

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y MINAS

“Procedimiento para obtener un modelo digital de terreno de alta resolución (MDT_AR) con GPS diferencial de la cuenca experimental Torre Rayón, subcuenca del Río San Miguel, Sonora”

Que como requisito parcial para la obtención del título de:

**LICENCIATURA EN
INGENIERÍA CIVIL**

1942

Que presenta:

SUGHEY ALEJANDRA MIRANDA TORRES

Hermosillo, Sonora

Junio de 2015.

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Resumen

Se desarrolla una metodología basada en ArcGIS para la obtención de un modelo digital de terreno de alta resolución espacial (MDT_AR) a partir de puntos de coordenadas (x,y,z) tomados en campo con un sistema de posicionamiento global (GPS) de doble frecuencia. La precisión del modelo se evalúa correlacionando datos con valores puntuales tomados con estación total. Como resultado se presenta el MDT_AR y el parteaguas de la cuenca.

Palabras clave: Modelos digitales de terreno de alta resolución, microcuenca, GPS Diferencial.

Procedure for obtaining a digital high resolution terrain model (MDT_AR) with differential GPS in the Torre Rayon experimental basin, subbasin of the Rio San Miguel, Sonora

Abstract

A procedure based in ArcGIS is developed for making a digital model of terrain of high spatial resolution (MDT_AR) using points with (x,y,z) coordinates taken in field with a Global Positioning System (GPS) of double frequency. The precision of the model is evaluated by the correlation relationship of the data with punctual values taken from a Total Station. As results are presented the MDT-AR, the area basin delimited.

Keywords:

Digital Elevation Model of high resolution, microbasin, differential GPS.

Índice General

I. Introducción	3
1.1. Objetivos	4
1.1.1 Objetivo General	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
1.2. Justificación	4
II. Revisión de Literatura	5
2.1. Levantamientos Topográficos	5
2.2. El Sistema GPS	6
2.3. GPS diferencial	7
2.4. Sistemas de información Geográfica (SIG)	8
2.5. Modelo digital de elevaciones o del terreno	9
2.6. Usos de los MDT en análisis de una cuenca	10
2.7. Análisis de cuencas	11
2.8 Modelo digital del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)	13
2.9. SIG vectoriales	14
2.10 TIN (triangulated irregular network)	18
2.11. Shape	19
III. Materiales y métodos	20
3.1 El sitio de estudio	20
3.1.1 Localización	20
3.1.2 Clima	22
3.1.3 Vegetación	22
3.2 Equipo y material utilizado	24
3.3 Procedimiento Operativo	25
3.3.1 Trabajo de campo	25
3.3.2 Trabajo en gabinete	28
3.3.3 Evaluación de la precisión del modelo digital de alta resolución	40

IV. Resultados y discusión	42
V. Conclusiones y Recomendaciones	49
VI. Referencias bibliográficas	51
VII. Anexos	53

I. Introducción

En México, cada día son más utilizados los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta para obtener información en distintos campos, entre ellos en el de la Hidrología, donde por medio de esta tecnología se puede analizar morfología, usos de suelo, edafología, precipitación entre muchos otros rasgos superficiales de una cuenca.

Una fuente de datos para los SIG son los Modelos de Elevación Digital (MDE), que son una confiable representación de la superficie terrestre y constituyen el elemento base para la extracción digital de parámetros fisiográficos, convirtiéndose en una importante fuente de datos para diversas aplicaciones en estudios de Hidrología.

Características hidrológicas como área, perímetro, pendiente, orientación, entre muchas otras pueden ser derivadas a partir de éstos modelos. Si bien un MDE es el elemento fundamental para obtener muchos de los parámetros requeridos, que son total o parcialmente dependientes de la topografía, la utilidad y validez de los resultados derivados están estrechamente relacionadas con la calidad y especificaciones del modelo digital.

En México, el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI), pone a disposición del usuario modelos digitales de terreno con resolución espacial de 30 m, lo que no permite realizar análisis de cuencas pequeñas o microcuencas.

En esta tesis, debido a la limitación de los productos disponibles en la actualidad, se presenta un procedimiento para obtener un modelo digital de terreno de alta resolución espacial (MDT_AR) a partir de puntos de coordenadas (x,y,z) tomados en la microcuenca "Torre Rayón" subcuenca de la cuenca del Río San Miguel, Sonora, con un equipo de posicionamiento global (GPS) de doble frecuencia.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo general

- Desarrollar un procedimiento para la obtención de un Modelo Digital de Terreno de alta resolución (MDT_AR) para el estudio de la microcuenca Torre Rayón, subcuenca del Río San Miguel, Sonora.

1.1.2 Objetivos específicos:

- Contar con una base de datos altimétrica construida a partir de un levantamiento topográfico con GPS de doble frecuencia para obtener una malla suficientemente densa de puntos (x,y,z) que represente la topografía de la microcuenca experimental.
- Crear un procedimiento automatizado de un procedimiento basado en ArcGIS para obtener un Modelo Digital del Terreno de alta resolución a partir de los puntos de coordenadas (x,y,z) aplicable a otras cuencas de características similares.
- Obtener un producto cartográfico básico de precisión suficiente para aplicaciones avanzadas en Hidrología.

1.2 Justificación

Los modelos digitales de terreno actualmente disponibles para estudios de cuencas rurales, son generados en resoluciones de 30.0 m por píxel, por lo que no proveen información fisiográfica en microcuencas o superficies pequeñas.

La microcuenca Torre Rayón es un sitio representativo de un ecosistema árido del noroeste de México y ha sido instrumentada para ampliar el conocimiento de los elementos del Ciclo Hidrológico en la zona sobre todo en su relación con el *Monzón de Norteamérica*, fenómeno climatológico que aporta más del 70% de la precipitación en la región. Un modelo digital del terreno representativo de la superficie de una microcuenca, constituirá el soporte fundamental para el estudio detallado que permitirá profundizar en el conocimiento del comportamiento hidrológico de la cuenca.

II. Revisión de Literatura

En este capítulo se vierten los conceptos que dan soporte conceptual a la tesis y se elaboró con una amplia revisión bibliográfica sobre los sistemas GPS, los modelos digitales del terreno, Sistemas de Información Geográfica y las aplicaciones más relevantes y actuales sobre el estudio de cuencas hidrológicas.

