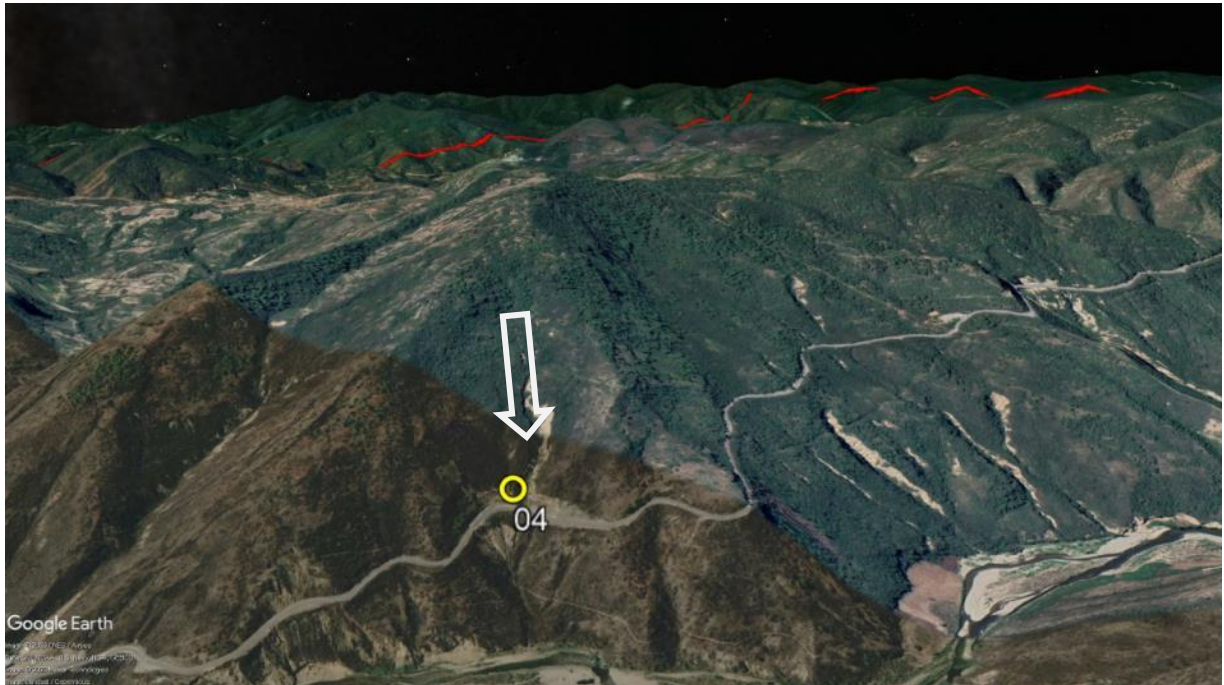


Figura 50.- Ubicación de la zona de estudio 04 (Google Earth Pro)

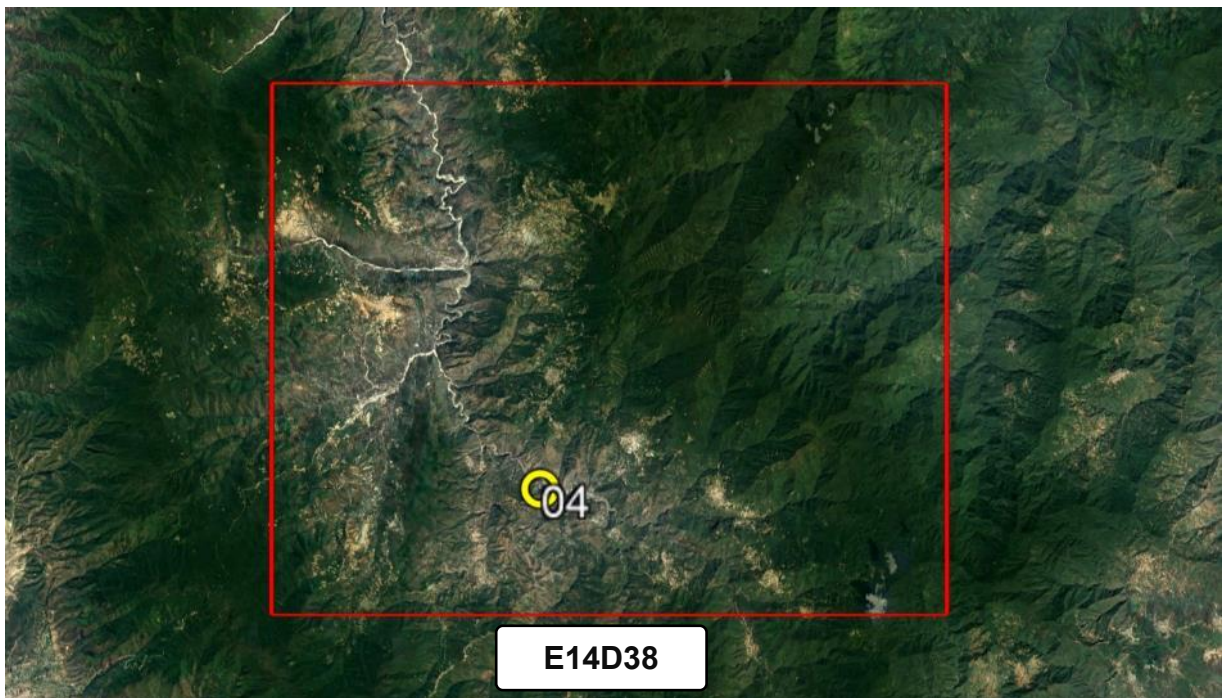


Figura 51.- Carta topográfica de las zonas de estudio 04 (Google Earth Pro)

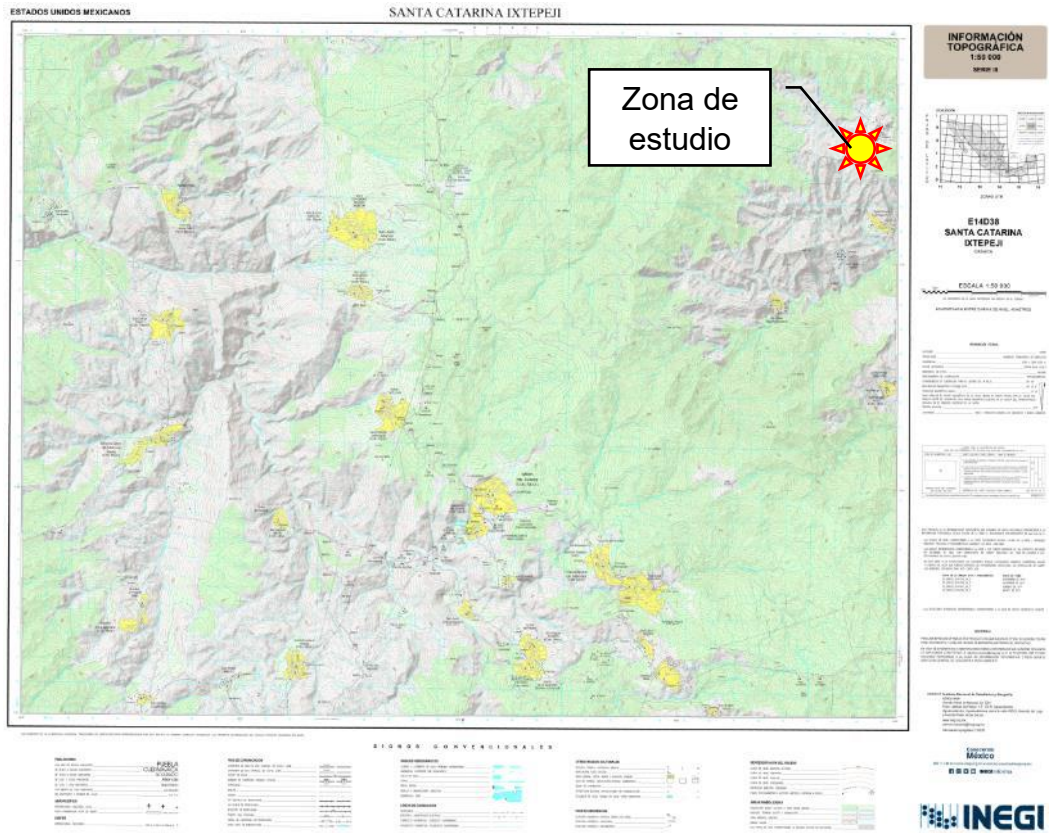


Figura 52.- Carta topográfica E14D38

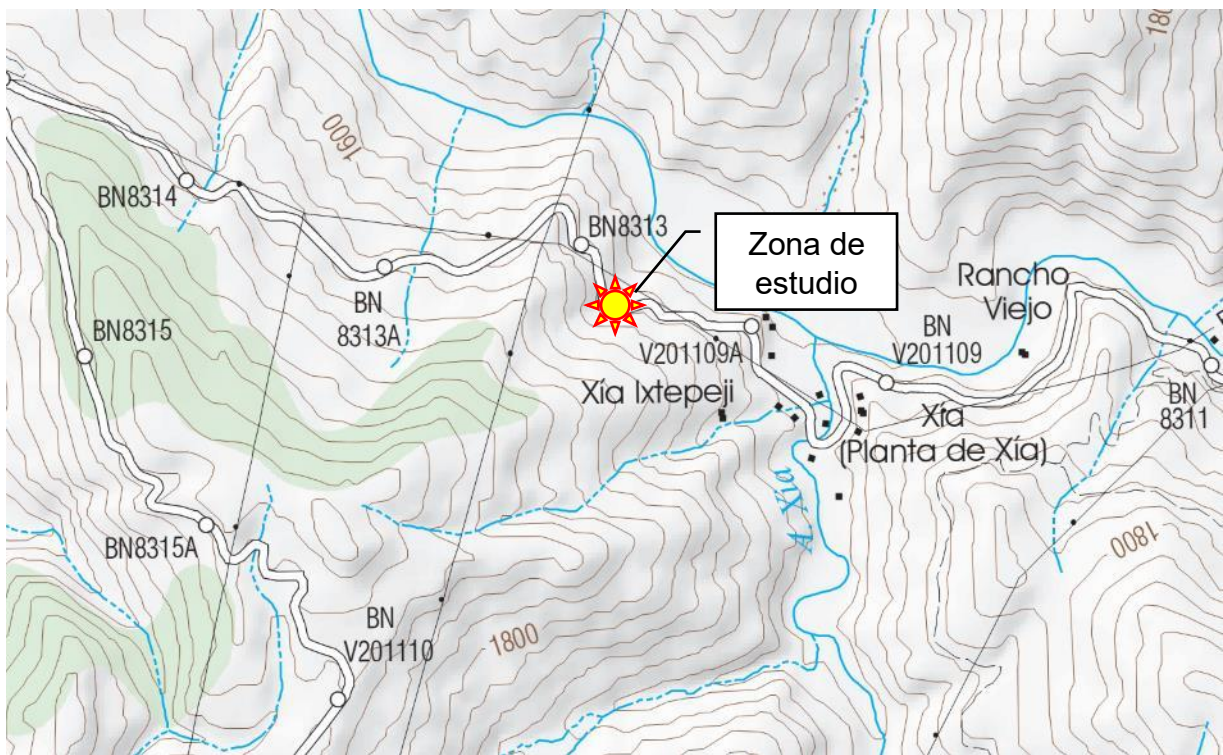


Figura 53.- Ubicación de la zona de estudios sobre carta topográfica

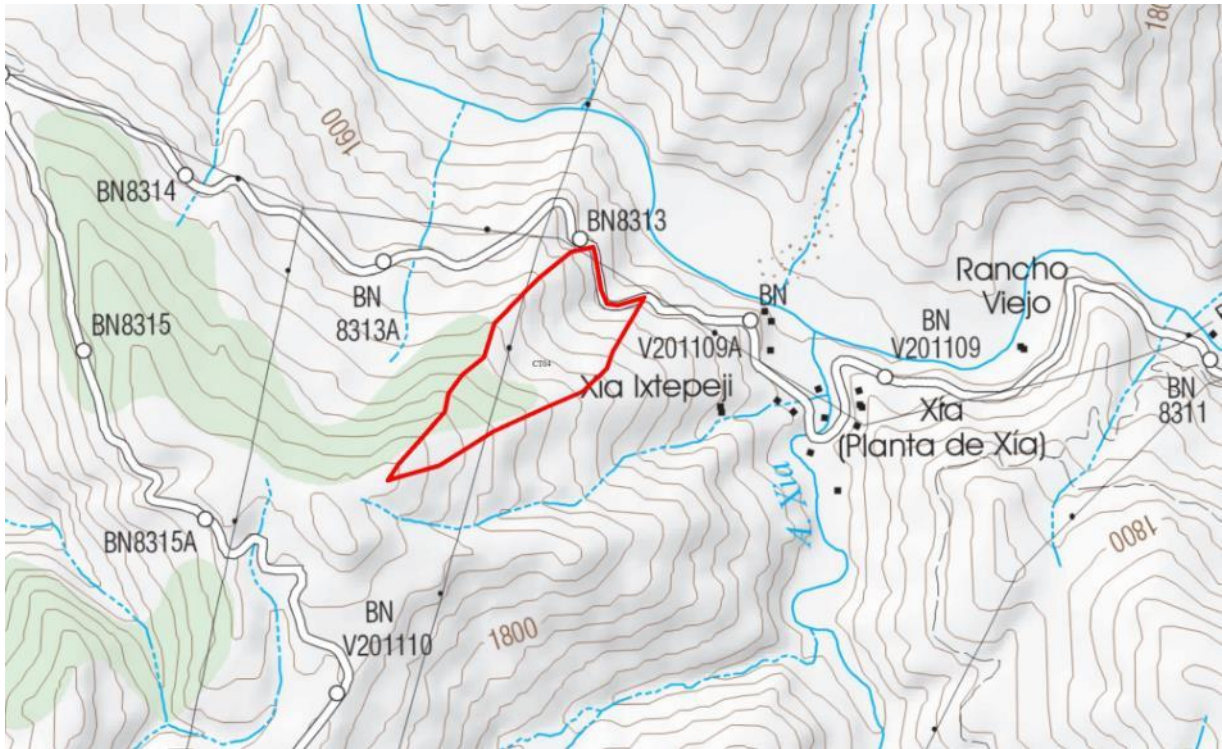


Figura 54.- trazo tradicional de la cuenca 04

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.3038 km<sup>2</sup>

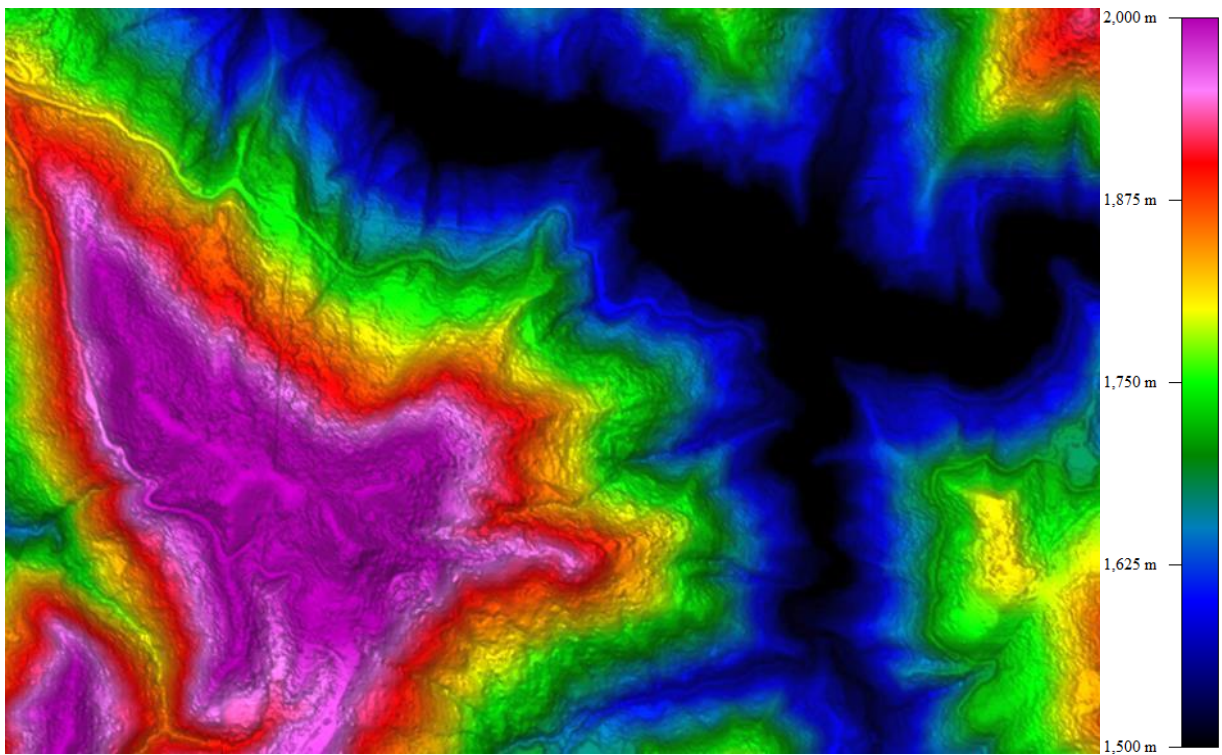


Figura 55.- Vista general del modelo de elevaciones



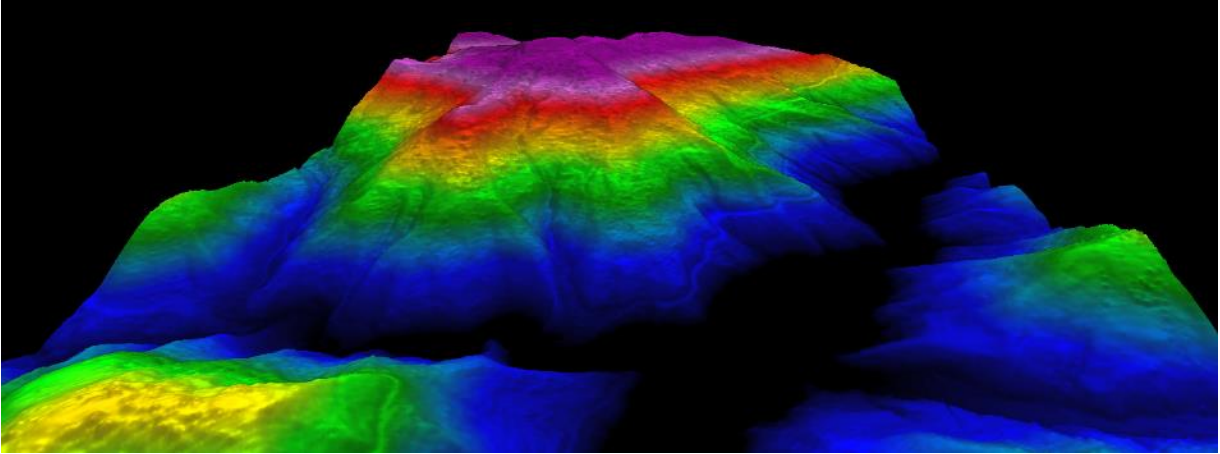


Figura 56.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

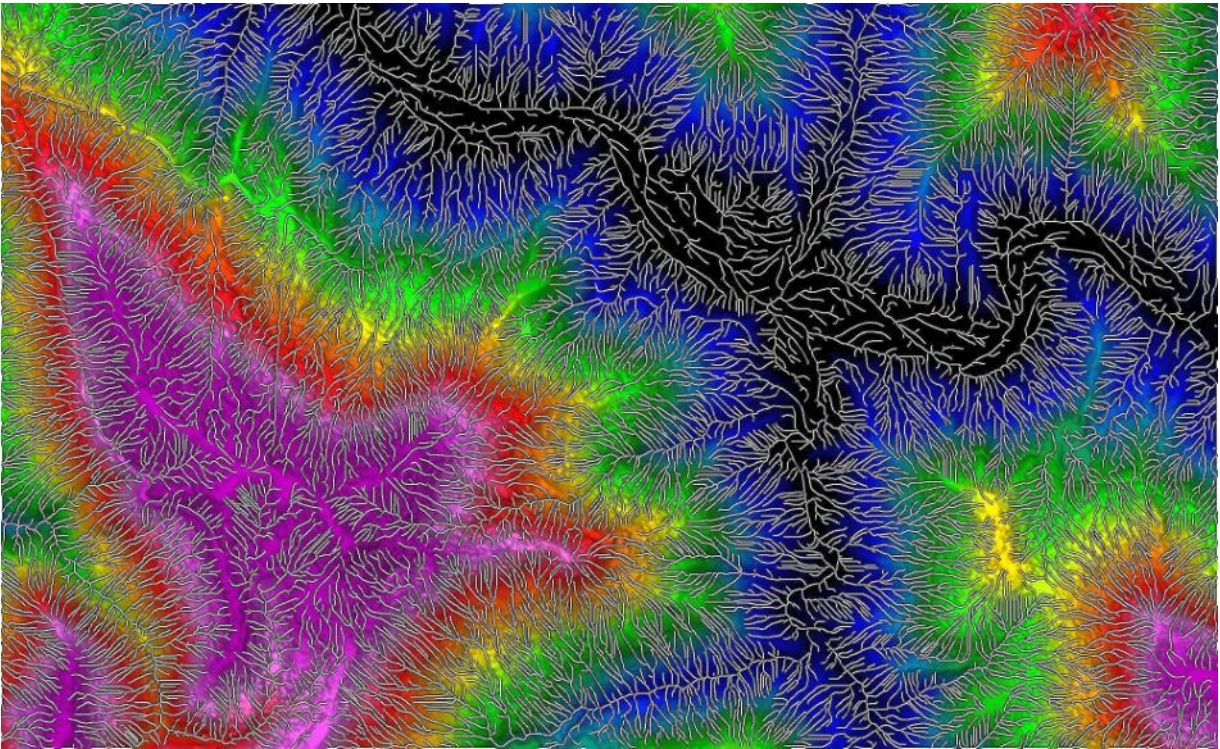


Figura 57.- Análisis de escurrimientos

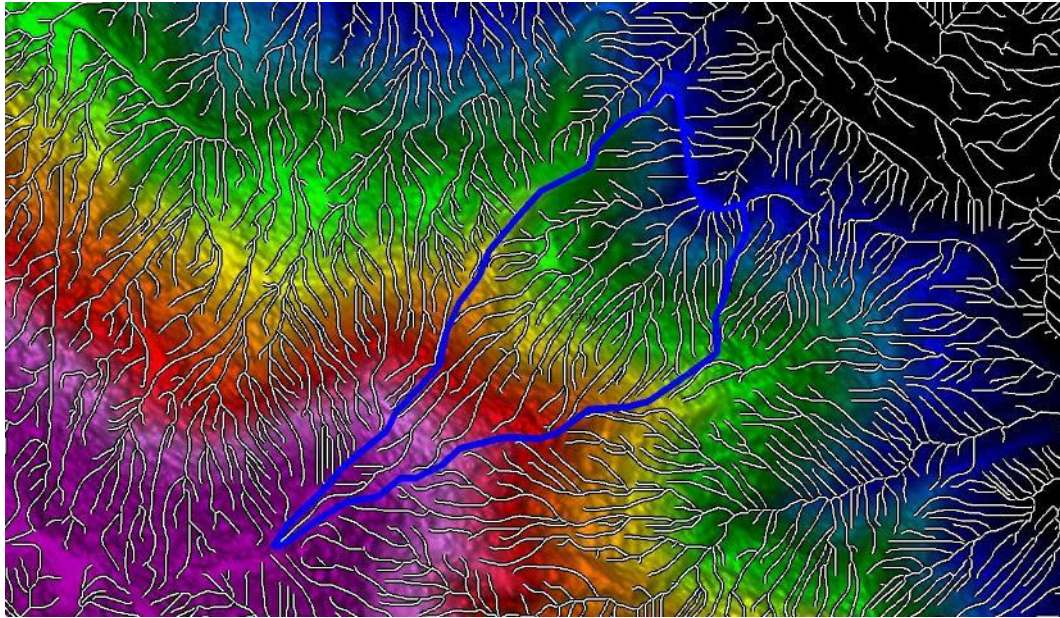


Figura 58.- trazado de cuenca

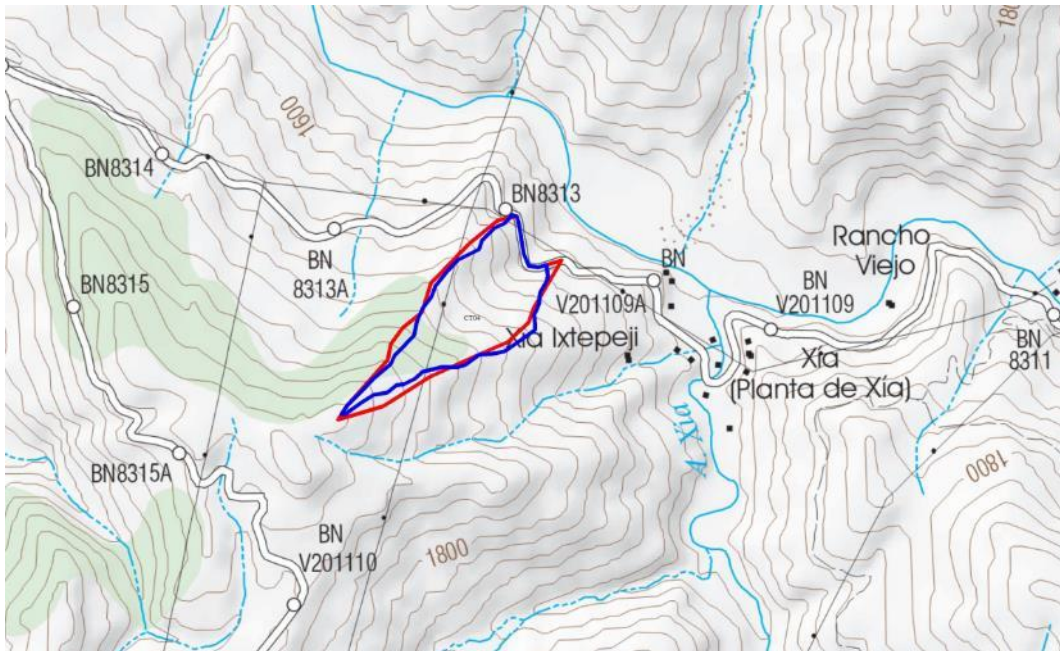


Figura 59.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 0.3038 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 0.2694 Km<sup>2</sup>, que corresponde a una reducción del 11.3%.

Zona 05, perteneciente al municipio Atemajac de Brizuela en el estado de Jalisco, se trabaja la carta topográfica F13D84 para los análisis.



Figura 60.- Ubicación de la zona de estudio 05 (Google Earth Pro)

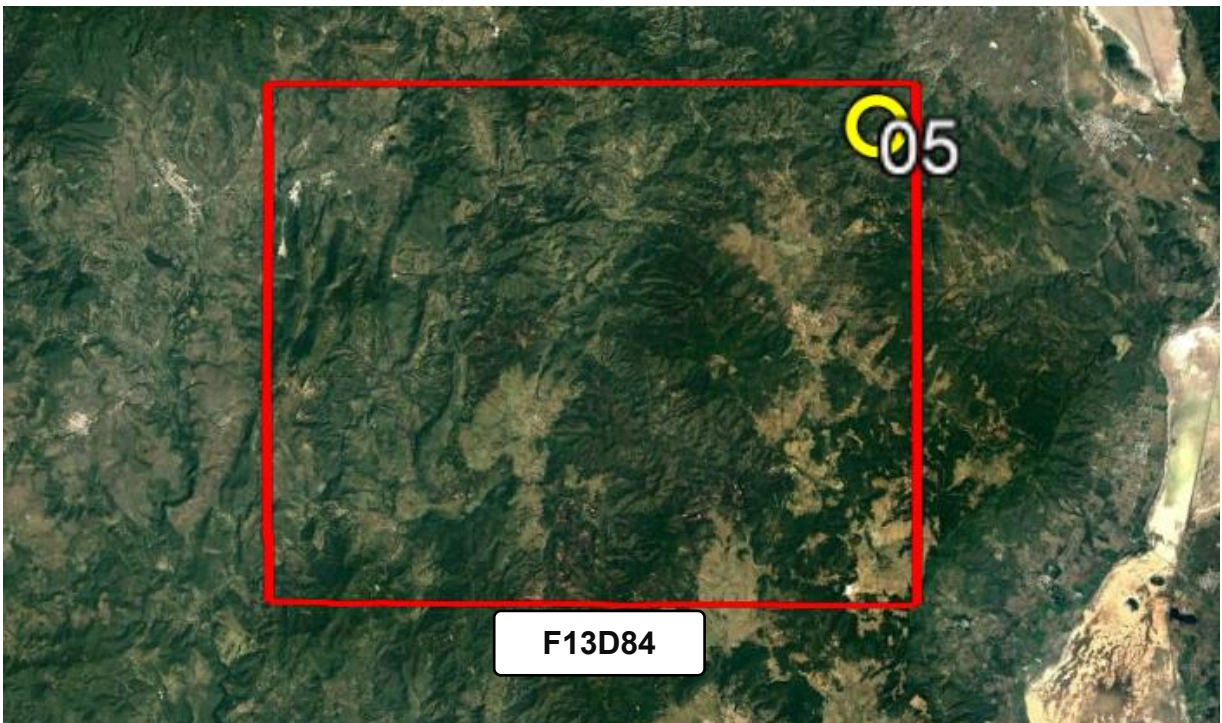
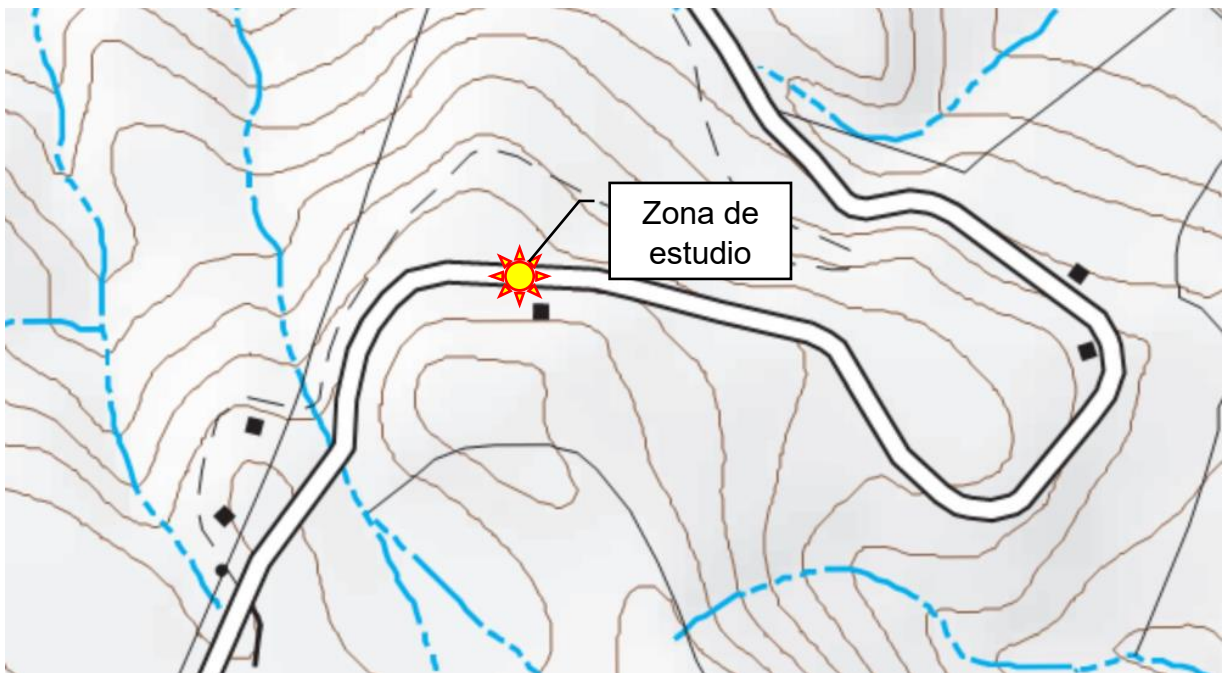
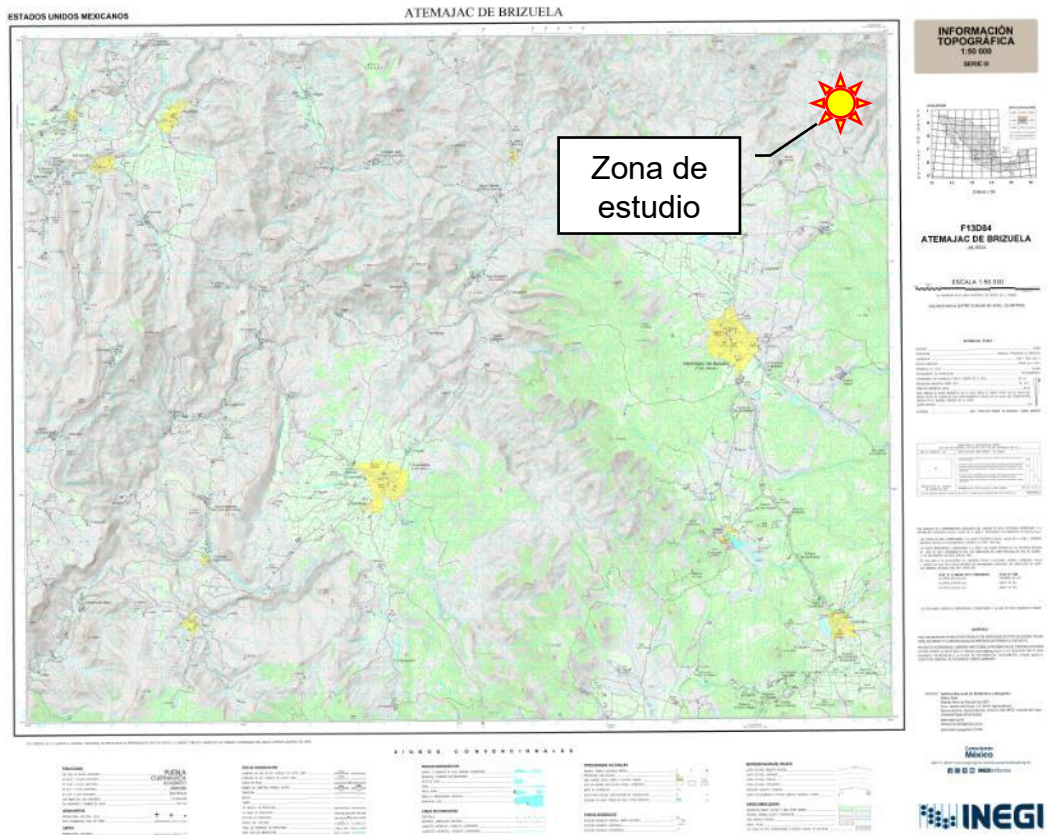


Figura 61.- Carta topográfica de las zonas de estudio 05 (Google Earth Pro)