2.1. Levantamientos Topográficos

Libros como el de Montes de Oca (1996) definen los conceptos y describen un ámbito de desempeño en la Topografía que se ajusta al perfil del Ingeniero Civil y al trabajo desarrollado en esta tesis.

UN levantamiento topográfico consiste en un conjunto de operaciones para determinar las posiciones de puntos y posteriormente su representación en un plano. Existen dos tipos de levantamientos: a) topográficos y b) geodésicos.

A) Topográficos: Por lo general se hacen despreciando la curvatura de la Tierra, sin error apreciable, porque abarcan superficies reducidas

B) Geodésicos: Es necesario considerar la curvatura de la Tierra porque se realizan en grandes extensiones.

Los levantamientos topográficos son los más comunes para el Ingeniero Civil, que usualmente realiza levantamiento de terrenos urbanos y rurales, de vías de comunicación, terrenos de explotación minera, levantamientos catastrales, entre otros.

Las operaciones en Topografía están sujetas a las imperfecciones propias de los aparatos y al nivel de destreza del usuario en su manejo, por lo que ninguna medida en topografía es exacta y, para obtener buenos resultados, se debe considerar la magnitud y naturaleza de los errores.

2.2. El Sistema GPS

El Global Positioning System (GPS) fue utilizado en sus inicios con fines militares por los Estados Unidos de América. El sistema funciona con la radionavegación a través de la emisión de señales desde la constelación satelital denominada NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging), conformada por 24 satélites, de los cuales 3 son de respaldo y se encuentra en operación desde 1995. Su posicionamiento orbital está diseñado para que en cualquier momento que se requiera información se exista un mínimo de 4 satélites en línea de vista al punto de posicionamiento (Casanova, 2002)

El sistema GPS funciona con parámetros de posición 3D (Coordenadas X, Y, Z), velocidad del punto en movimiento, tiempo, además se emite información temporal en Universal Time Coordinated (UTC).

El sistema provee dos formas de posicionamiento: uno, el servicio de posicionamiento estándar (SPS, por sus siglas en inglés) en el que se utilizan señales de menor calidad disponibles para cualquier usuario, ofreciendo precisión de 100 metros en plano horizontal y 156 metros en altura, no cuenta con restricciones ni límite de uso y permite establecer tiempos con un error de 340 segundos. El otro, llamado servicio de posicionamiento preciso (PPS, por sus siglas en inglés) que ofrece precisión a 10 metros en el plano horizontal y 14 metros en altitud, producto que es utilizado por militares, agencias representantes del gobierno americano y civil con autorización.

A nivel global existen también otros servicios de posicionamiento global como el sistema ruso con nombre GLObal Navigation Satellite System (GLONASS), que ofrece señales no encriptadas con mayor precisión que el SPS.

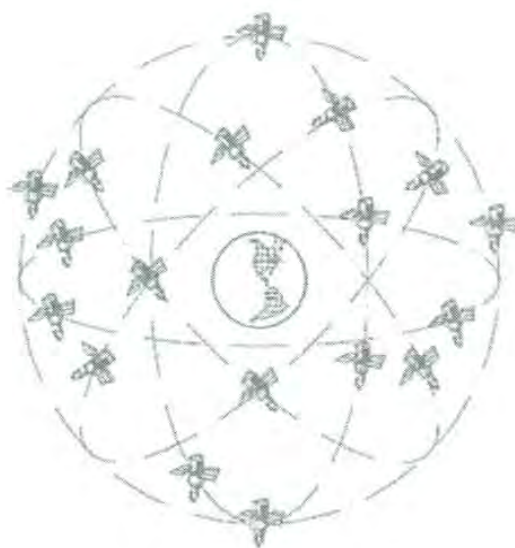


Figura 1. Sistema NAVSTAR

2.3. GPS diferencial

Se han creado aplicaciones de GPS en diferentes áreas que requieren mayor precisión como lo son la Ingeniería Civil, Geología, Minería, Navegación Aérea, entre ellas destaca la técnica de *GPS Diferencial*, que reduce significativamente el error del posicionamiento basándose en la correlación de distancias con la ayuda e información proporcionada por dos o más receptores GPS con los mismos satélites.

El GPS opera con la medida de las distancias de señales de radio transmitidas por un conjunto de satélites artificiales de órbita conocida con precisión para recibir y decodificar la información con los receptores en los puntos de posición que se desean determinar (Casanova, 2002).

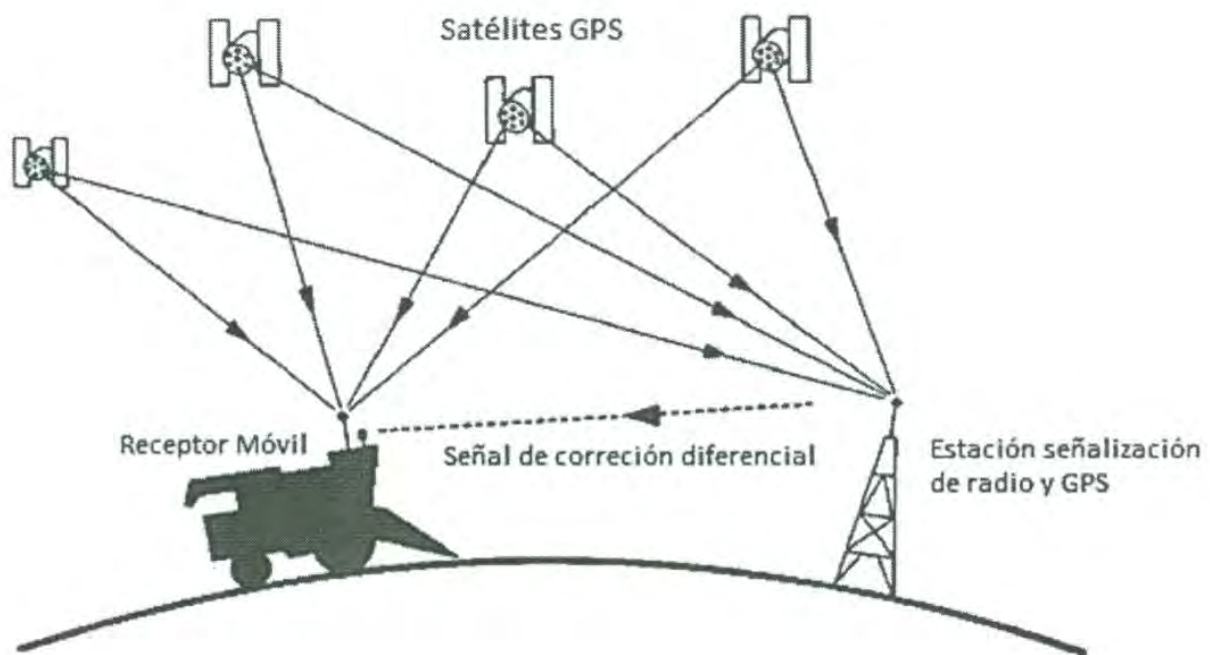


Figura 2. Esquema de funcionamiento de un GPS Diferencial.