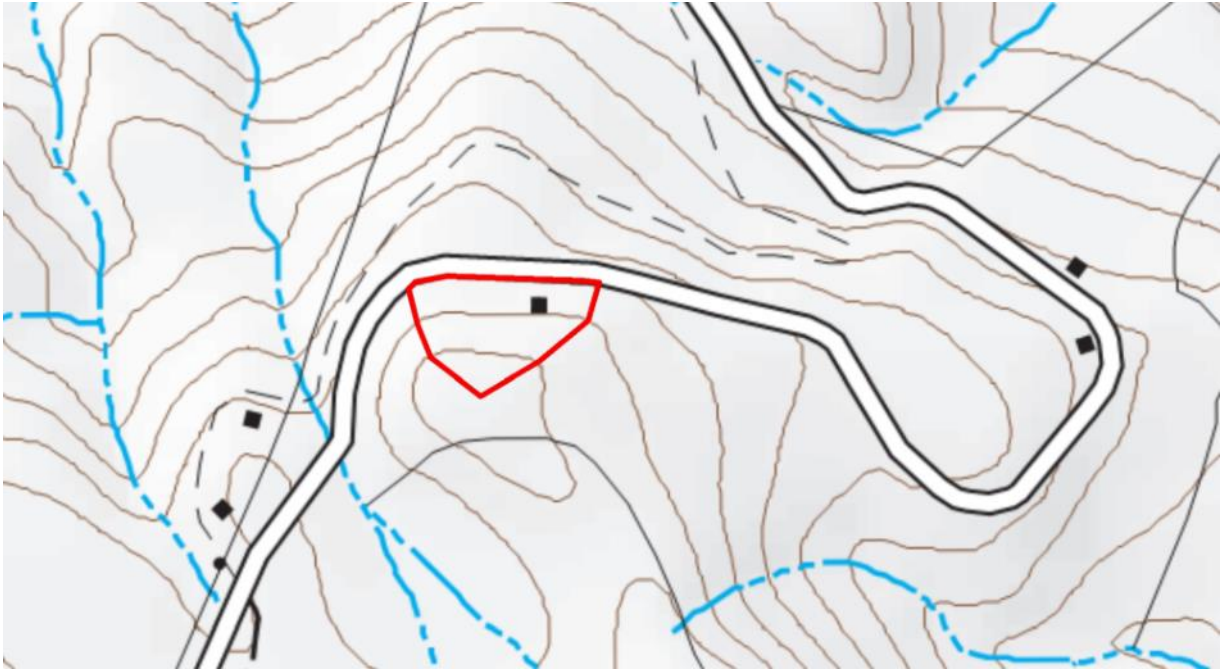


Figura 64.- trazo tradicional de la cuenca 05

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.0360 km<sup>2</sup>

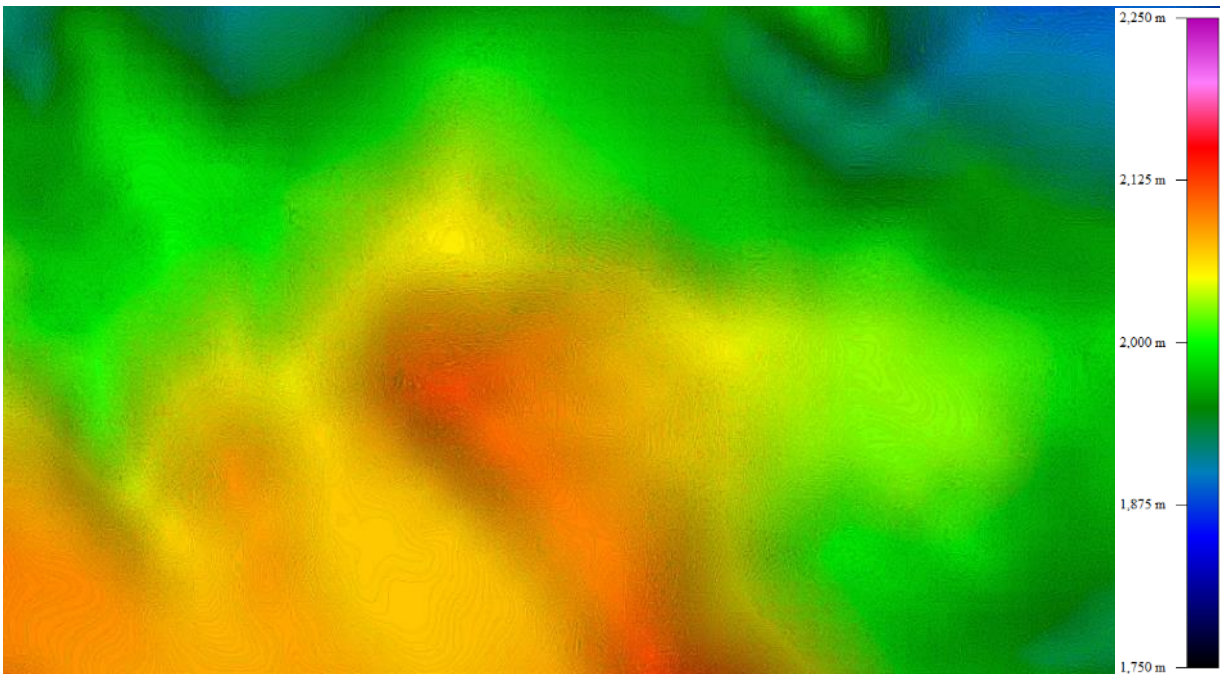


Figura 65.- Vista general del modelo de elevaciones

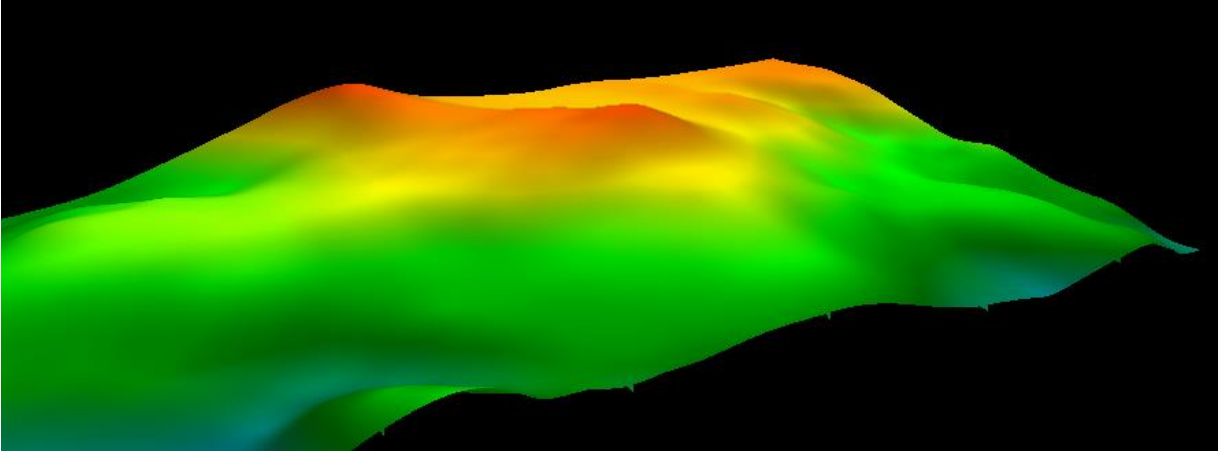


Figura 66.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

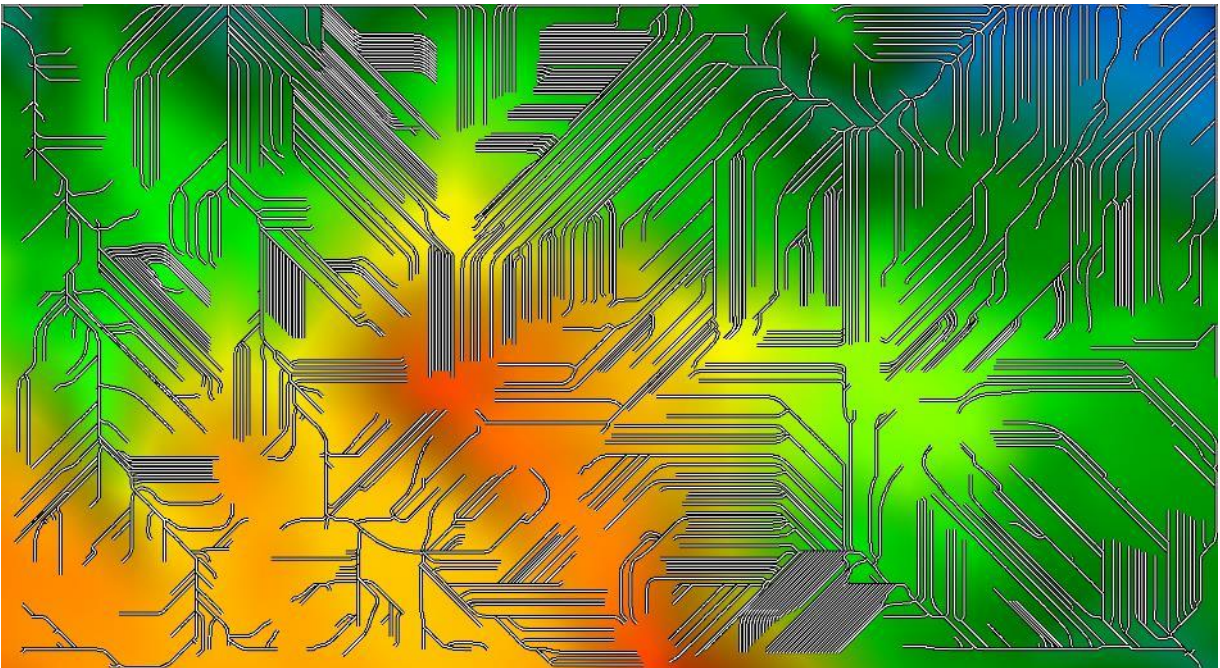


Figura 67.- Análisis de escurrimientos

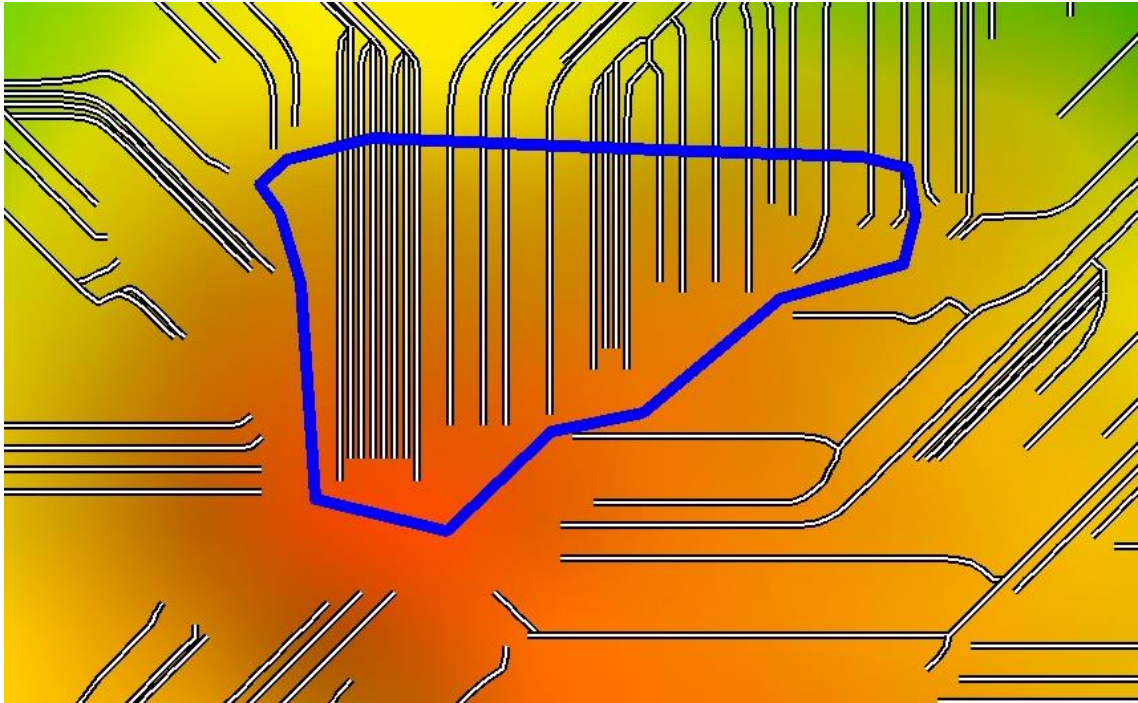


Figura 68.- trazado de cuenca

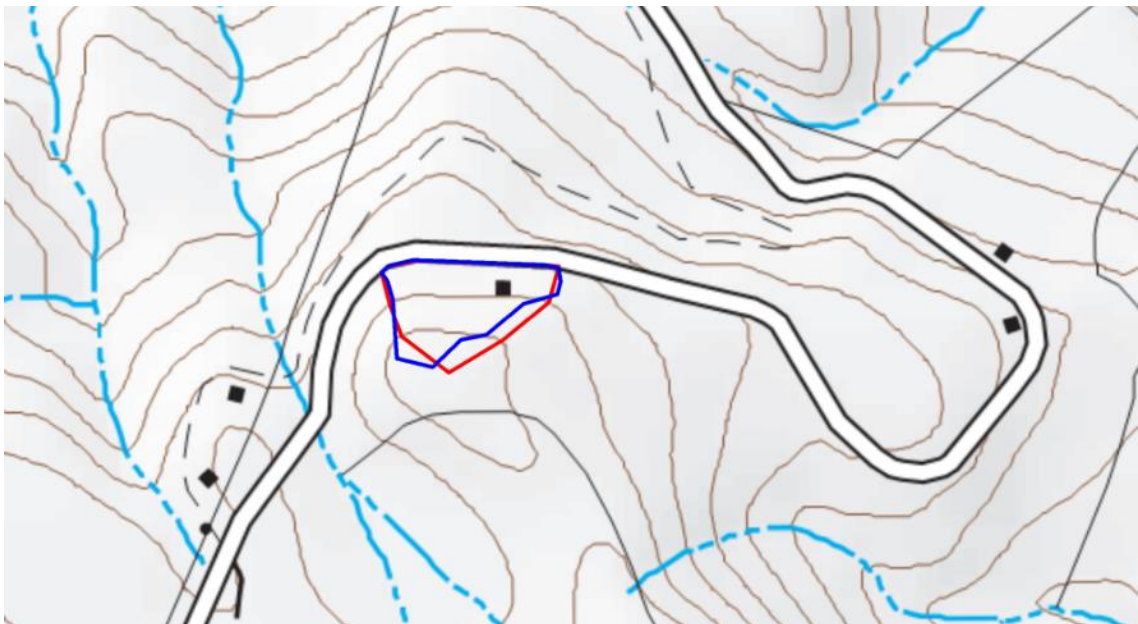


Figura 69.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 0.0360 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 0.0325 Km<sup>2</sup>, que corresponde a una reducción del 9.7%.

Zona 06, perteneciente al municipio Miquihuana en el estado de Tamaulipas, se trabaja la carta topográfica F14A28 para los análisis.



Figura 70.- Ubicación de la zona de estudio 06 (Google Earth Pro)

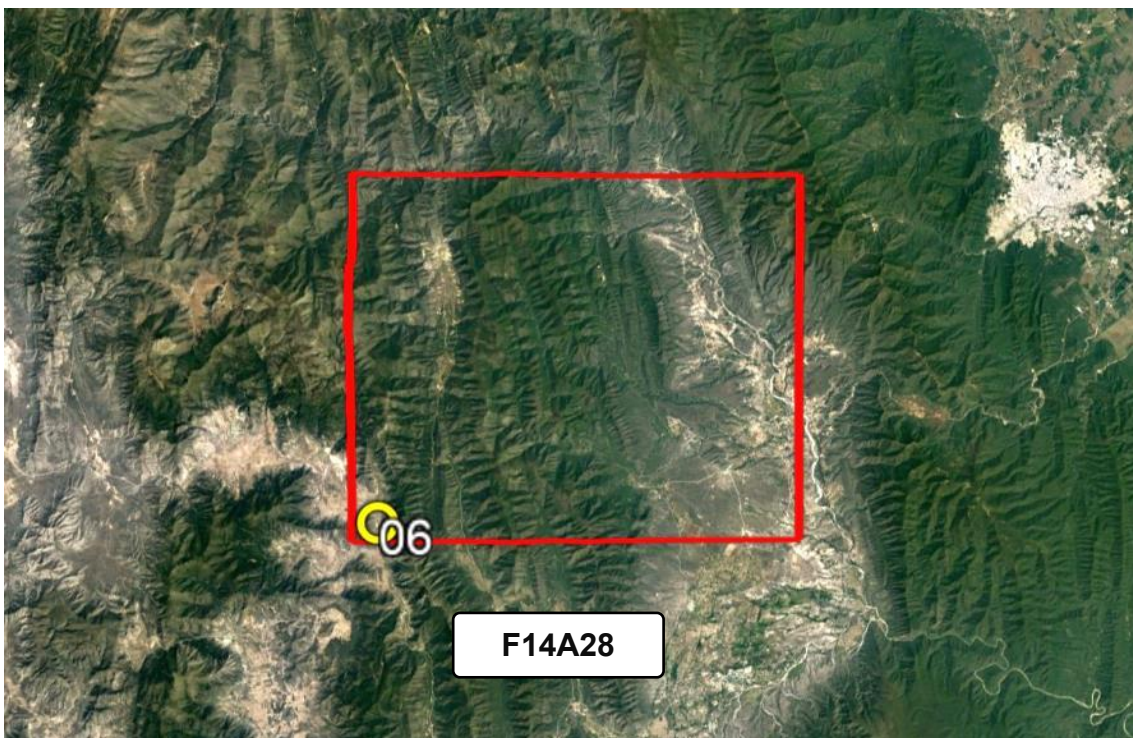


Figura 71.- Carta topográfica de las zonas de estudio 06 (Google Earth Pro)



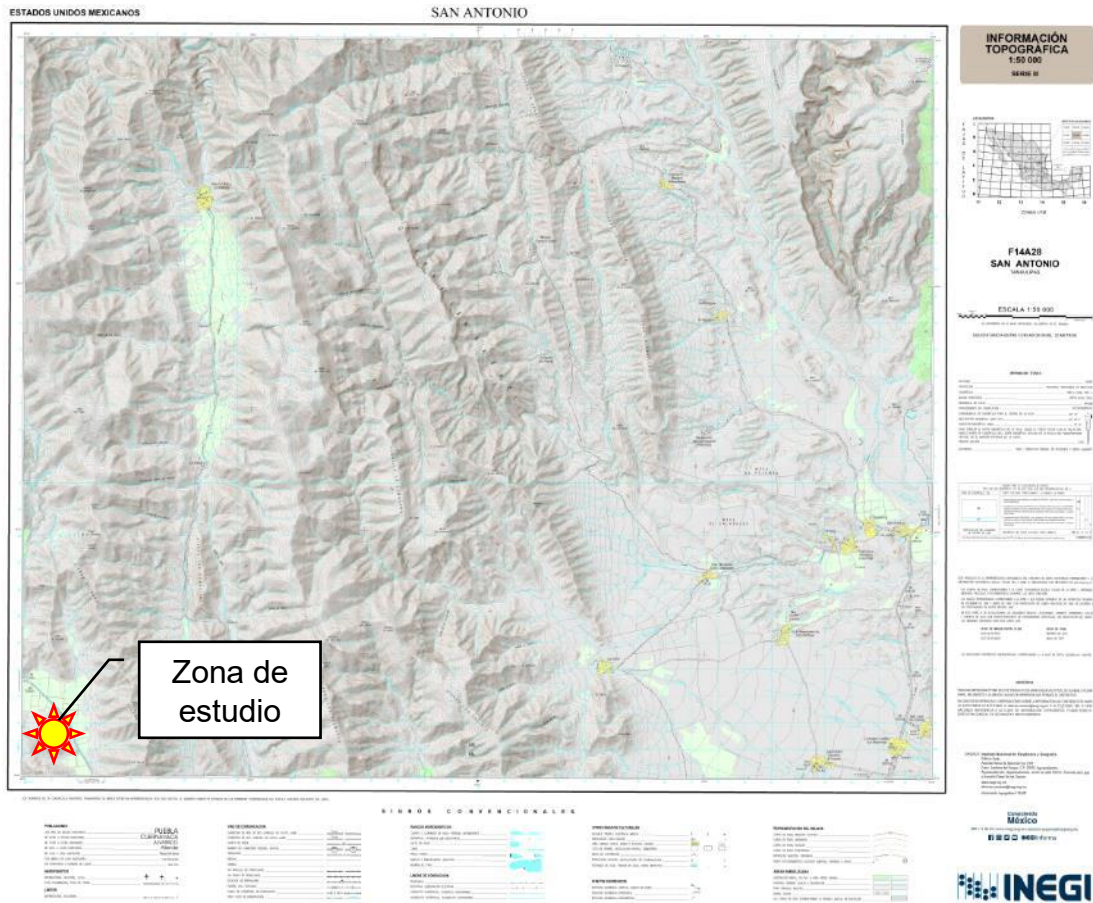


Figura 72.- Carta topográfica F14A28

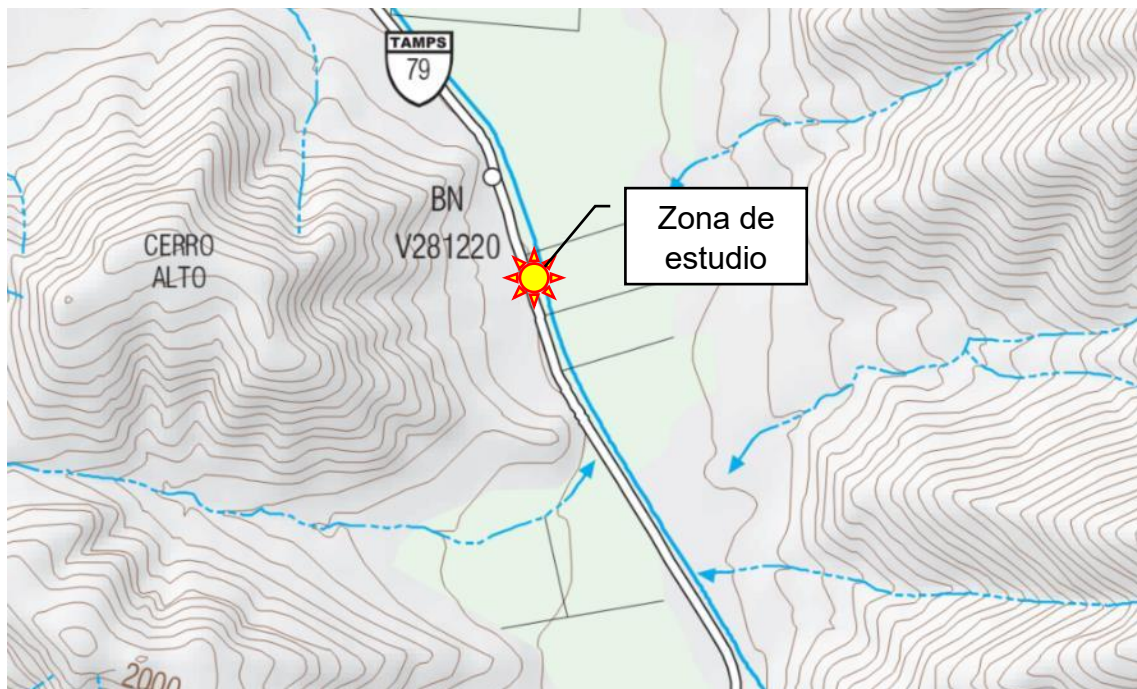


Figura 73.- Ubicación de la zona de estudios sobre carta topográfica

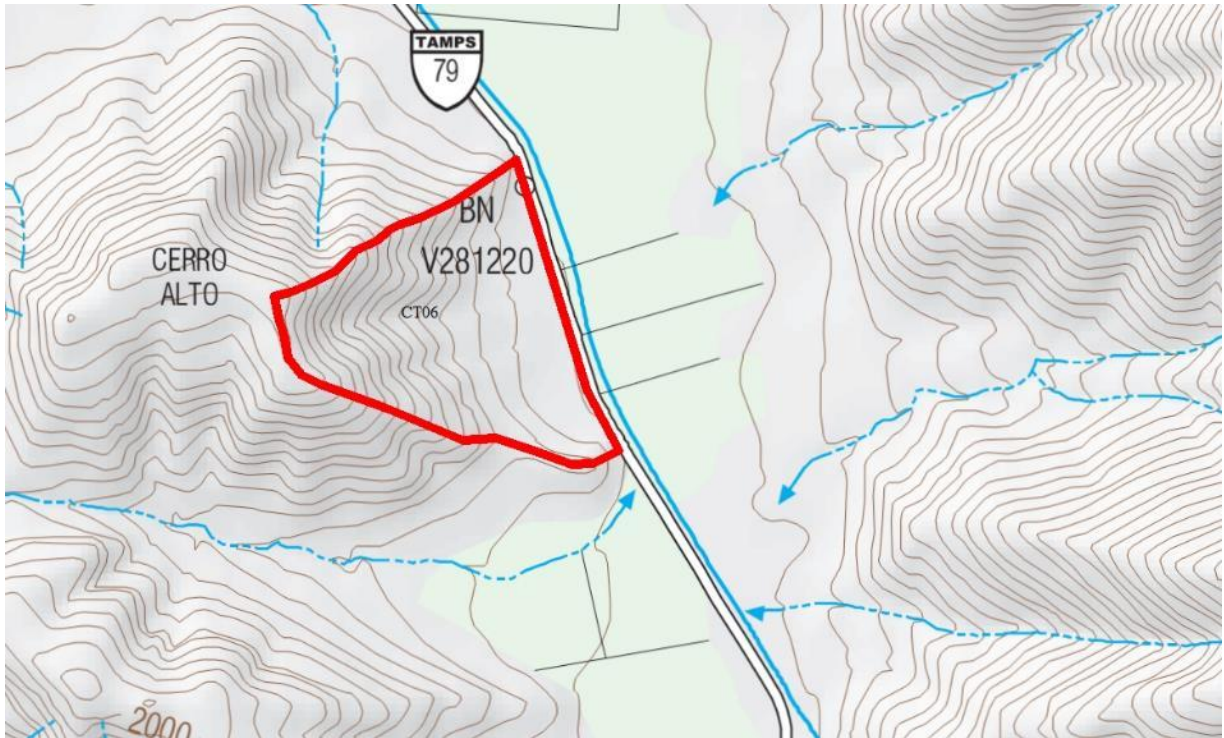


Figura 74.- trazo tradicional de la cuenca 06

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.5249 km<sup>2</sup>

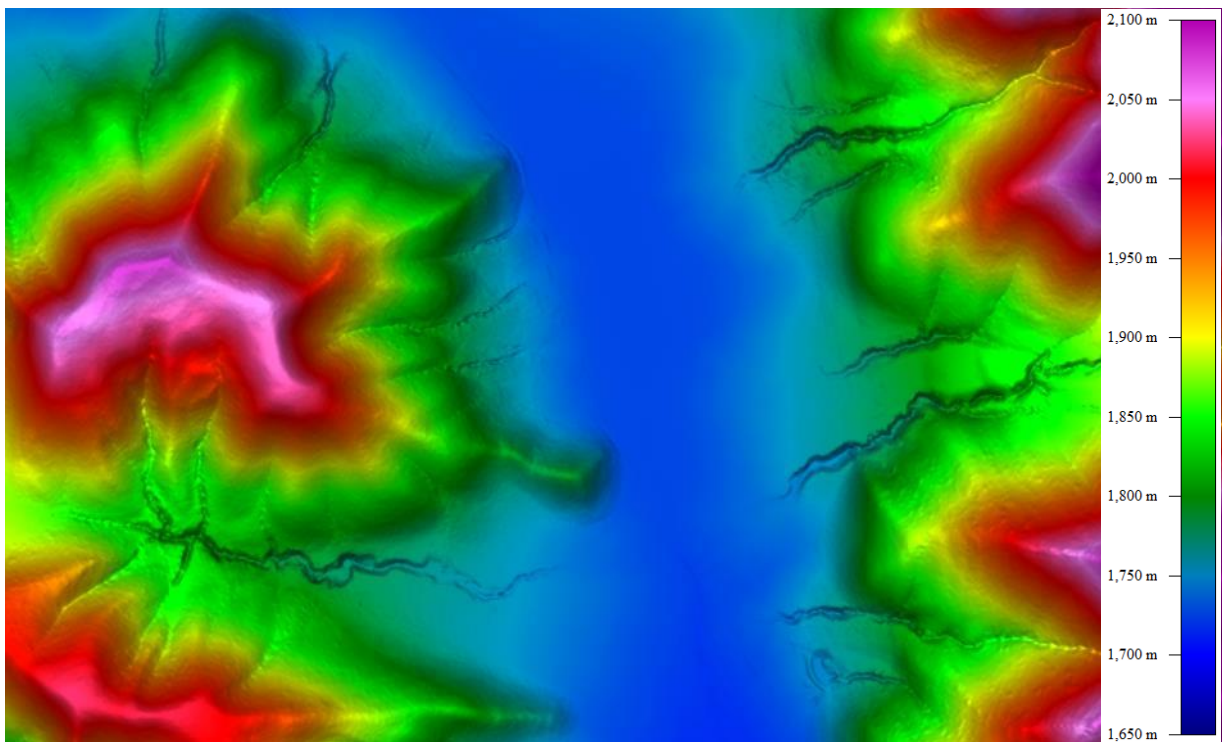


Figura 75.- Vista general del modelo de elevaciones

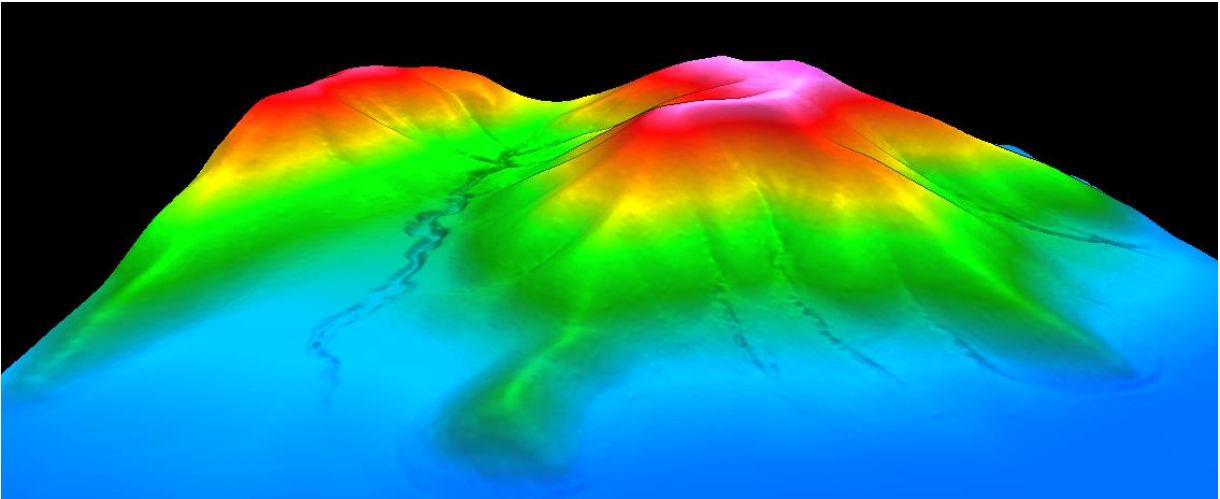


Figura 76.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

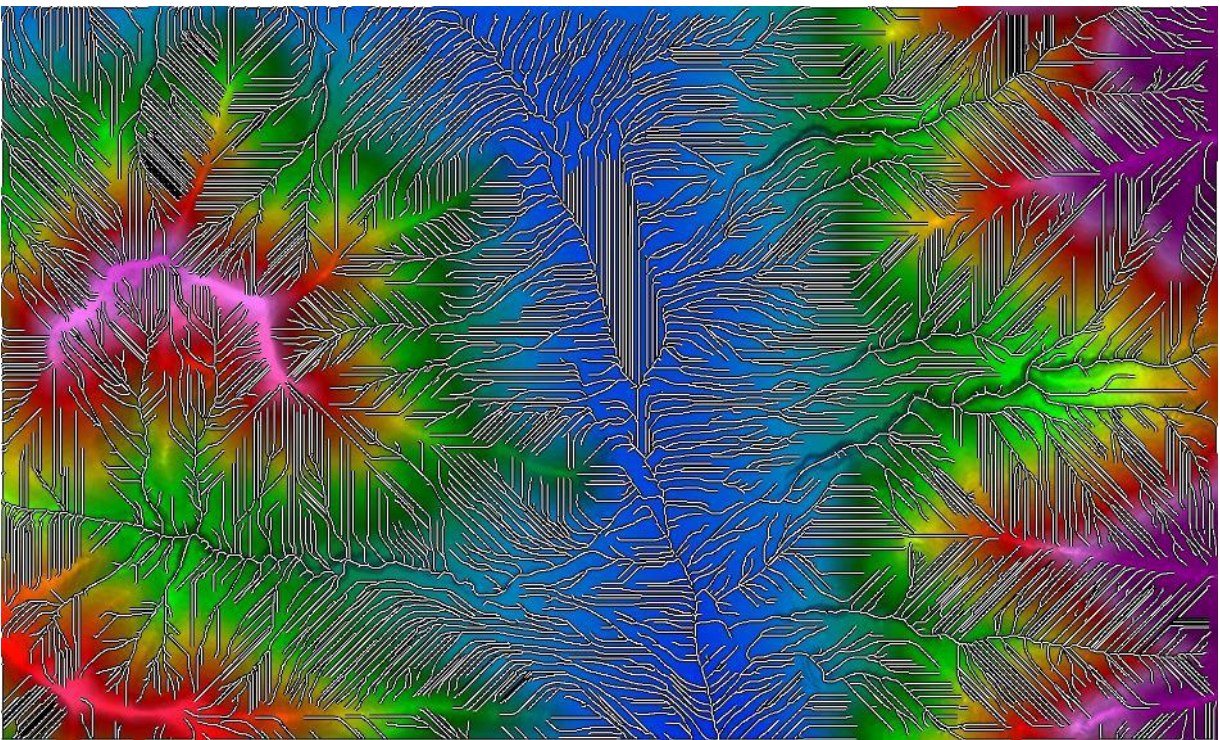


Figura 77.- Análisis de escurrimientos

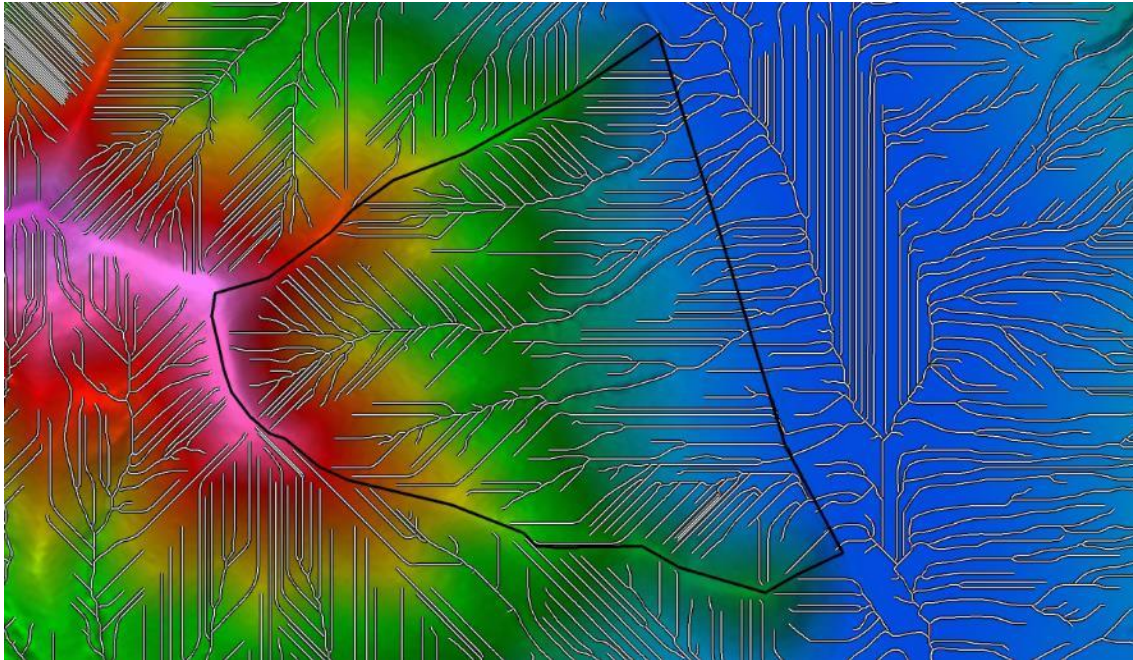


Figura 78.- trazado de cuenca

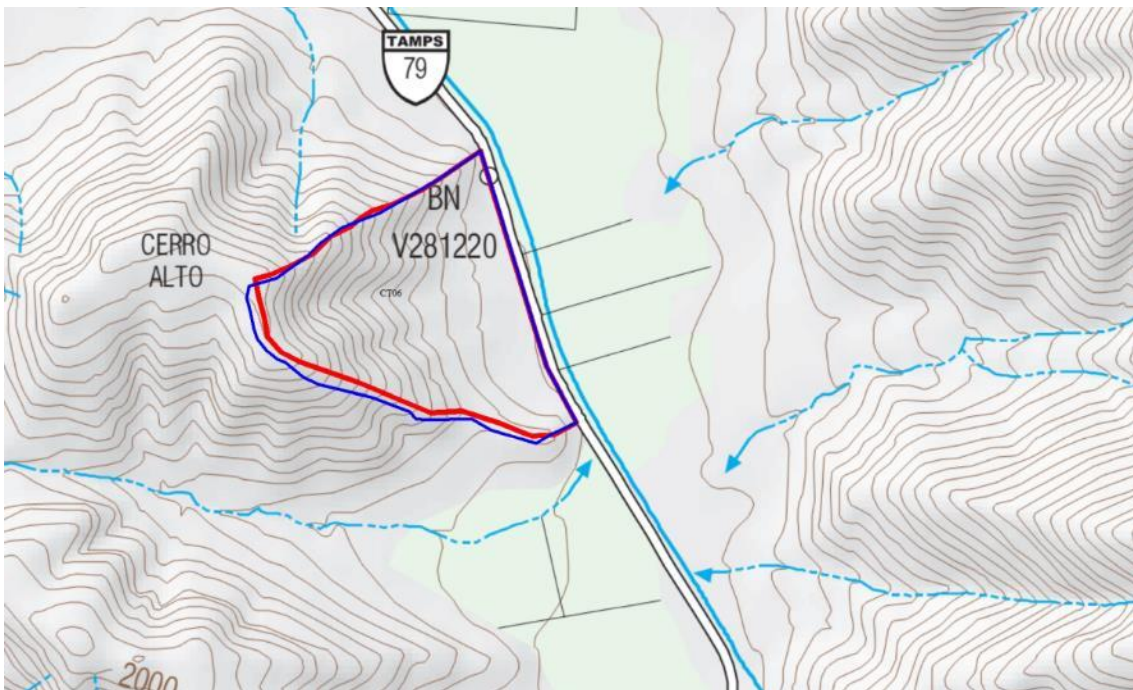


Figura 79.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 0.5249 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 0.5588 Km<sup>2</sup>, que corresponde a un aumento del 6.5%.

Zona 07, perteneciente al municipio Canatlán en el estado de Durango, se trabaja la carta topográfica G13D61 para los análisis.



Figura 80.- Ubicación de la zona de estudio 07 (Google Earth Pro)

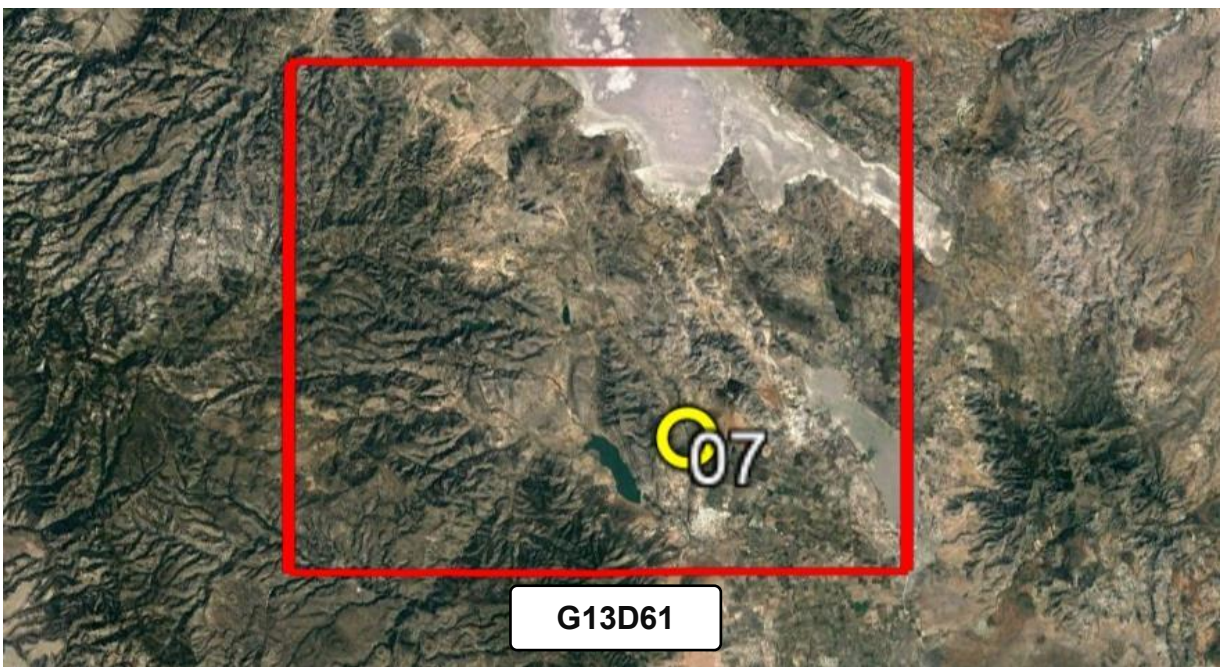


Figura 81.- Carta topográfica de las zonas de estudio 07 (Google Earth Pro)