Levantamiento RTK

Existen diferentes tipos de posición: Tipo de posición actual calculada por el receptor (Autónomo, RTK Flotante, RTK Fijo o DGPS).

Los levantamientos en tiempo real (RTK) utilizan una radio con el fin de transmitir señales de la estación base al móvil. El móvil luego calcula sus posiciones en tiempo real.

En este trabajo de tesis se utilizó RTK fijo debido a las características de precisión que se buscan en el modelo.

2.4. Sistemas de información Geográfica (SIG)

Un SIG consiste en un conjunto de procedimientos para realizar la captura, recopilación, administración, utilización, transformación, análisis y modelación de procesos espacialmente referenciales. Representan y asocian al espacio-tiempo estadísticas e indicadores, simplifican la información y permiten comprender y analizar las regiones de estudio. (CEPAL, 2000).

Un SIG tiene soporte informático que da libertad al usuario para realizar de una forma eficaz cualquier tipo de información geográfica referenciada asociada a un territorio, enlazando mapas con bases de datos. El SIG tiene como finalidad proveer al usuario de una visualización en un mapa de fenómenos espacialmente referenciados, permitiendo, además, realizar consultas y representar los resultados en entornos web y dispositivos móviles de una manera ágil, con lo que se resuelven problemas de planificación y gestión, constituyendo un valioso apoyo en la toma de decisiones. (CEA, 2010). Los SIG contienen herramientas para elaboración de mapas digitales, creación de bases de datos, entre otros. Lo más relevante de un SIG son los programas informáticos que provee para llevar a cabo las funciones de recolección de datos, la proyección y visualización de capas de información, manipulación y combinación de estas y, como producto final, la impresión de productos de alta calidad (Soto, s.f.)

2.5. Modelo digital de elevaciones o del terreno

Una manera de representar digitalmente la forma de la Tierra, es a través de un modelo basado en celdas, llamado también modelo de elevación digital (MDE), o modelo digital del terreno (MDT), cuando las elevaciones consisten en altitud.

El MDT representa de manera visual y matemática los valores de elevación con respecto al nivel medio del mar. Es la herramienta más utilizada para elaborar mapas de relieve mediante un conjunto de cotas que representan características morfológicas simples del terreno (Felicísimo, 2014).

La principal fuente en México de este tipo de información es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI).

Los modelos se construyen con la finalidad de tener un conocimiento del objeto real, y son una porción de la realidad empírica, los datos (x,y,z) se almacenan en un archivo de tipo ráster, generado con el uso de equipo y programas informáticos específicos (INEGI, 2014).

Los modelos digitales de elevaciones tienen actualmente una amplia variedad de aplicaciones, como almacenar datos de elevación de mapas topográficos digitales, idealmente para analizar la visibilidad del campo, localización de estructuras, realizar análisis estadísticos, identificar rasgos específicos en un terreno, proveer datos para la realización de modelos de paisajes, simular tridimensionalmente el terreno, entre muchos otros.

En los SIG, los MDT usualmente están representados por mallas regulares o por red de triángulos irregulares (TIN, por sus siglas en inglés). El uso de una u otra depende del objetivo del estudio a realizar y de los datos que se necesite para llevar a cabo la aplicación (Llopis, 2005).

2.6. Usos de los MDT en análisis de una cuenca

Son muchas y muy variadas las aplicaciones de un modelo digital en la modelación del comportamiento hidrológico de una cuenca. Considerando el objetivo de esta tesis, es de gran relevancia el análisis de la pendiente y su dirección que genera el flujo del agua a través de la superficie, lo que hace posible determinar cuáles y cuántas celdas fluyen. Esta información generalmente es utilizada para definir los límites de la cuenca y la red de drenaje.

El proceso de cálculo de la dirección de flujo consiste en determinar la dirección de máxima pendiente hacia abajo de cada celda. Considerando 8 posibles direcciones para el flujo de cada según las 8 celdas adyacentes N, NE, E, SE, S, SW, W, NW. Los flujos acumulados determinan la cantidad de agua que fluye en alguna celda determinada, ya que constituyen el peso acumulativo de una celda que recibe el flujo de agua de todas las celdas que presentan una pendiente con sentido hacia abajo a la misma celda. Este cálculo sobre los flujos acumulados hace posible la determinación de la cantidad de agua proveniente de lluvias que puede recibir alguna celda en particular, suponiendo que toda el agua se toma como escurrimiento superficial y excluyendo la evapotranspiración, infiltración y otras pérdidas de agua.

2.7. Análisis de cuencas

La Comisión Nacional del Agua (2011) define cuenca como un área delimitada por partes altas, esto da lugar a que sea el elemento receptor de agua de lluvia, escurrimientos y flujo en los ríos. También define cuenca hidrológica como el territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen por uno principal (CONAGUA, 1992).

La cuenca en un concepto geográfico e hidrológico es una zona de la superficie terrestre en donde precipitación que cae sobre ella tiende a ser drenada por las corrientes hacia un punto de salida. Dependiendo de la escala y el interés de los estudios hidrológicos se puede llegar al termino micro cuenca.

Dependiendo del lugar donde descargan sus aguas, existen dos tipos de cuencas: cuenca endorreica y cuenca exorreica (figura 3). En la cuenca endorreica el punto de salida no tiene descarga al mar. Por el contrario en la cuenca exorreica la salida del agua está en los límites de la cuenca (Granillo, 2011).



Figura 3. Tipos de cuencas

En una cuenca hidrográfica (figura 4) se identifican los siguientes elementos:

- Parteaguas. Línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico, separa la cuenca de las cuencas vecinas
- Área de la cuenca: Delimitada por el parteaguas, es la superficie en proyección horizontal
- Cauce Principal: Corriente que pasa por la salida de la cuenca. Solo aplica a cuencas exorreicas
- Arroyo tributario: son las corrientes que no son la principal, las cuencas de estas corrientes son las subcuencas.
- Margen derecha. Viendo en el sentido del flujo, la porción de área ubicada hacia la derecha
- Margen izquierda. Viendo en el sentido del flujo, la porción de área ubicada hacia la izquierda

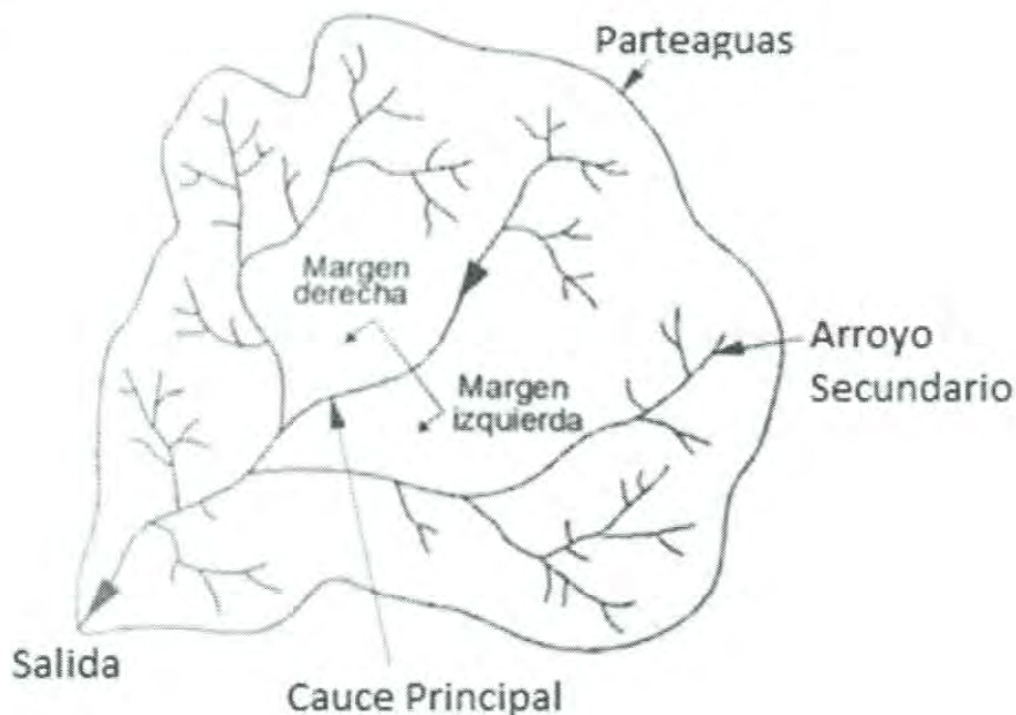


Figura 4. Partes de una cuenca.

Se diseñan modelos para reproducir procesos de lluvia-escurrimiento en sistemas de cuencas. Se usan para simular la respuesta hidrológica de una cuenca. Incluye los modelos de cuenca, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada.

El proceso de un modelo incluye la elaboración de base de datos, que debe contener productos de precipitación, uso de suelos, vegetación, temperatura, y la representación del relieve, que por lo general consiste en un modelo digital del terreno.

2.8 Modelo digital del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)

En México, el INEGI se encarga de producir y de proveer al usuario los Modelos Digitales de Elevación. Los tiene disponibles en dos tipos:

a) *Modelo digital de superficie* (MDS). Representa cada uno de los elementos que existen o se encuentran presentes en la superficie de la Tierra (vegetación, edificaciones, infraestructura y el nivel de terreno natural.

a) *Modelo digital del terreno* (MDT). Representa la forma del terreno una vez que fueron removidos todos los elementos que no constituyen al mismo, entre ellos la vegetación, edificaciones y demás elementos; es decir, los que no forman parte del terreno.

Los modelos digitales de elevación disponibles actualmente, tienen una resolución de 15 metros, 30 metros, 60 metros, 90 metros hasta 120 metros y son utilizados para la representación superficial del terreno de México, estos productos se pueden encontrar en:

<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/descarga.aspx>

La mayor resolución espacial que ofrece INEGI es de 15 metros por píxel y no es apropiada para la modelación de microcuencas debido a que el píxel no alcanza a representar el detalle de la morfología del terreno (INEGI, 2014).

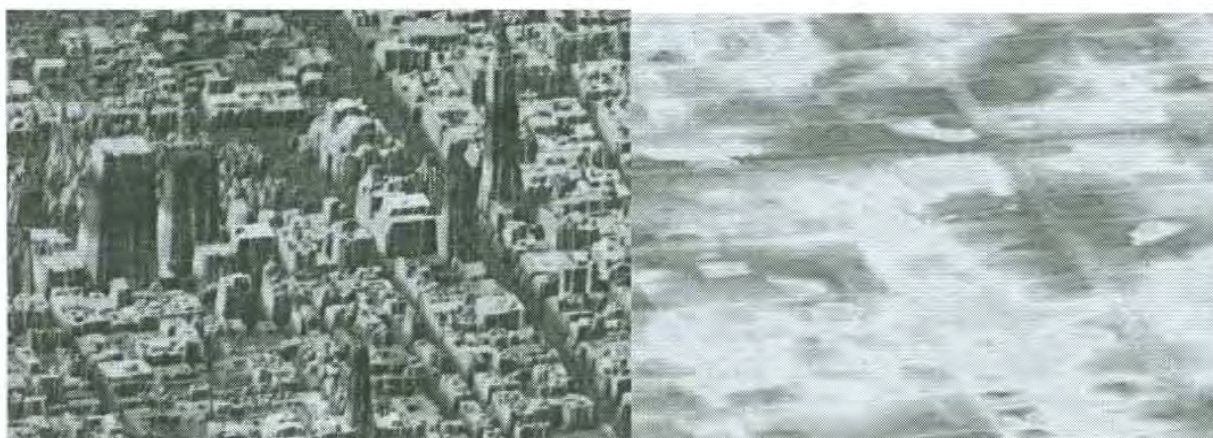


Figura 5. Modelo Digital de Superficie LIDAR del Distrito Federal y Modelo Digital de Terreno LIDAR del Distrito Federal. Fuente: INEGI

2.9. SIG vectoriales

El modelo vectorial se basa en el almacenamiento de datos geográficos, como son líneas y arcos que se definen como puntos de inicio y fin, y los nodos que es donde se unen uno o más arcos.