Figura 82.- Carta topográfica G13D61



Figura 83.- Ubicación de la zona de estudios sobre carta topográfica

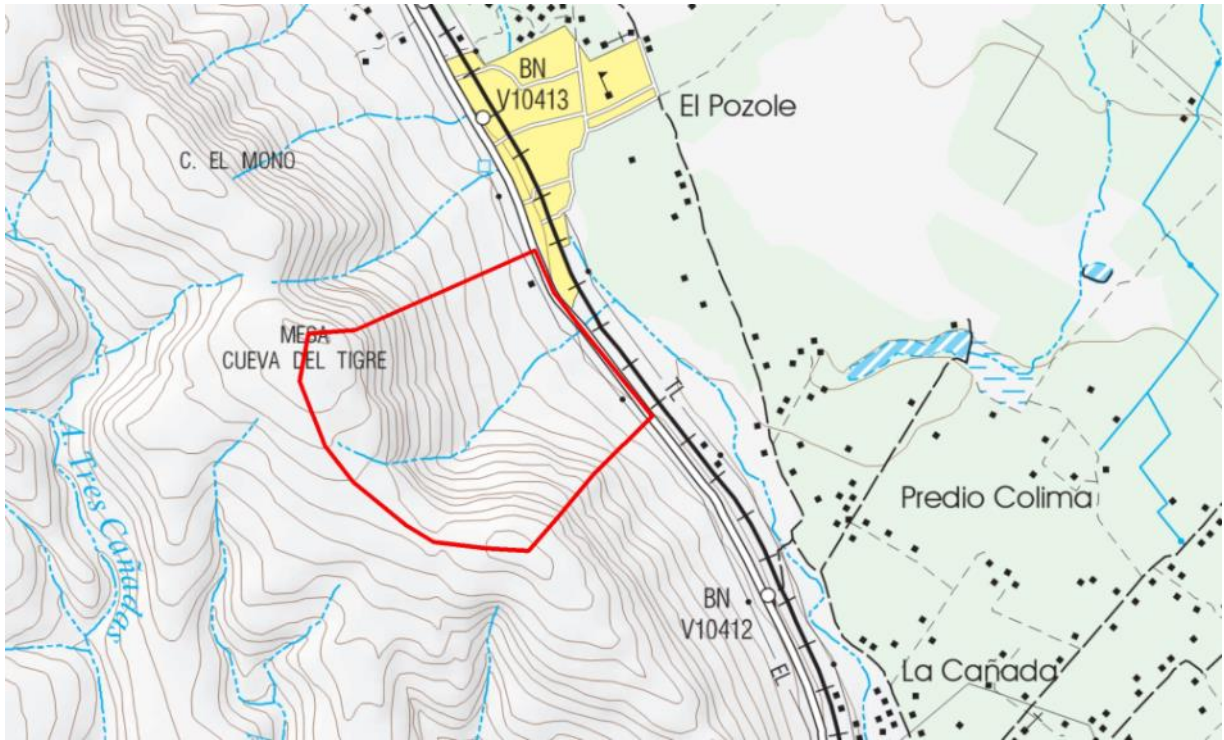


Figura 84.- trazo tradicional de la cuenca 07

Área de la cuenca (trazo tradicional): 1.0859 km<sup>2</sup>

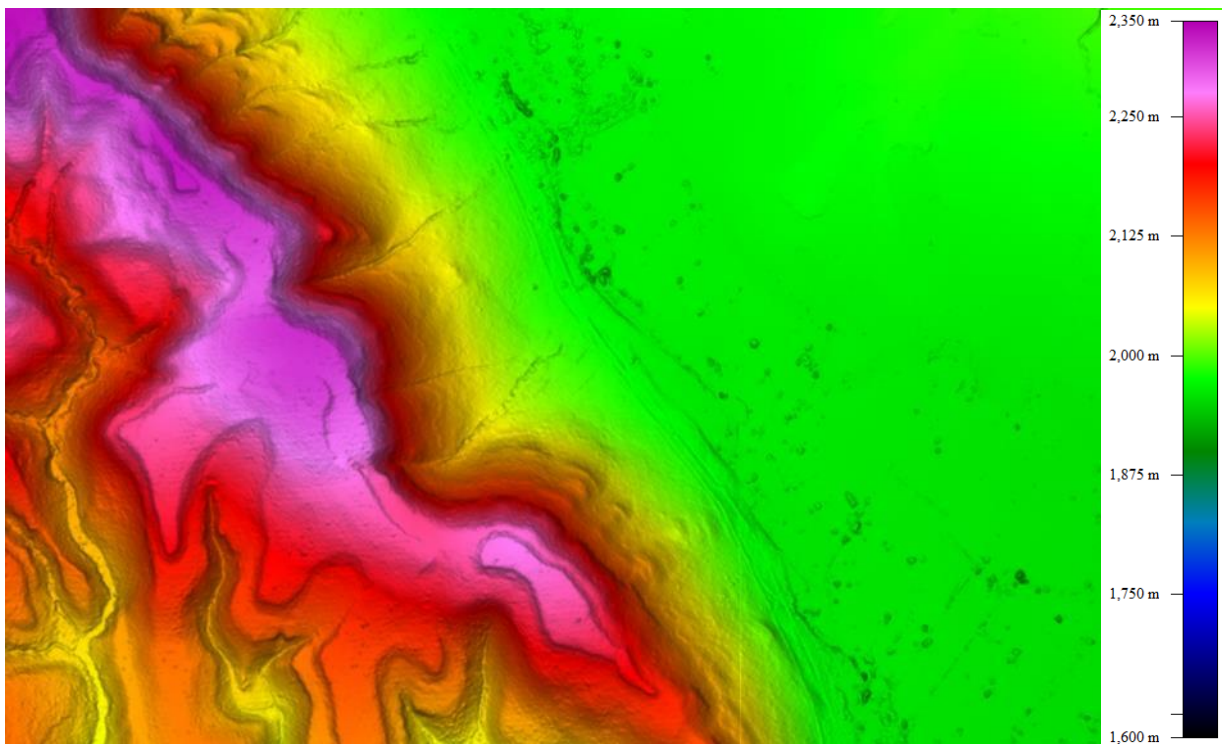


Figura 85.- Vista general del modelo de elevaciones

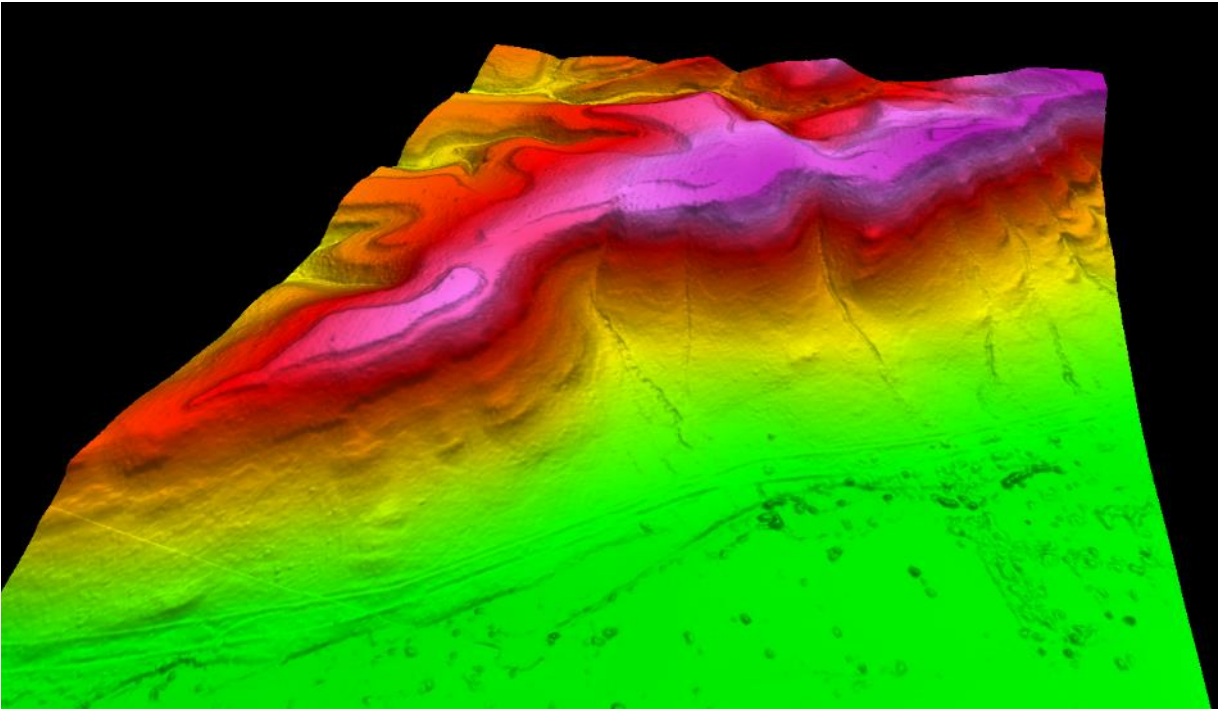


Figura 86.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

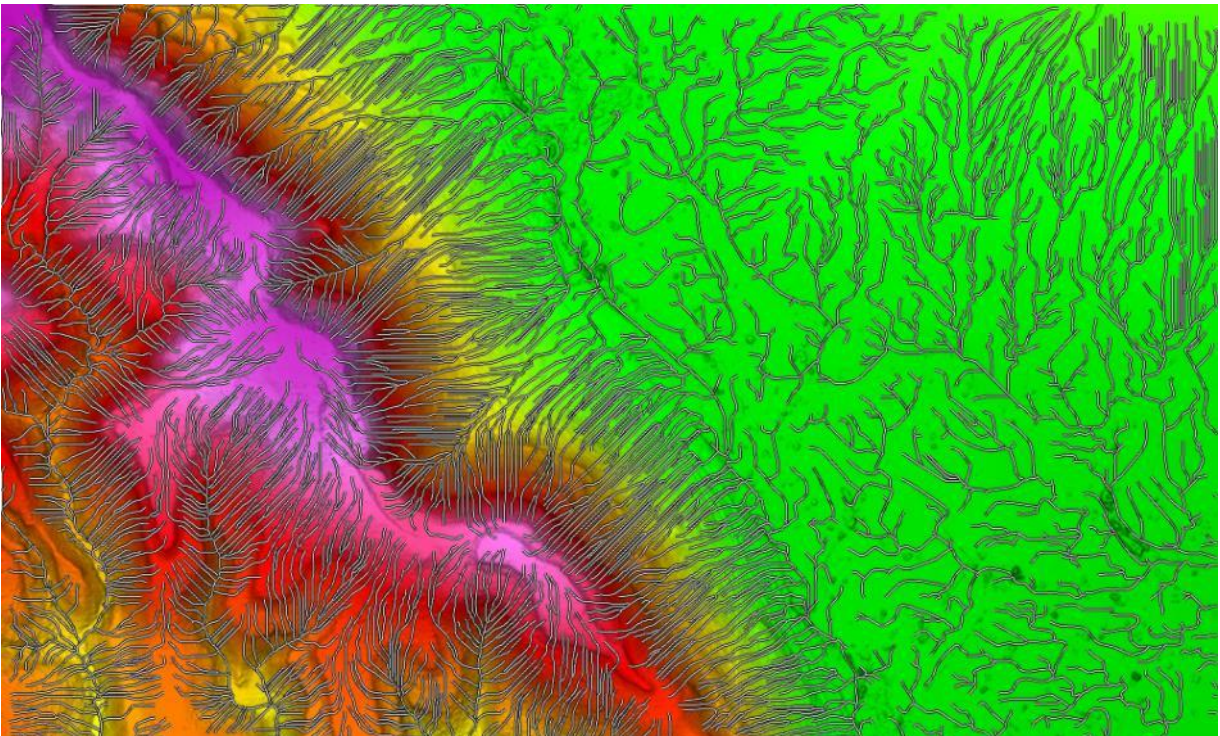


Figura 87.- Análisis de escurrimientos



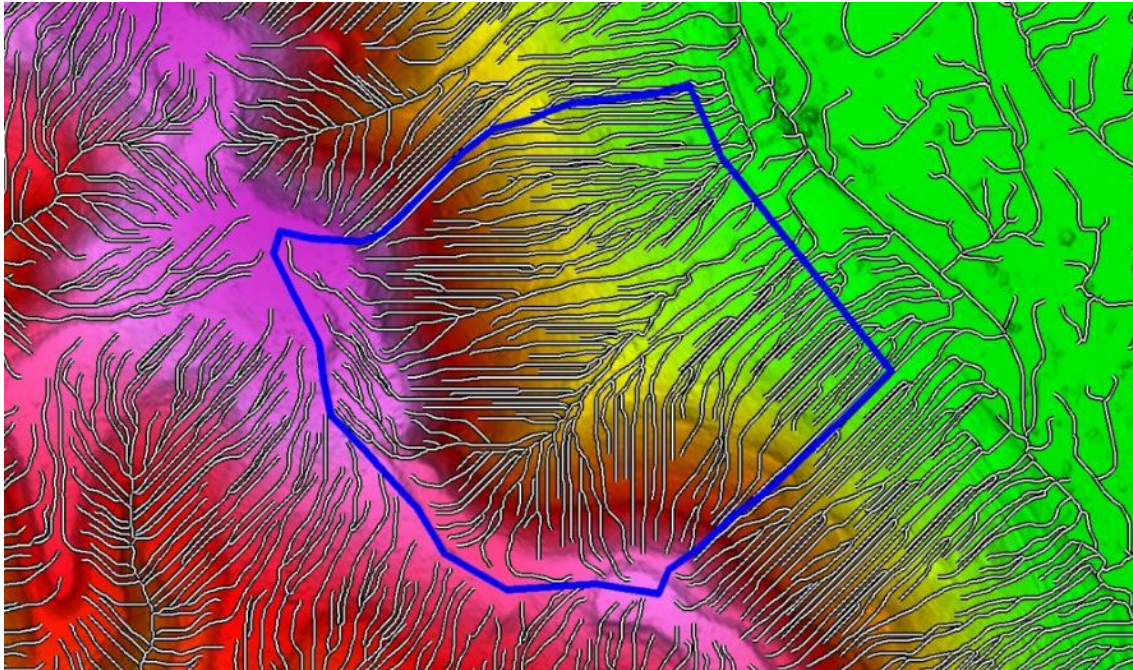


Figura 88.- trazado de cuenca

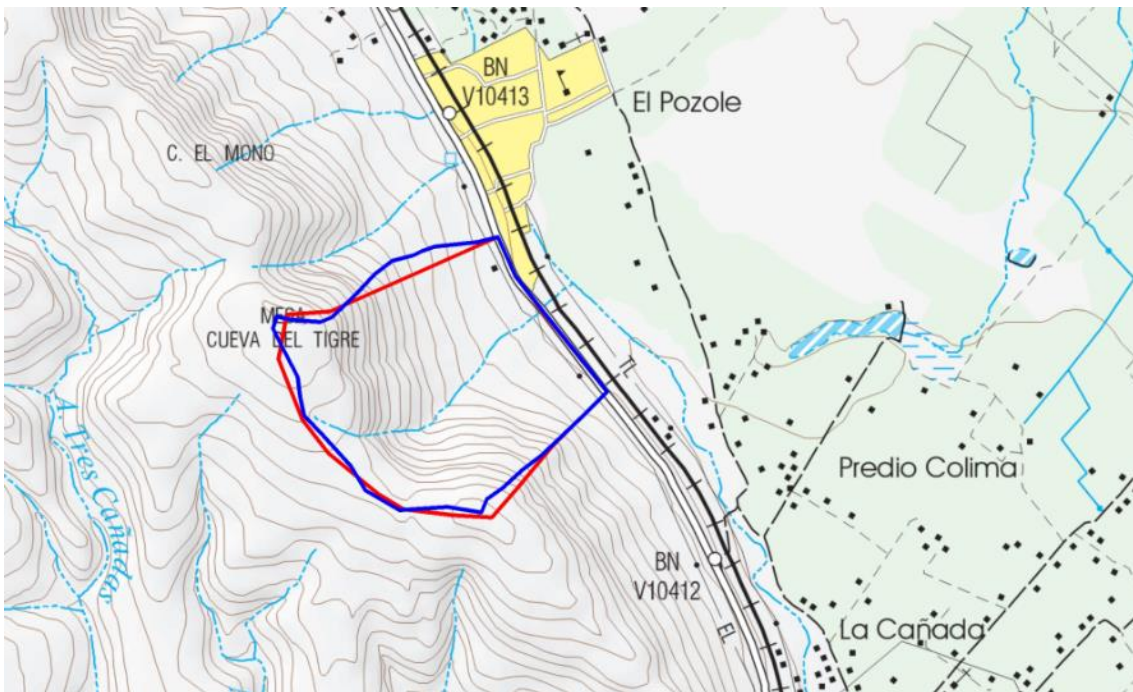


Figura 89.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 1.0859 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 1.0816 Km<sup>2</sup>, que corresponde a una reducción del 2.1%.

Zona 08, perteneciente al municipio Nadadores en el estado de Coahuila, se trabaja la carta topográfica G14A41 para los análisis.

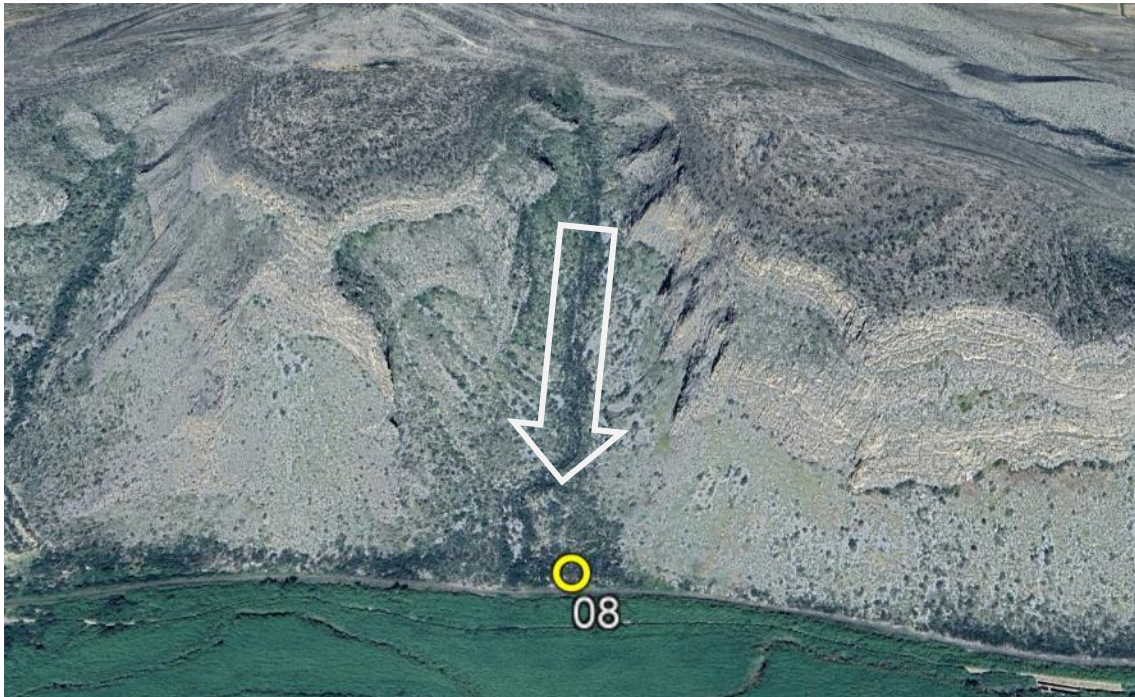


Figura 90.- Ubicación de la zona de estudio 08 (Google Earth Pro)

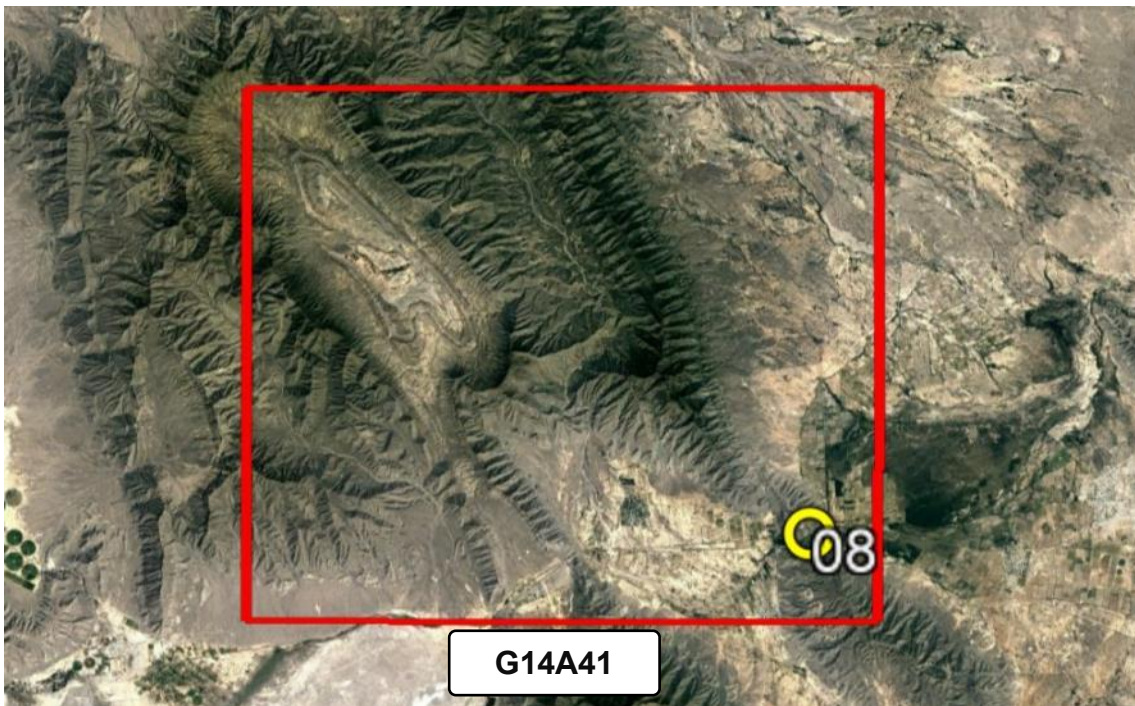
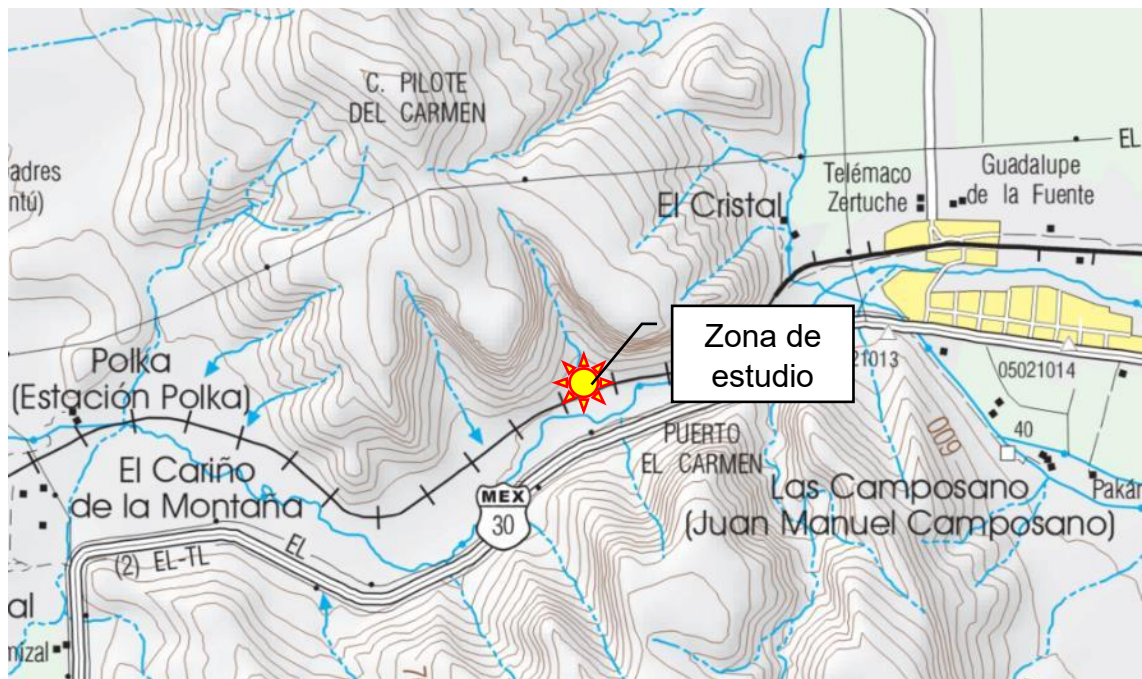