Se realiza un almacenamiento explícito de la ubicación espacial de los nodos y de la topología, sin considerar todo el espacio que no fue definido por las entidades y solo considerando los límites de estas y los arcos conectados que se representan como segmentos curvos en el modelo vectorial.

Estos sistemas tienen dos secciones para organizar los datos. Almacenan datos espaciales y datos temáticos por separado y permiten una conexión entre ambos, por lo que es un sistema de organización híbrido. Cuentan con un identificador único para cada objeto y así permite el enlace entre los aspectos temáticos y los geográficos. (Ellis, 1999).

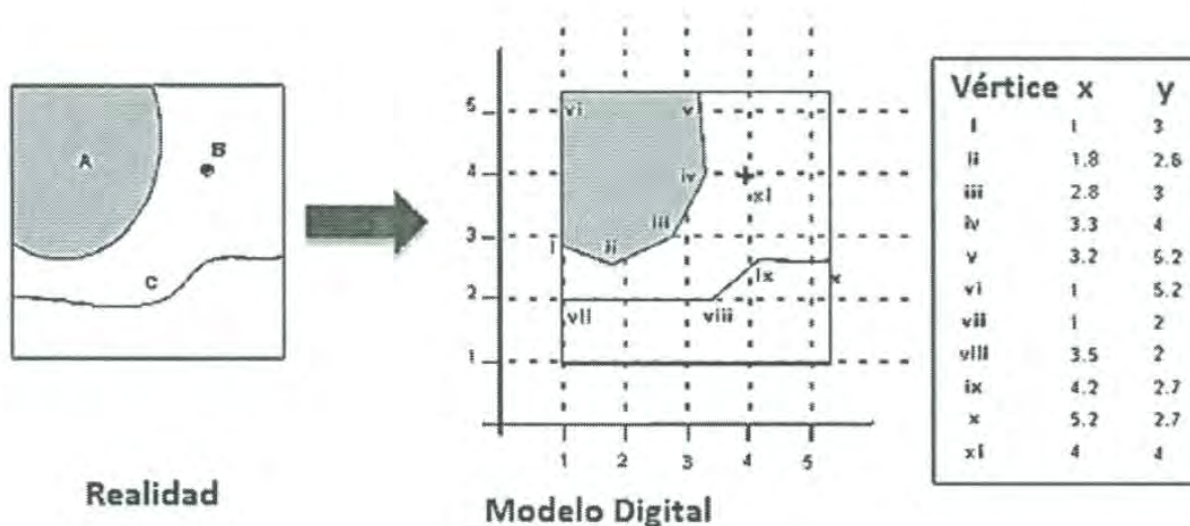


Figura 6. Representación Vectorial.

Representación vectorial de datos

El modelo vectorial representa los datos geográficos con coordenadas, cada coordenada interconectada en conjunto de un par o más pares forman los arcos, polígonos y puntos que dan como resultado el modelo.

Coordenada

Es una localización fija que es representada con números que se definen según la distancia horizontal y vertical de n números de ejes en el espacio. Normalmente son localizaciones concretas en la superficie terrestre.

Punto

Es una unidad geográfica de muy poco tamaño como para ser considerada una línea o como un plano, es expresado por un par de coordenadas X.Y.

Línea

Es un par de coordenadas alineadas que se representan como curvas o ejes, su sinónimo es de arco y no tienen la característica de contar con un área específica.

Arco

Es un término de ARC/INFO que se plantea y se utiliza con igualdad a la línea.

Polígono

Son utilizados para la representación de superficies, está conformado por líneas en su contorno y además por un punto que es utilizado para identificarlo.

Modelos de datos vectoriales

Existen diferentes estructuras de datos vectoriales.

- lista de coordenadas "espagueti" (figura 7)
- diccionario de vértices (figura 8)
- ficheros DIME ("*Dual Independent Map Encoding*") (figura 9)
- arco / nodo (figura 9)

Lista de Coordenadas Espagueti

La lista de coordenadas espagueti es sencilla, fácil de operar, no almacena la topología, se utiliza en la cartografía automática, contiene diversidad de operaciones redundantes, que implican espacios de almacenamiento mayores.

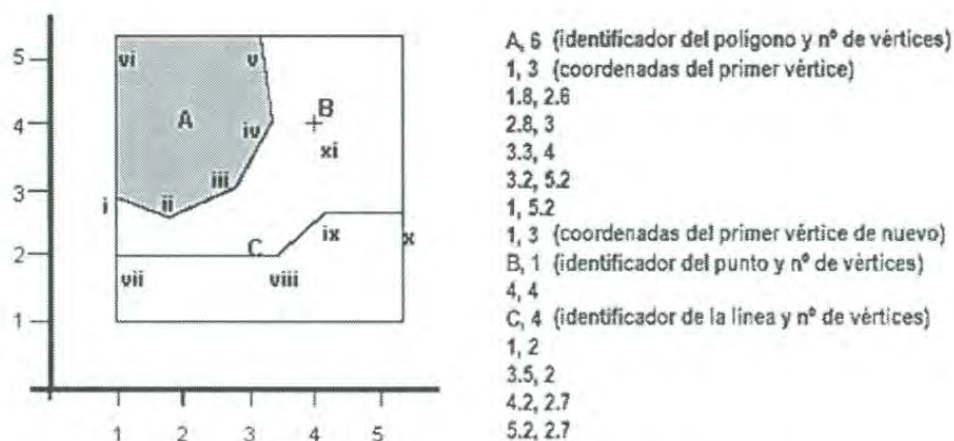


Figura 7. Lista de coordenadas "Espagueti".

Diccionario de Vértices

No hay operaciones redundantes y no almacena la topología

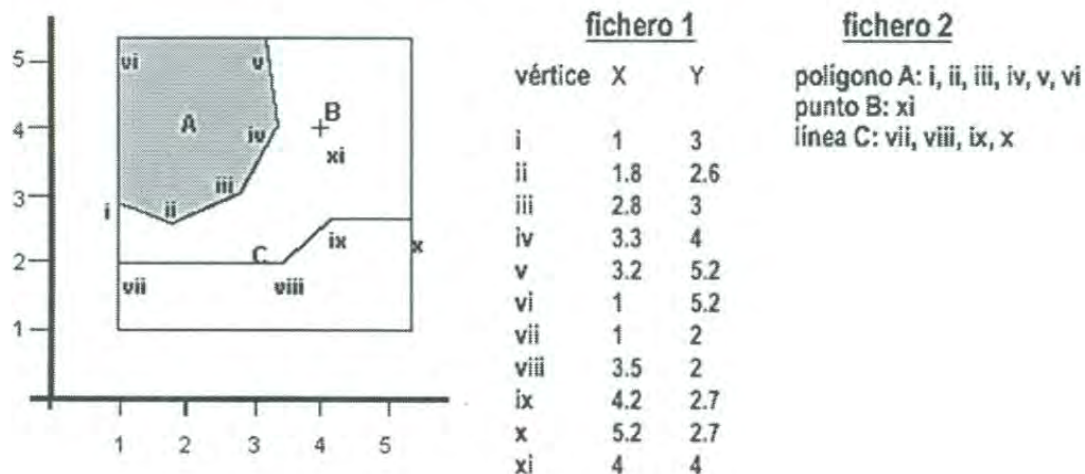


Figura 8. Diccionario de vértices.

Archivos Dime

Estos tipos de estructuras son elaborados por la oficina del Censo de los Estados Unidos. Se requieren tres archivos. Recoge la tipología de manera completa y su utilidad principal es la representación de polígonos, se asigna un código direccional de la forma "from node" (nodo origen) y "to node" (nodo final). Los nodos (intersecciones de líneas) se identifican con códigos, tanto las direcciones de las calles como las coordenadas UTM se definen de forma explícita para cada vínculo. Esta estructura es muy parecida a la de arco/nodo (Daniele, 2007).

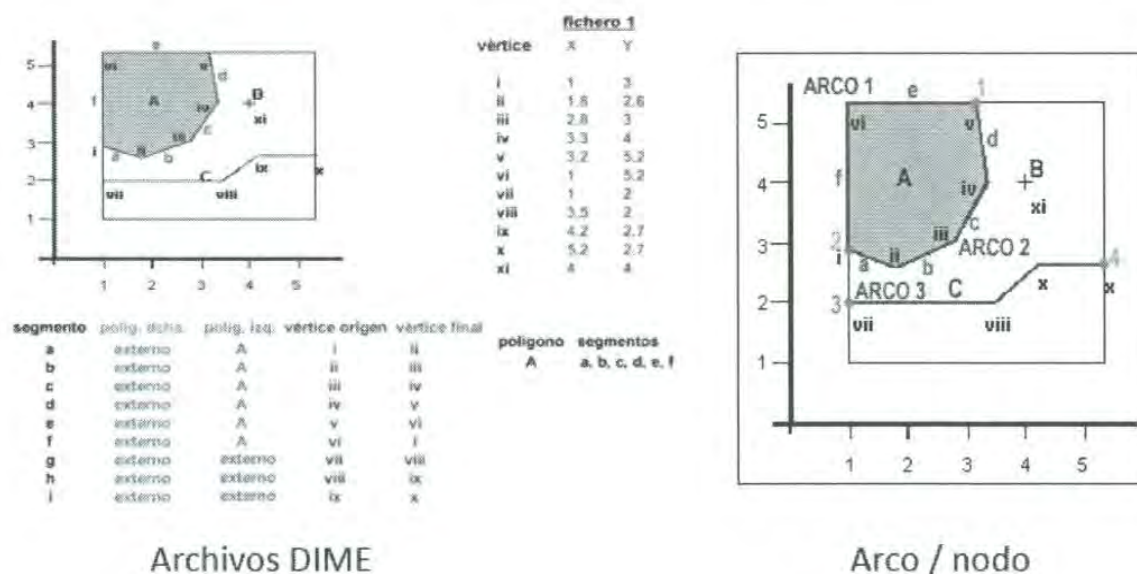


Figura 9. Archivos DIME y arco / nodo

2.10 TIN (triangulated irregular network)

Los TINs son datos geográficos digitales basados en vectores y se construyen mediante la triangulación de un conjunto de puntos (x,y,z) conectados con una serie de bordes para formar una red de triángulos. Los métodos de interpolación para formar estos triángulos comúnmente utilizados son el de Delaunay o "distance ordering". ArcGIS tiene una herramienta para aplicar el método de triangulación de Delaunay.

El criterio de triangulación de Delaunay asegura que ningún vértice se encuentra en el interior de cualquiera de las circunferencias circunscritas de los triángulos en la red.

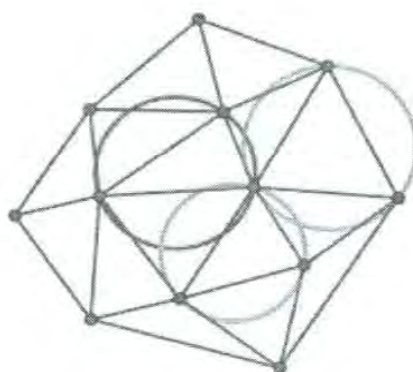


Figura 10. Triangulación de Delauney.

Los bordes de los TIN forman facetas triangulares contiguas, que no se superponen y se pueden utilizar para capturar la posición de características lineales que juegan un papel importante en la superficie, tales como crestas o arroyos.

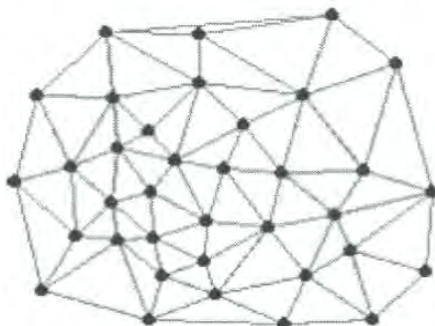


Figura 11. Bordes de los TIN

2.11. Shape

Un shapefile es un formato de almacenamiento de datos vectoriales de Esri que almacena la ubicación, la forma y los atributos de las entidades geográficas. Se crea un conjunto de archivos relacionados y contiene una clase de entidad. Los shapefiles contienen entidades con muchos datos asociados y se utilizan en aplicaciones de escritorio de SIG, como ArcGIS for Desktop y ArcGIS Explorer Desktop.