Figura 91.- Carta topográfica de las zonas de estudio 08 (Google Earth Pro)



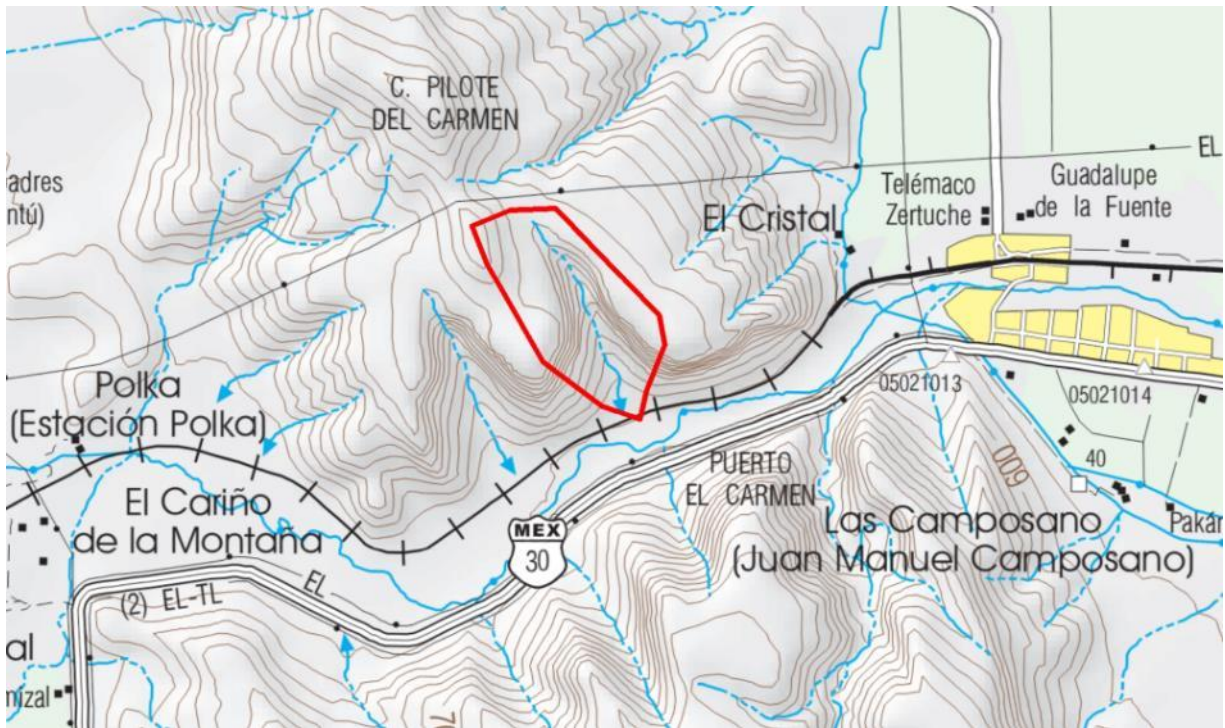


Figura 94.- trazo tradicional de la cuenca 08

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.2402 km<sup>2</sup>

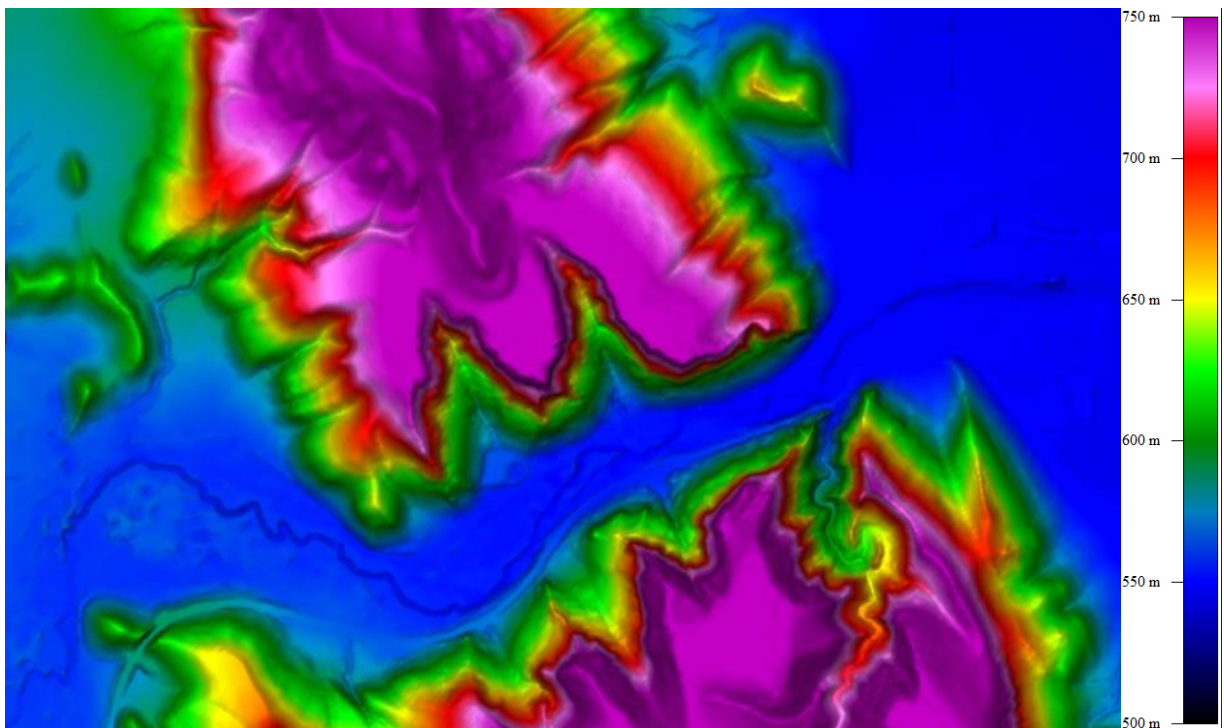


Figura 95.- Vista general del modelo de elevaciones

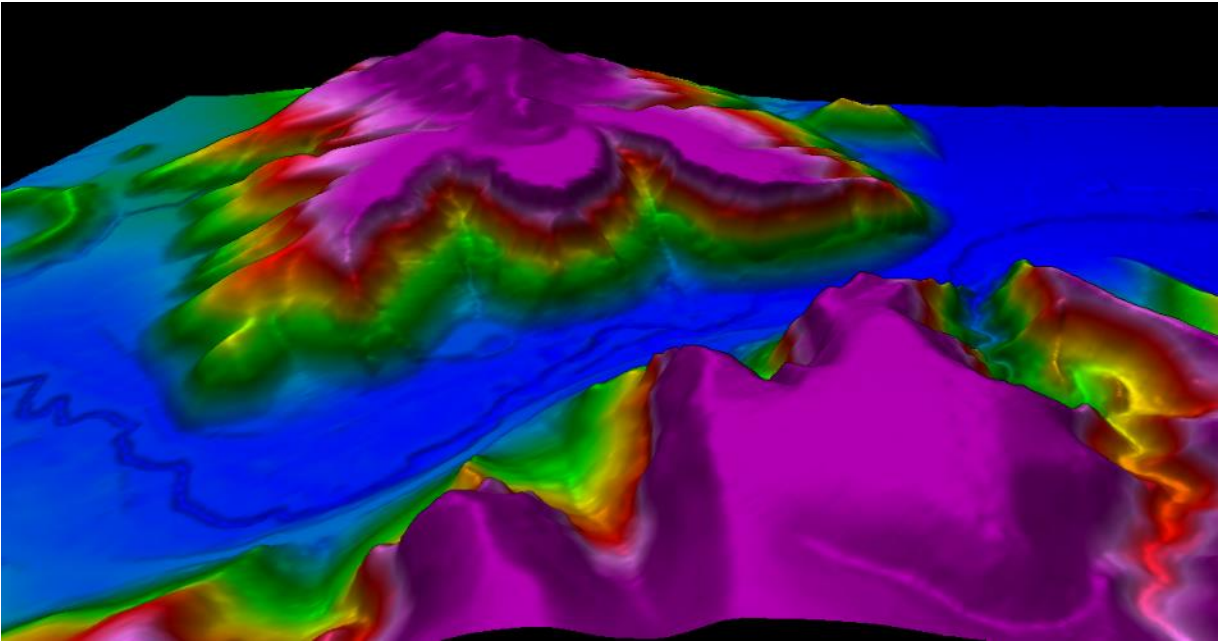


Figura 96.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

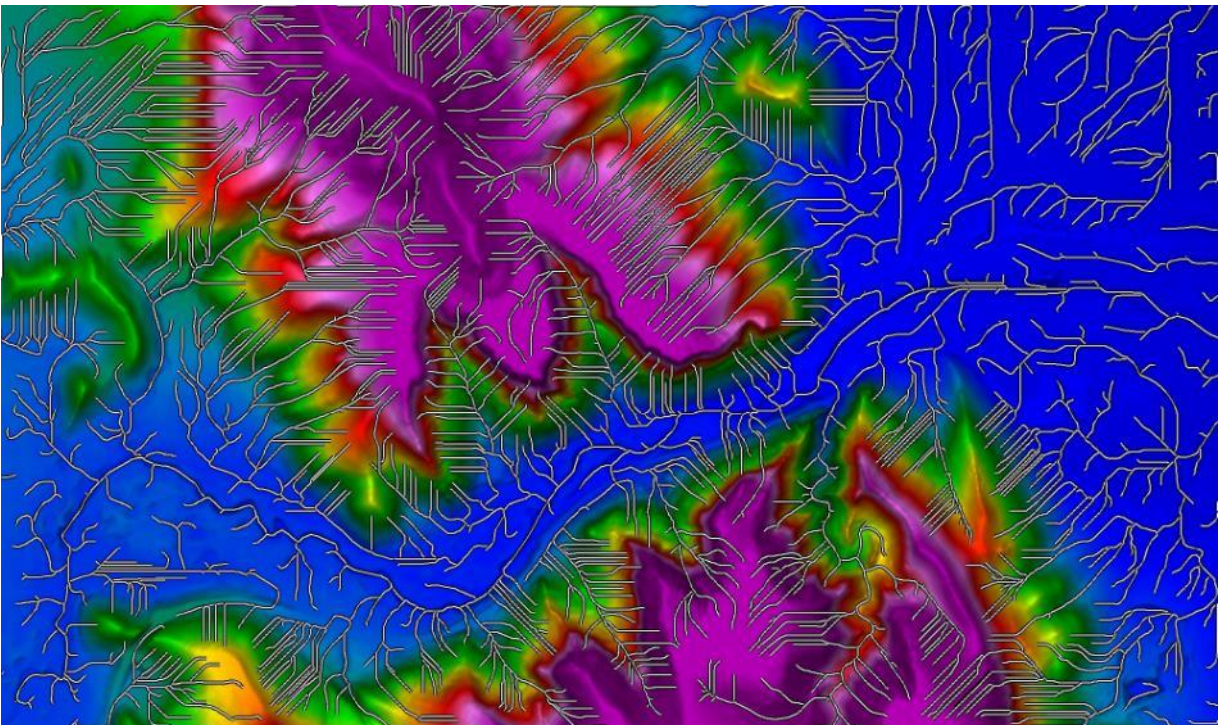


Figura 97.- Análisis de escurrimientos

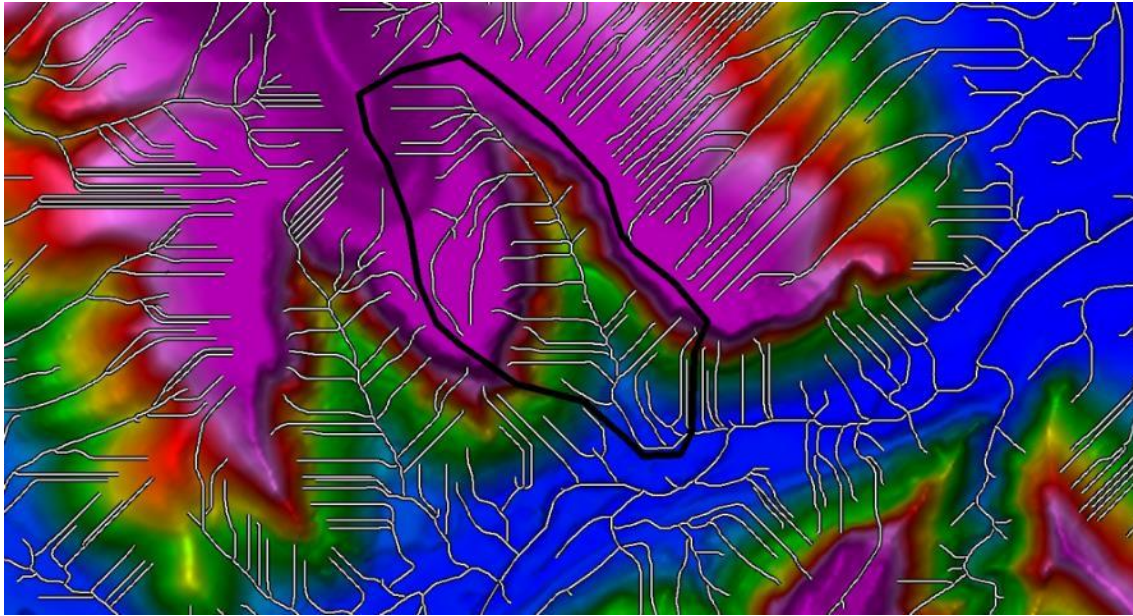


Figura 98.- trazado de cuenca

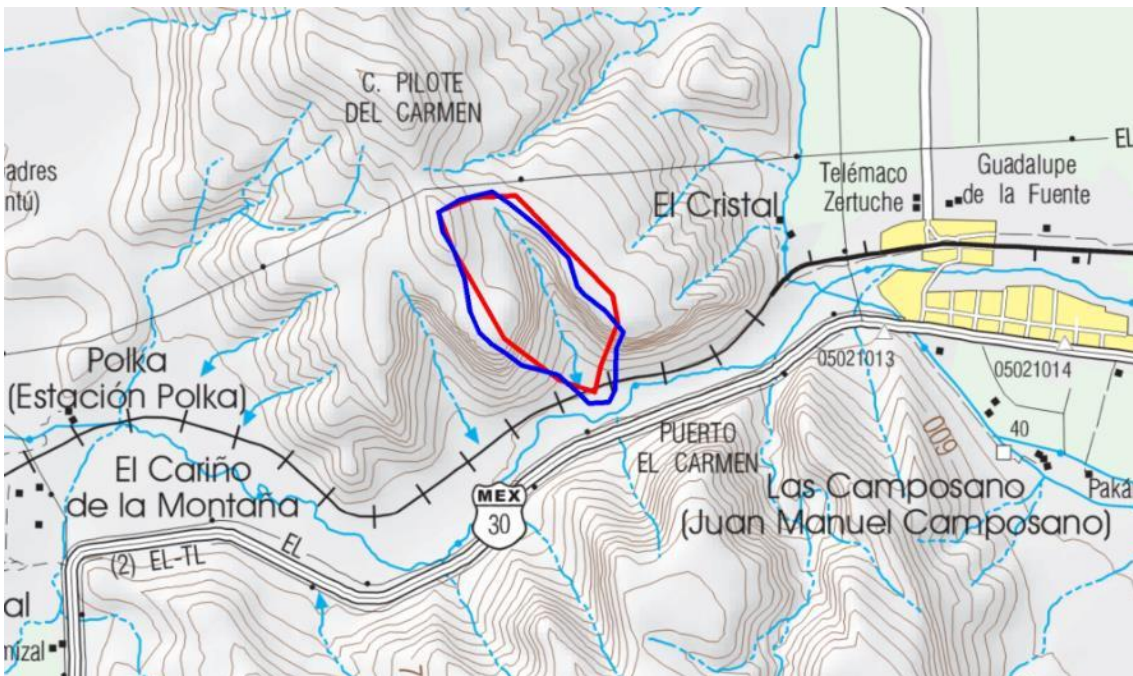


Figura 99.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 0.2402 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 0.2560 Km<sup>2</sup>, que corresponde a un aumento del 6.6%.

Zona 09, perteneciente al municipio Temósachic en el estado de Chihuahua, se trabaja la carta topográfica H12D78 para los análisis.

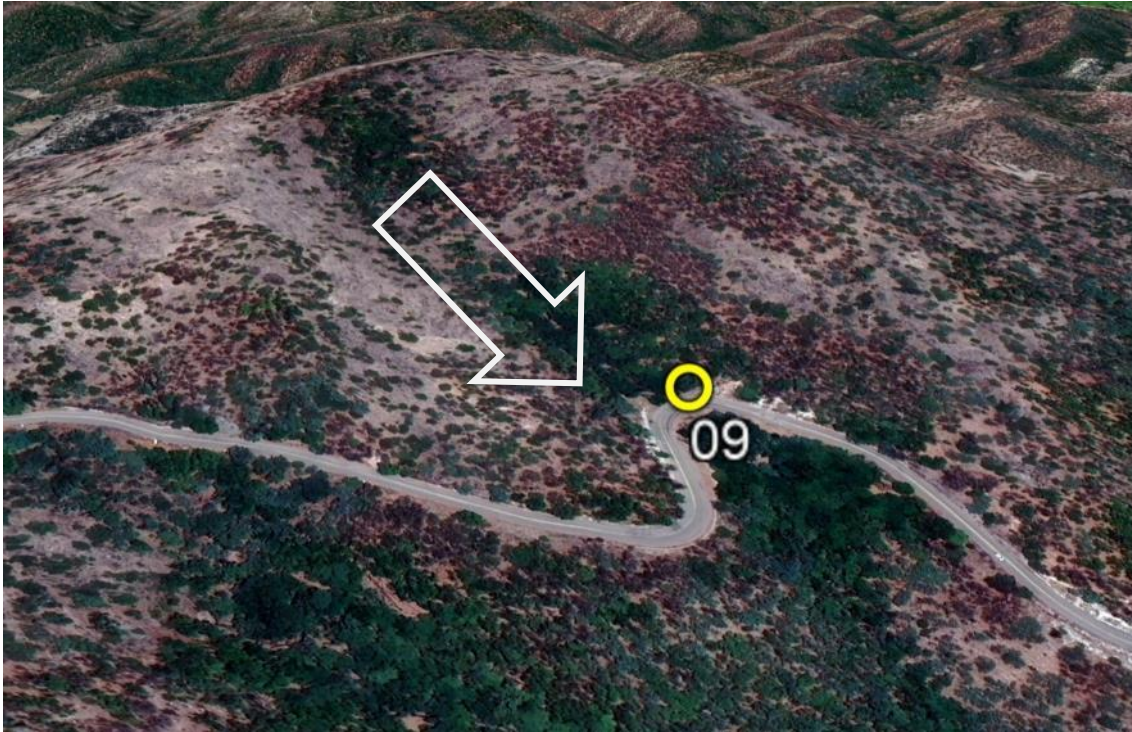


Figura 100.- Ubicación de la zona de estudio 09 (Google Earth Pro)