III. Materiales y métodos

3.1. El sitio de estudio

3.1.1. Localización

El sitio de estudio, figura 1, se encuentra en el rectángulo delimitado por la coordenadas UTM (544600,3290400); (54500, 3290400); (544500, 3290000) y (545000, 3290000) y está localizado a 4.1 km al noreste de Rayón, Sonora, municipio al que pertenece.

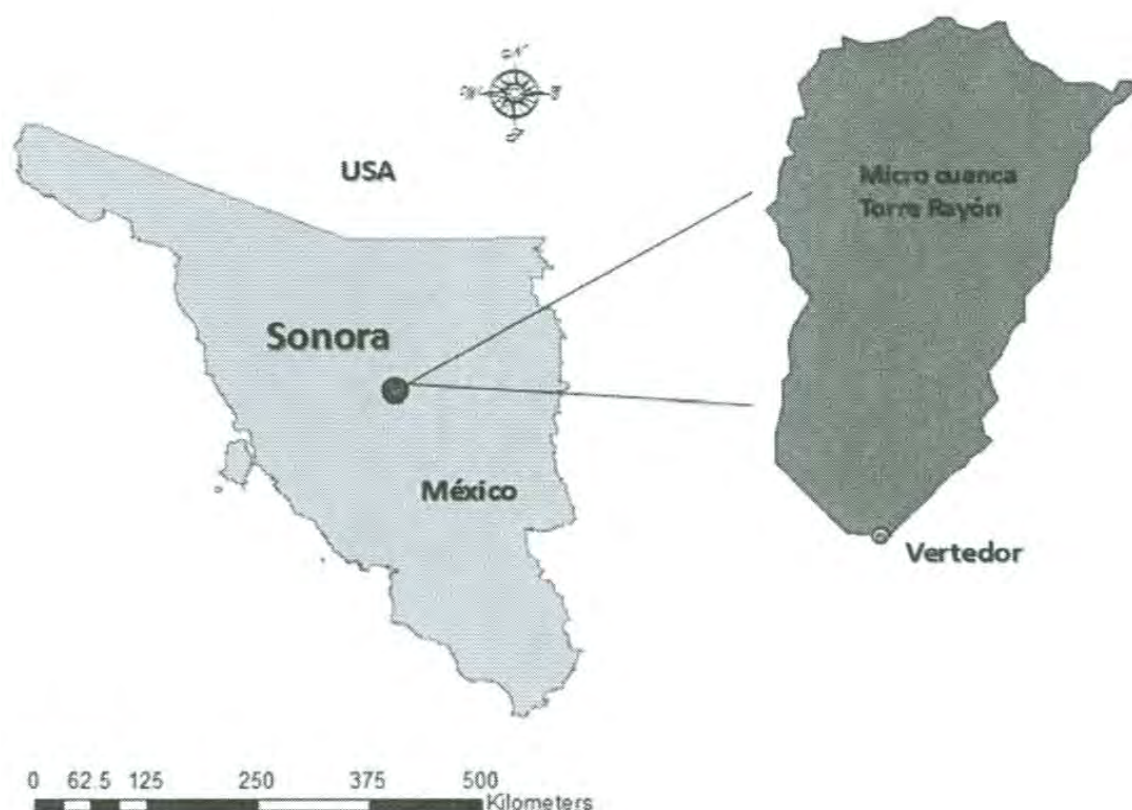


Figura 12. Ubicación del Sitio de estudio.

La cuenca tiene una superficie de 2.158 Ha y cuenta con instrumentación para estudios avanzados de Hidrología, como son: una torre micro meteorológica equipada con sensores para medir humedad relativa, velocidad de viento, radiómetros de radiación neta, difusa y de onda corta, perfiladores de humedad atmosférica y dióxido de carbono, pluviógrafos, medidor de percolación, sensores de temperatura del suelo, sensores de humedad del suelo y el escurrimiento es medido en un vertedor de pared delgada con un sensor ultrasónico de nivel del agua.