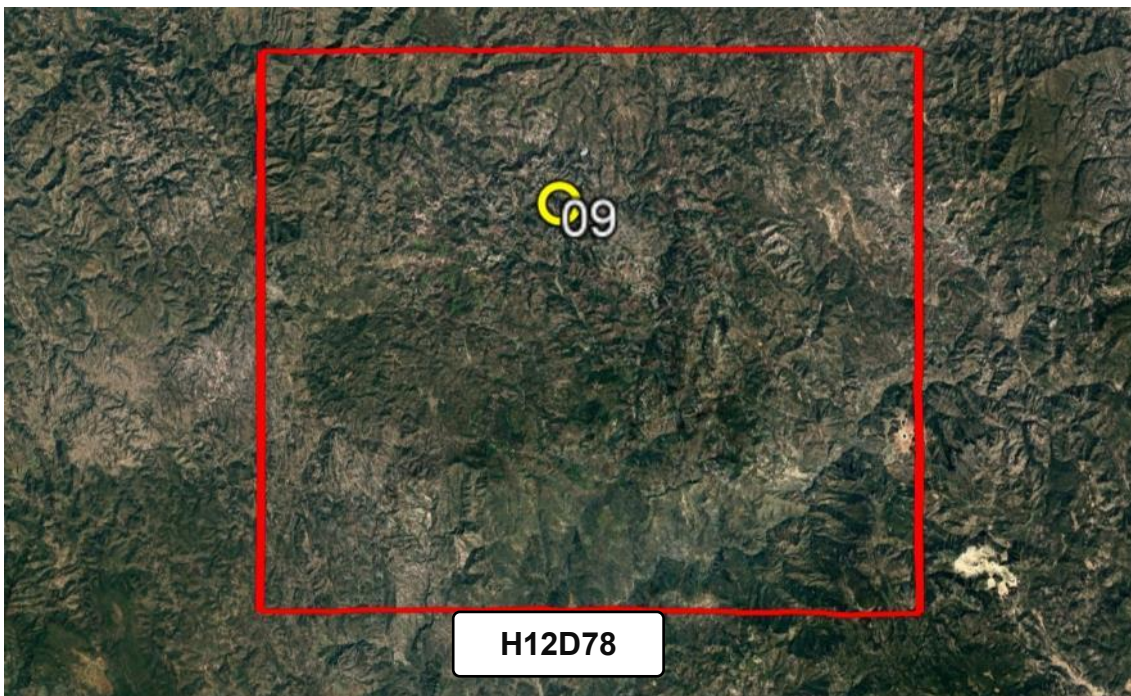
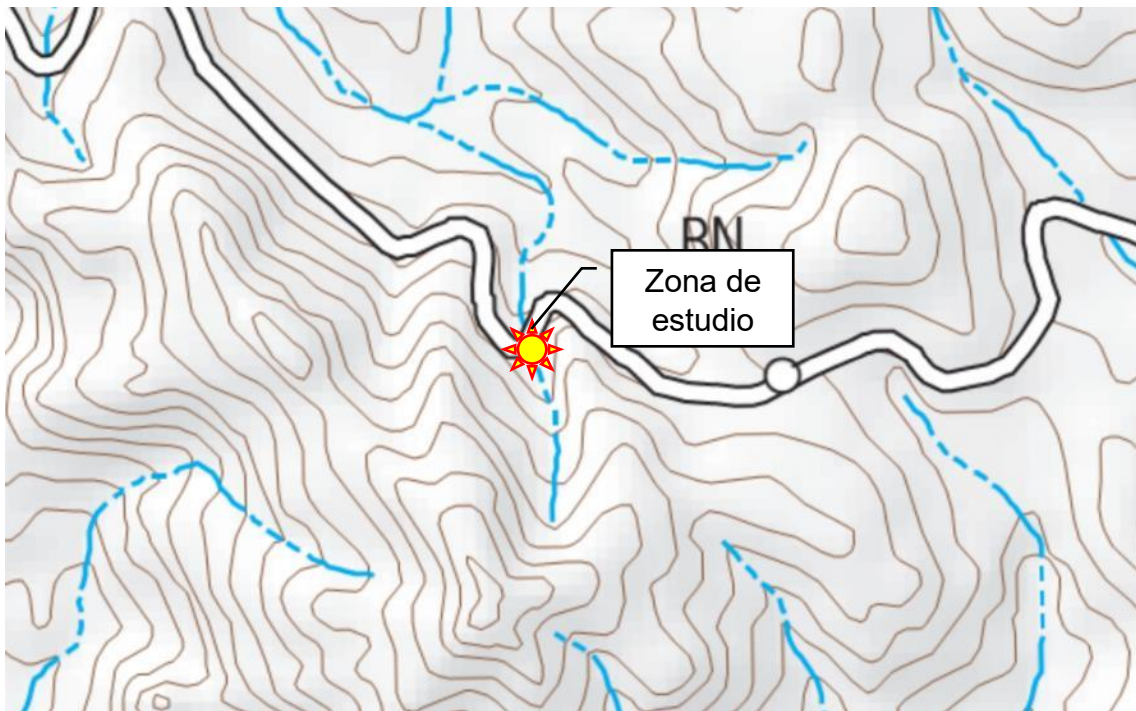
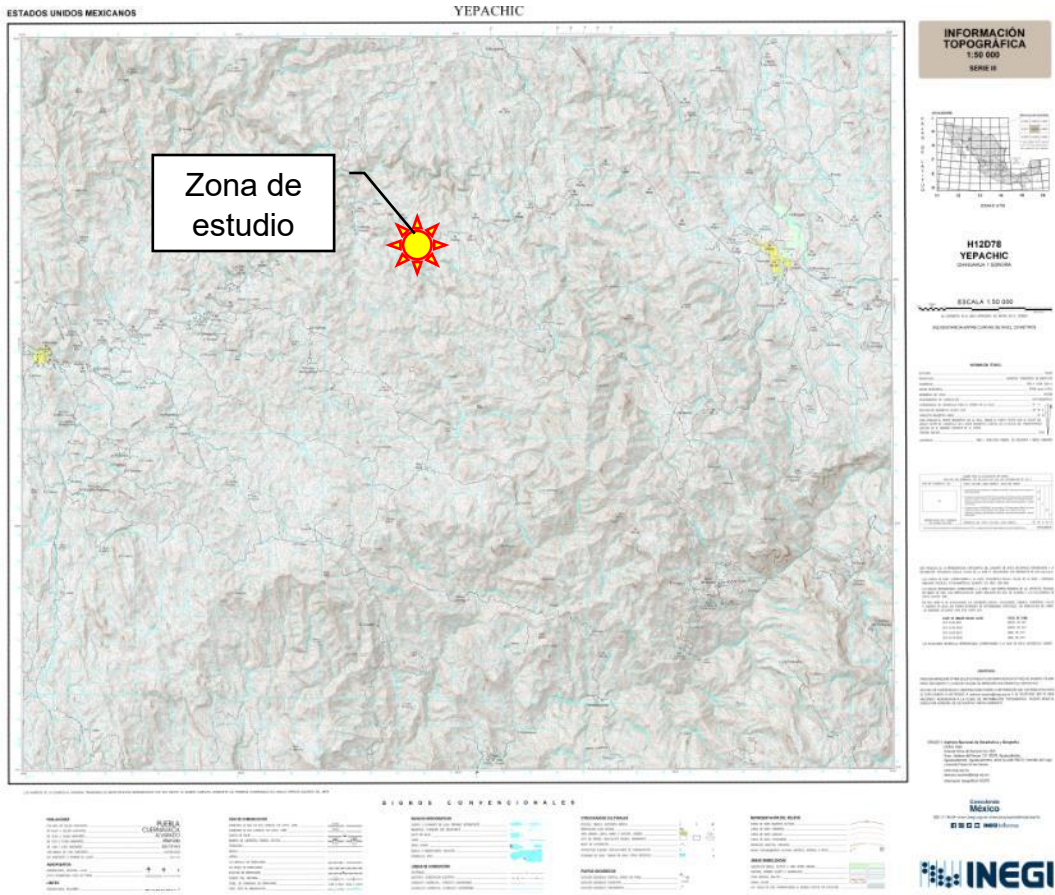


Figura 101.- Carta topográfica de las zonas de estudio 09 (Google Earth Pro)





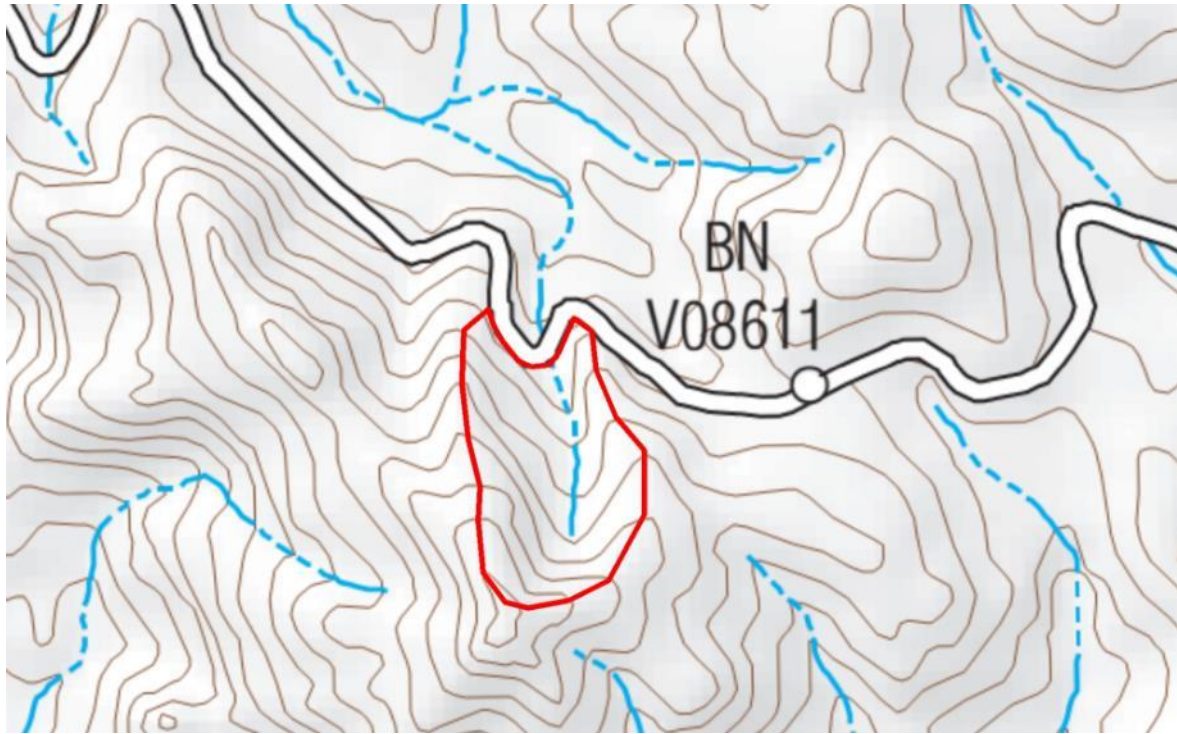


Figura 104.- trazo tradicional de la cuenca 09

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.1008 km<sup>2</sup>

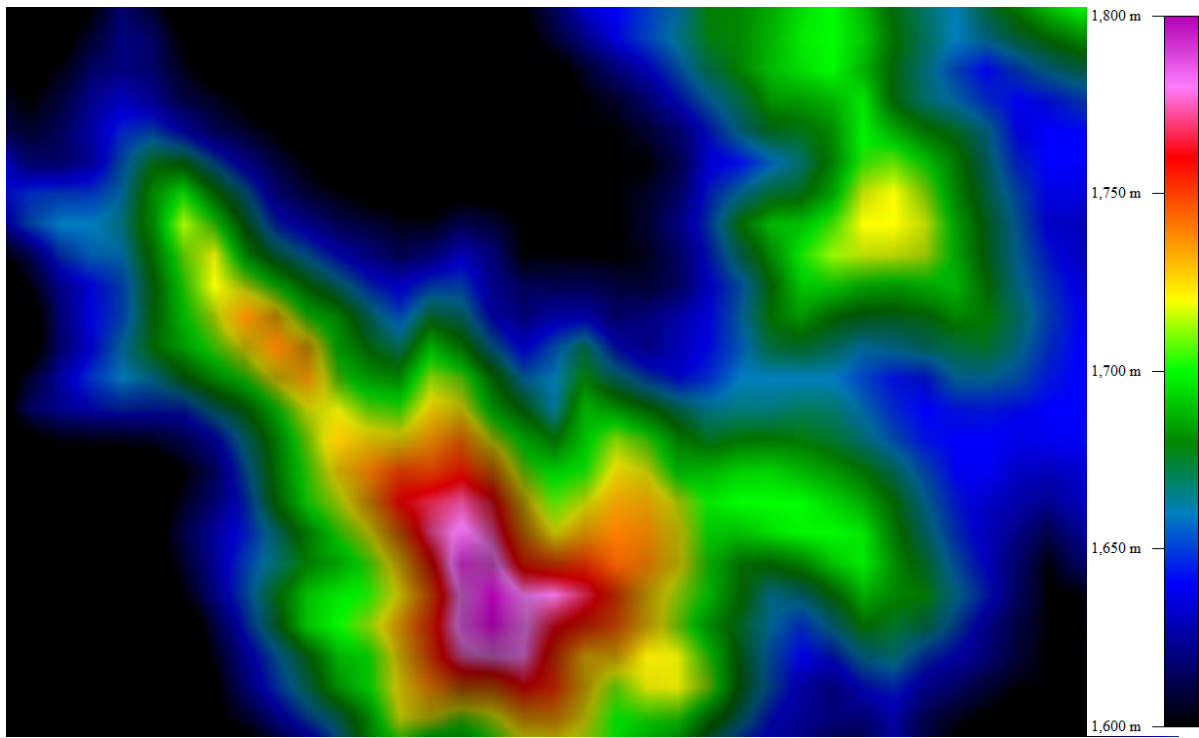


Figura 105.- Vista general del modelo de elevaciones

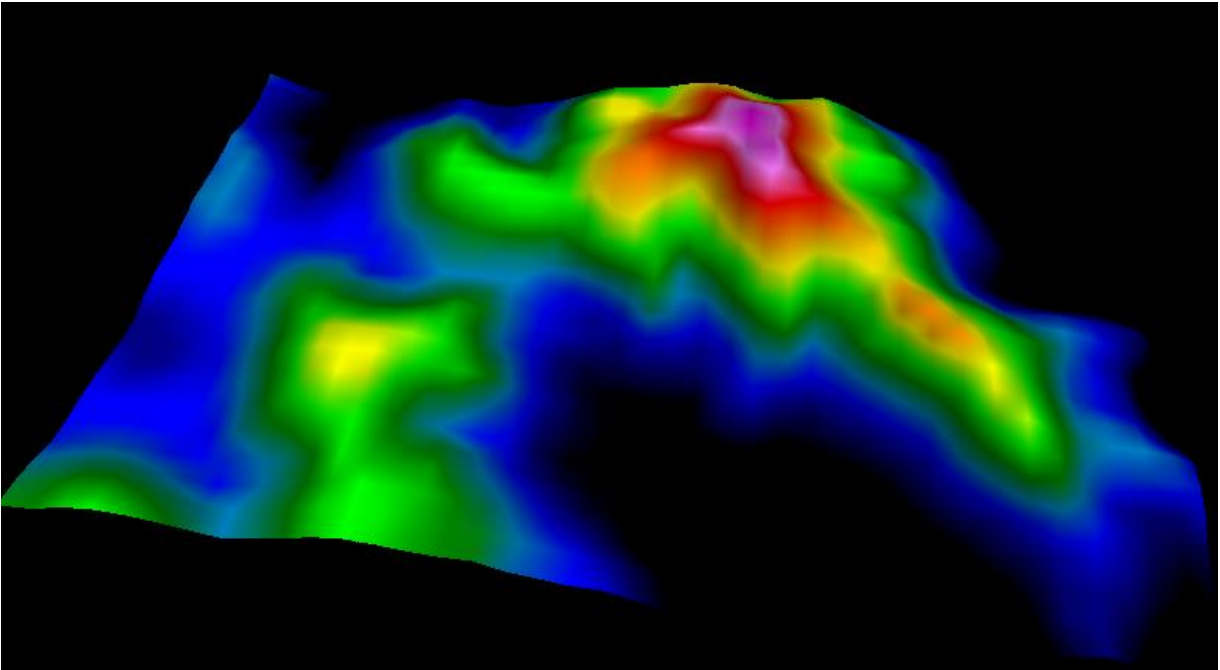


Figura 106.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

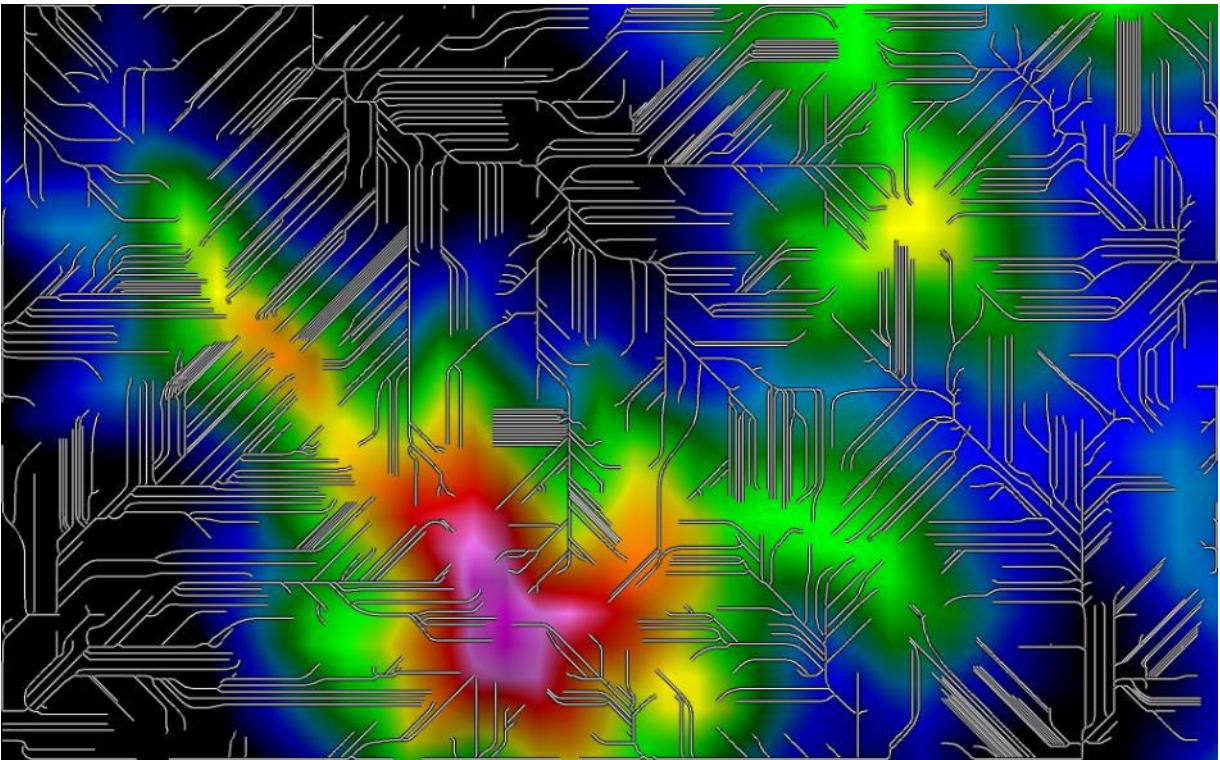


Figura 107.- Análisis de escurrimientos

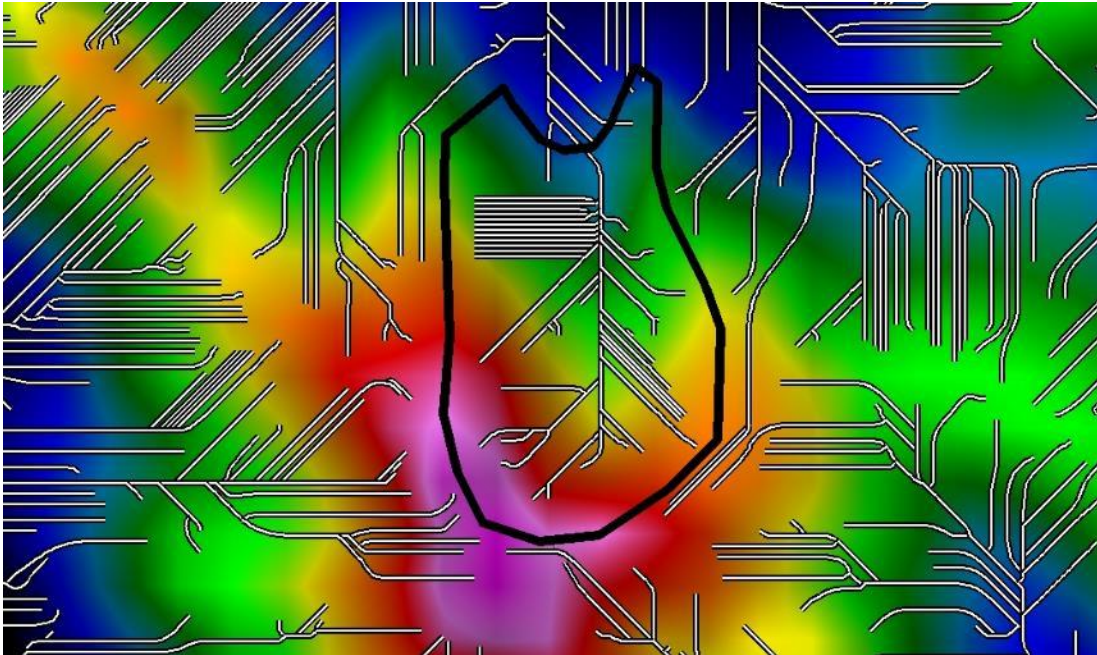


Figura 108.- trazado de cuenca

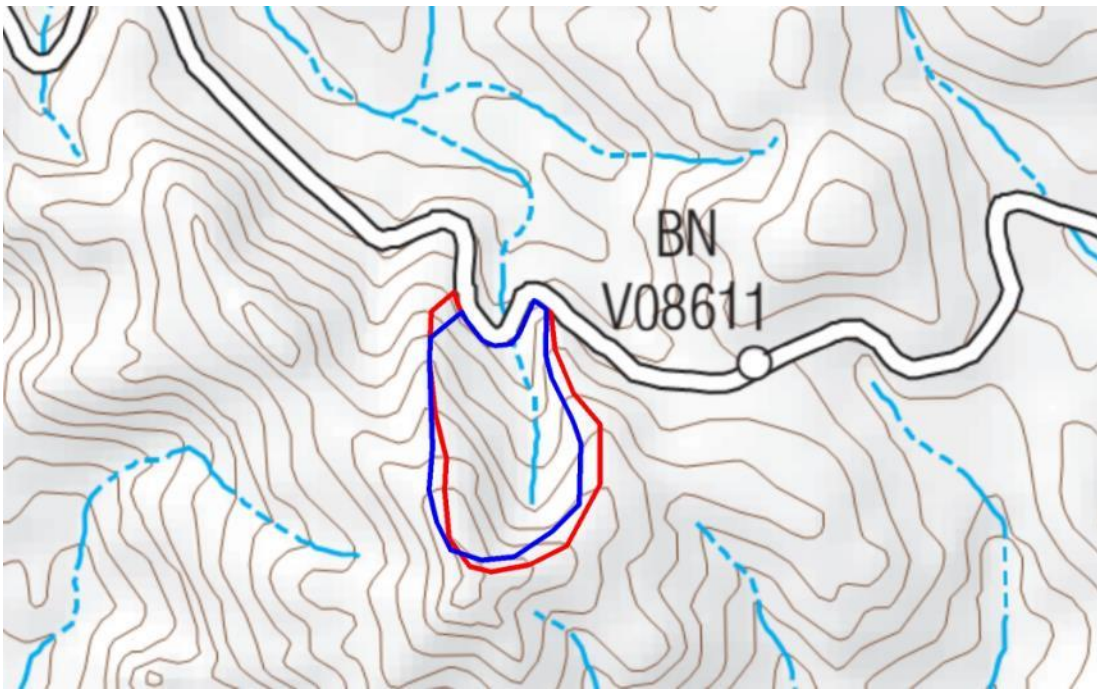


Figura 109.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 0.1008 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 0.0886 Km<sup>2</sup>, que corresponde a una reducción del 12.1%.

Zona 10, perteneciente al municipio Ensenada en el estado de Baja California, se trabaja la carta topográfica H11B11 para los análisis.



Figura 110.- Ubicación de la zona de estudio 10 (Google Earth Pro)



Figura 111.- Carta topográfica de las zonas de estudio 10 (Google Earth Pro)

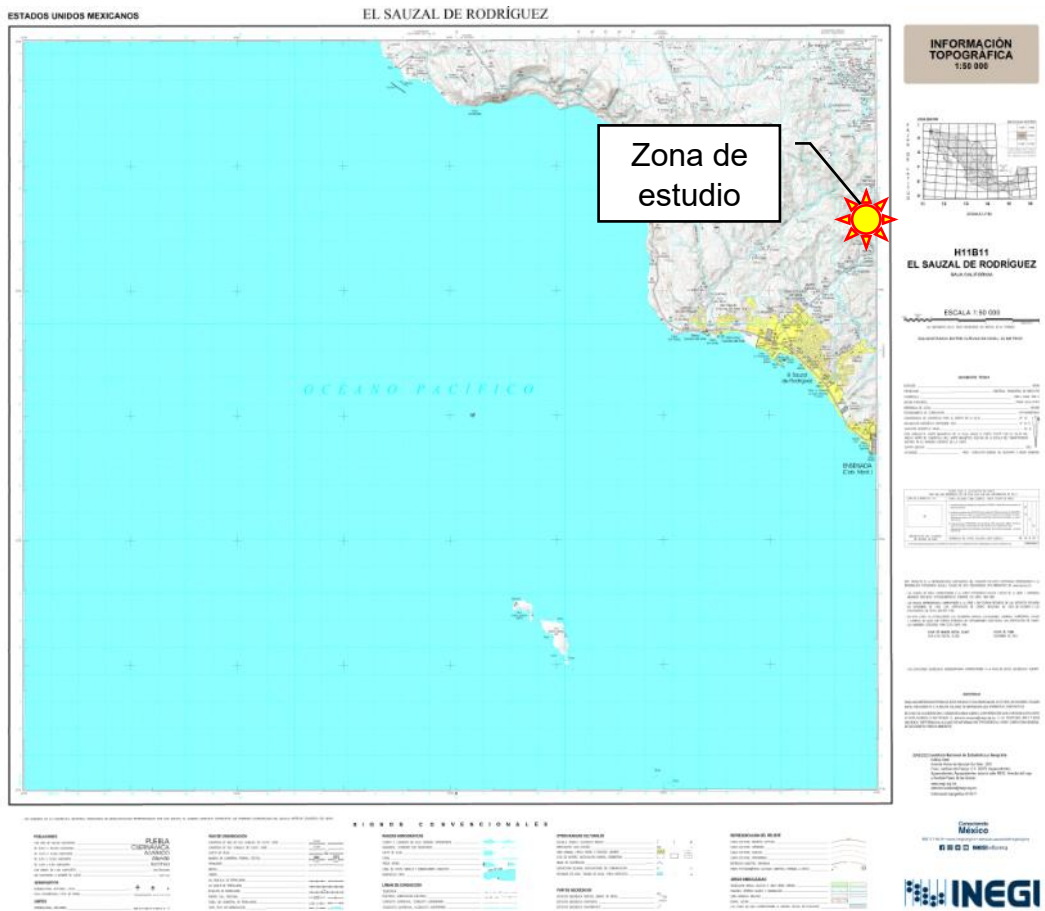




Figura 114.- trazo tradicional de la cuenca 10

Área de la cuenca (trazo tradicional): 0.1512 km<sup>2</sup>

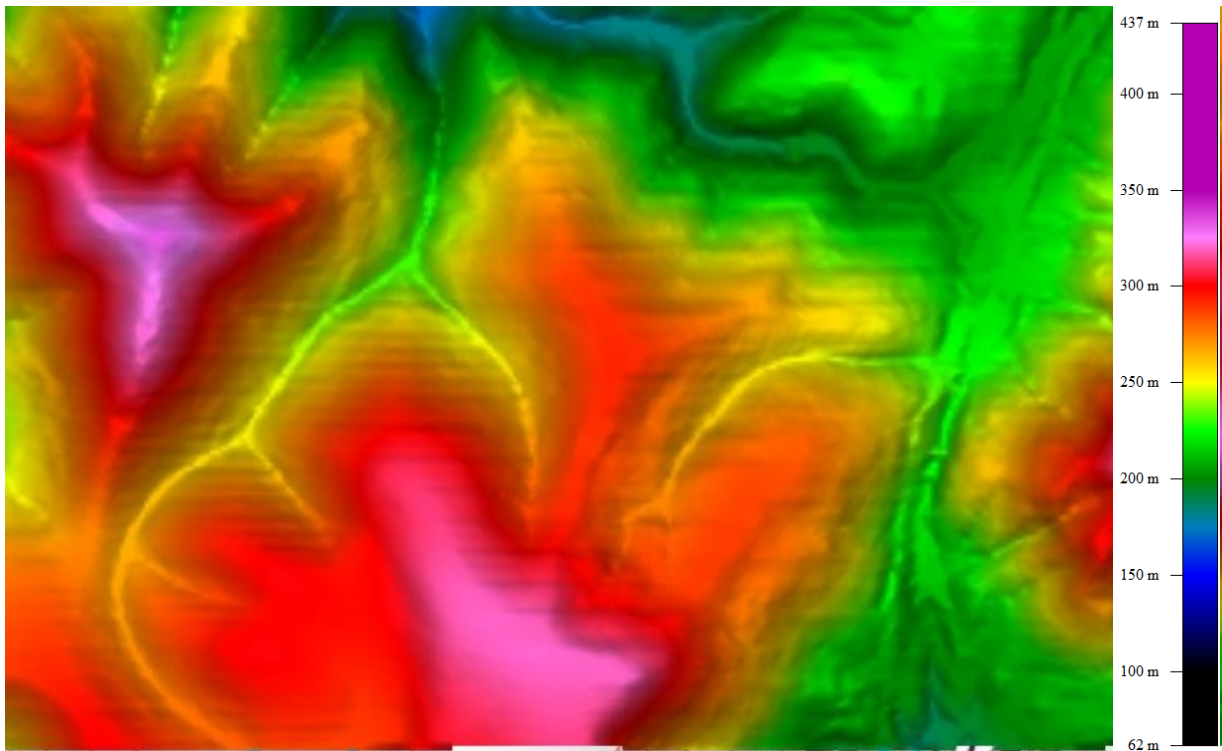


Figura 115.- Vista general del modelo de elevaciones

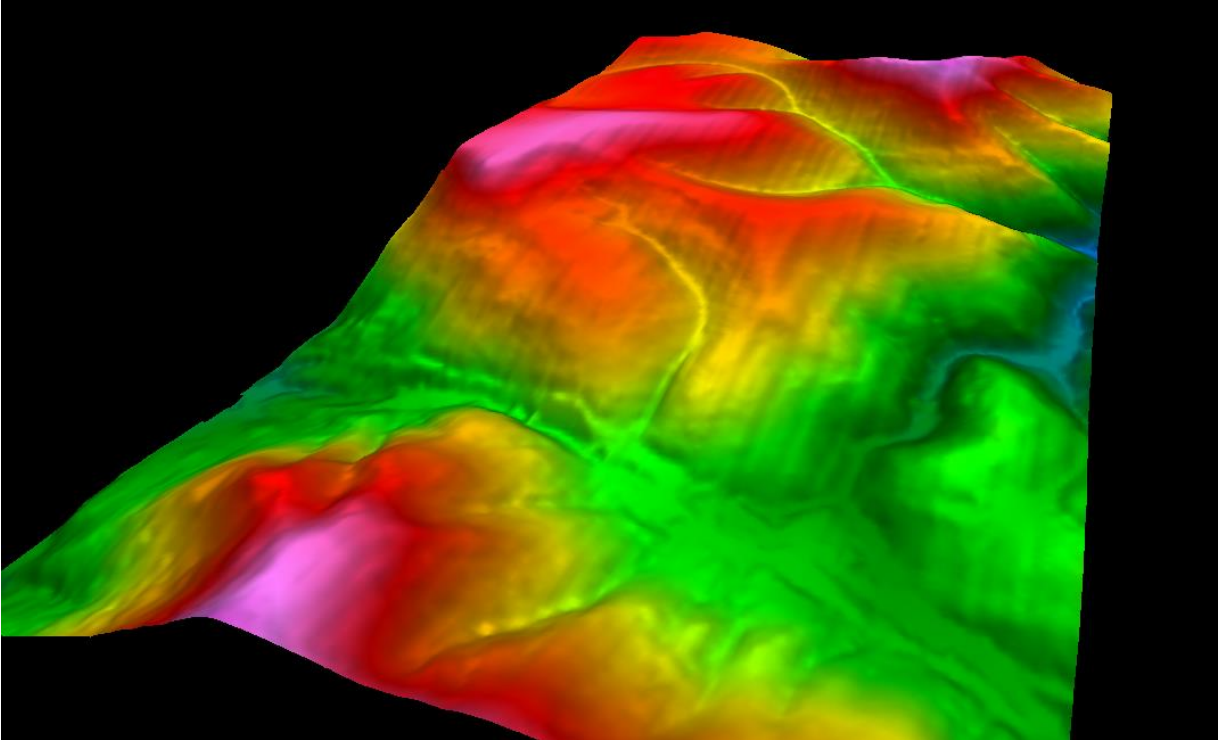


Figura 116.- Modelo de elevaciones con escala de colores arbitraria, vista tridimensional

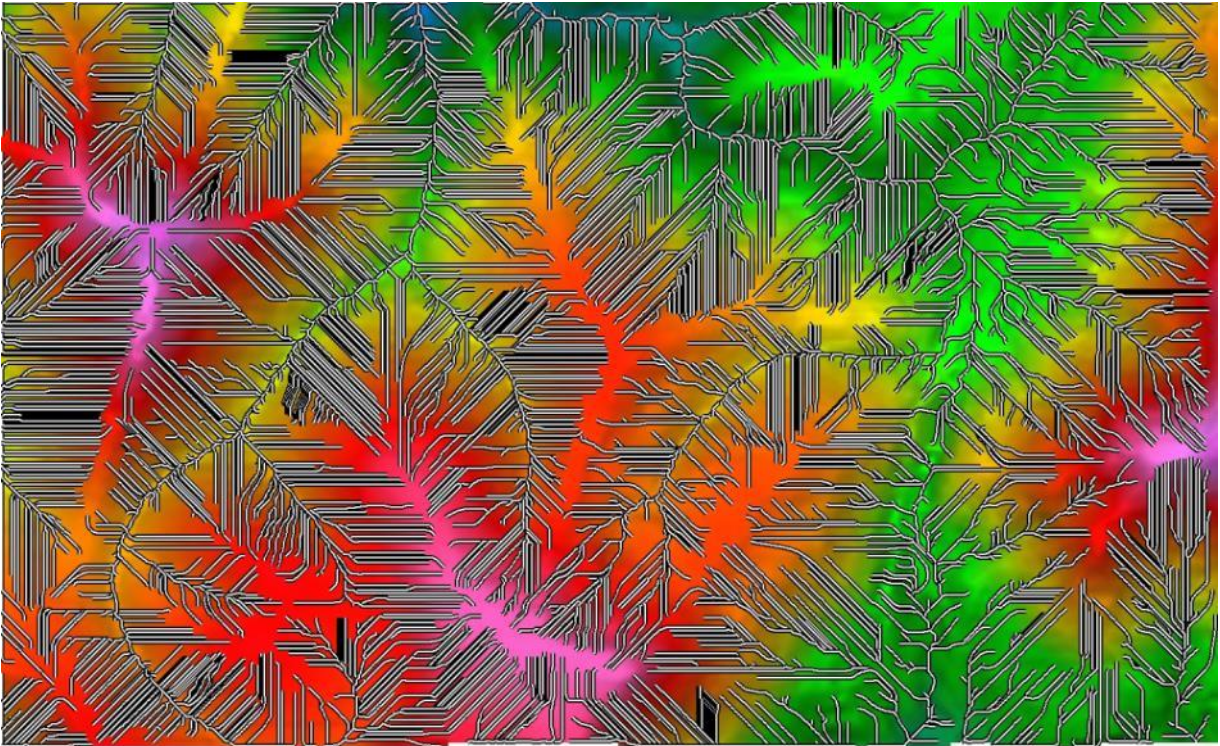


Figura 117.- Análisis de escurrimientos

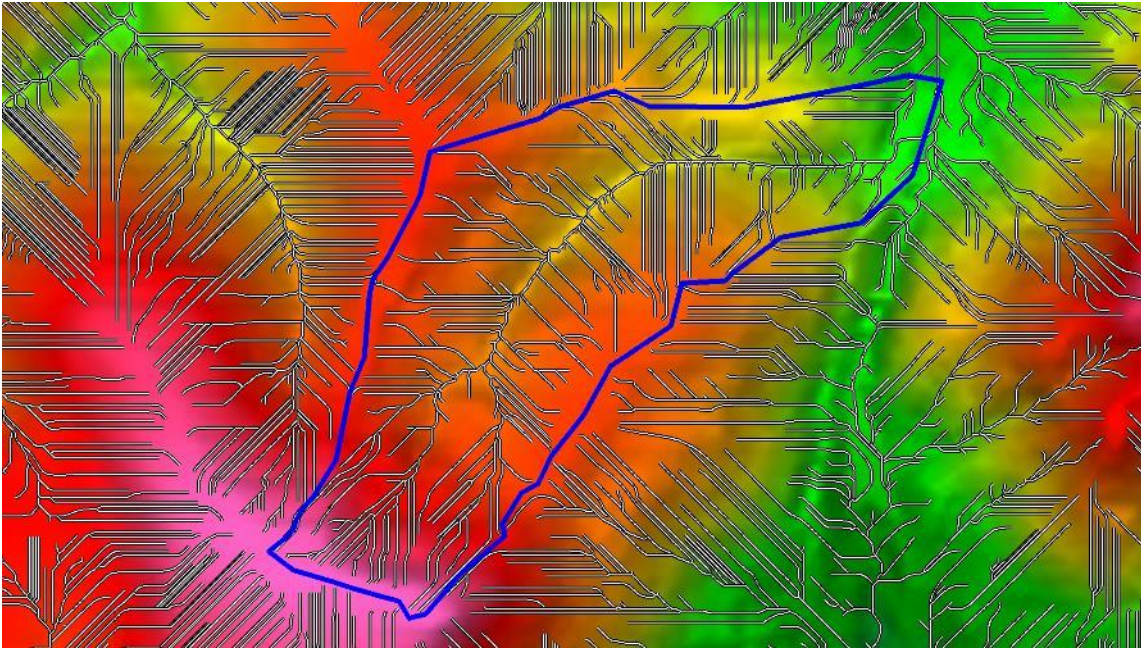


Figura 118.- trazado de cuenca



Figura 119.- Comparativa geométrica de las metodologías

El área de la cuenca obtenida por el método tradicional fue de 0.1512 Km<sup>2</sup> mientras que el área obtenida por el método de colorimetría y escurrimientos fue de 0.1139 Km<sup>2</sup>, que corresponde a una reducción del 24.7%.



En los análisis de las 10 cuencas se observan características diferentes de morfología, elevación, ubicación y resolución de las fuentes, centrándose en el último punto se observa una mayor facilidad de procesamiento de datos y trazado de cuencas en datos de mayor resolución, como lo fue el caso de las cuencas 1, 3, 4, 6, 7 y 8, por lo que también se considera un factor importante para la elección de este método de trazado.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los datos obtenidos y su interpretación:

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )		Discrepancia (km <sup>2</sup> )	Discrepancia Absoluta (%)
	Trazo tradicional	Trazo por colorimetría		
01	0.9082	0.8046	0.1036	11.41%
02	0.1227	0.1470	-0.0243	19.80%
03	0.0610	0.0755	-0.0145	23.77%
04	0.3038	0.2694	0.0344	11.32%
05	0.0360	0.0325	0.0035	9.72%
06	0.5249	0.5588	-0.0339	6.46%
07	1.0859	1.0816	0.0043	0.40%
08	0.2402	0.2560	-0.0158	6.58%
09	0.1008	0.0886	0.0122	12.10%
10	0.1512	0.1139	0.0373	24.67%
			Promedio=	12.62%

Como se puede observar en la tabla existen casos donde la discrepancia es mínima mientras que existen casos donde la discrepancia llega a ser casi un cuarto del área total de la cuenca (24.67%), en los análisis hidrológicos para cuencas de poca área se recomienda la mejor precisión ya que suelen dar gastos muy altos debido al tiempo de concentración de la lluvia, haciendo de este método una opción favorable para la obtención de gastos.

## Conclusiones y recomendaciones

El modelo de elevaciones contribuye a realizar un trazado de cuenca mucho mas preciso, obteniendo más información que la del método tradicional, aunque el método es más tardado, se compensa, ya que el gasto obtenido por el análisis hidrológico en microcuencas suele aumentar o reducir de manera drástica dependiendo del área de la cuenca, lo que hace de vital importancia realizar un trazado preciso.

Las discrepancias encontradas entre los métodos tradicional y por colorimetría y análisis de escurrimientos, tuvieron una media del 12.62%, lo que es un numero de peso para los análisis.

Se recomienda el uso de este método si se cuenta con información GIS de buena resolución, ya que, el método se complica al usar información de baja resolución, dando problemas de interpretación y complicando el uso de los softwares.

El método implementado fue diseñado para microcuencas, pero no se limita a estas pues puede ser utilizado en cuencas pequeñas, medianas, grandes y hasta en regiones hidrológicas, dando buenos resultados. Se recomienda su uso en zonas de muy baja pendiente ya que será mucho más fácil definir los parteaguas.

## **Bibliografía**

1. Chow, V.T. (1964) Handbook of Applied Hydrology. McGraw-Hill.
2. Aparicio, F. J. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. LIMUSA.