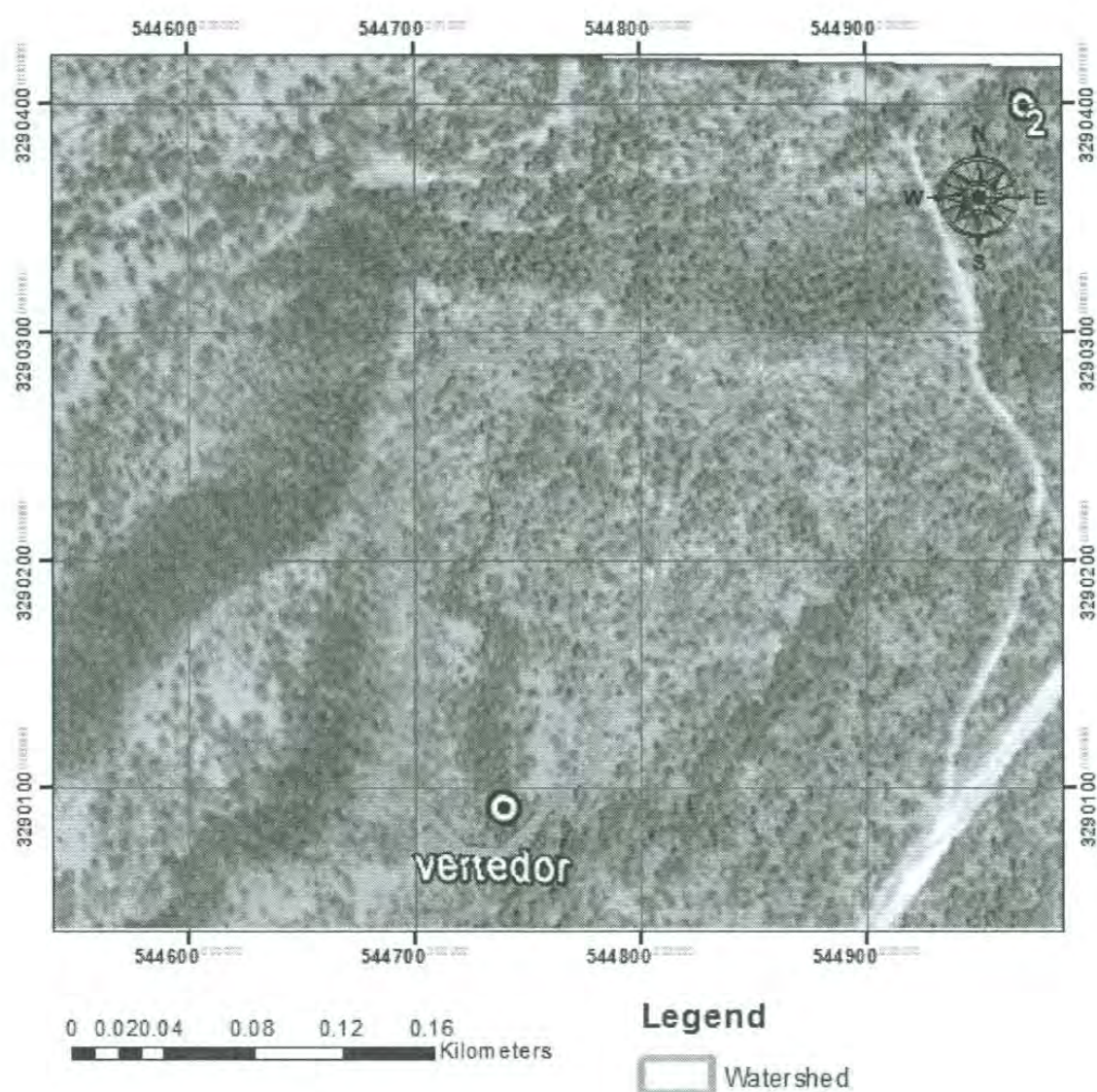


Figura 13. Localización de la microcuenca Torre Rayón

3.1.2. Clima

El clima del sitio de estudio se describe como:

- Muy secos. También conocidos como climas desérticos, cubren aproximadamente el 46% de la superficie de Sonora, su principal característica es una precipitación inferior a los 400 mm al año y su temperatura media anual de 18 a 26 °C, debido a que su oscilación térmica es mayor a 14 °C, son considerados climas extremos. Los climas van de cálidos al sur del estado, a los semicálidos en el noroeste.
- Secos. Abarcan el 20 % de la entidad, influyendo en los terrenos situados al este de los que presentan climas muy secos. Se dividen en cálidos con una temperatura de 22 °C, semicálidos 18-22 °C y templados 12- 18 °C.
- Semisecos. Abarcan el 28% de Sonora, con temperaturas medias anuales que varían entre los 12 y 22 °C. Divididos en función de su temperatura media anual en cálidos, semicálidos y templados.

3.1.3. Vegetación

La vegetación es una variable de gran importancia al momento de elaborar modelos digitales del terreno debido a que puede influir en la recepción del equipo GPS durante el trabajo en campo.

En la microcuenca de la Torre Rayón, se encuentra vegetación desértica como pitahaya (Figura 14.3), matorral, acacia (Figura 14.5) palo verde (Figura 14.6) y choya (Figura 14.4). Asimismo, se pueden observar matorral desértico micrófilo, ocotillo (Figura 14.2), mezquite (Figura 14.1) y selva baja caducifolia.

Esta vegetación presenta un mayor porcentaje de cobertura vegetal durante el fenómeno denominado Monzón de Norteamérica en verano (Figura 15).



1. *Prosopis velutina*
(MEZQUITE)



2. *Fouquieria macdougalii*
(OCOTILLO)



3. *Stenocereus thurberi*
(PITAHAYA)



4. *Cylindropuntia fulgida fulgida*
(CHOYA)



5. *Acacia cochliacantha*
(ACACIA)



6. *Parkinsonia microphylla*
(PALO VERDE)

Figura 14. Vegetación típica en el sitio de estudio.



Figura 15. Cobertura vegetal durante el inicio del Monzón de Norteamérica.

3.2. Equipo y material utilizado

Los equipos que utilizados son:

1. GPS Zenith 20 GPS RTK Network Rover GSM. Marca GeoMax: Se utilizó en campo para levantamiento de los puntos de las microcuencas en la microcuenca de la torre Rayón.
2. Estación Total. Marca GeoMax, serie ZT20. Se utilizó para tomar los puntos de para contrastar con las altitudes de los píxeles correspondientes con los puntos y evaluar la precisión del modelo digital del terreno de alta resolución.
3. Computadora DELL. Procesador: Intel® Core™ i7-2600 CPU. Computadora Gateway ID59C02m 4GB TDR3 memory Intel® Core™ i7- 640AM. Se utilizaron para descargar los datos del GPS y de la Estación Total, elaborar el modelo en ArcGIS y para realizar los análisis estadísticos.

Programas informáticos

1. ArcGIS 10.2.2: Se utilizó para generar el modelo de elevación, a partir de los datos obtenidos con el levantamiento de campo con GPS diferencial.
2. AutoCAD 2015: Para la elaboración y adaptación de imágenes geo referenciadas del sitio de estudio.
3. Microsoft Excel: Para adaptación y captura de la base de datos en el formato requerido por ArcGis y para hacer los análisis comparativos de validación del modelo.

3.3. Procedimiento operativo

En este apartado se describe el procedimiento operativo para construir el modelo digital de alta resolución tanto en campo como en gabinete y se describen los procedimientos para su validación.

3.3.1. Trabajo de campo

El trabajo de campo se inició de acuerdo al plan establecido en el calendario, iniciando actividades en octubre de 2014 y finalizando en junio de 2015.

1. Visitas de reconocimiento al sitio.
2. Recorrido por la vertiente. Se identificaron para identificar parteaguas, cauces y sitios relevantes de la cuenca.
3. Identificación de sitio base para ubicar GPS. Se eligió el punto con mayor altitud en la cuenca y con la menor densidad de vegetación, de manera que la señal del GPS llegase a toda la cuenca. Este punto constituye un banco de nivel para futuras referencias.
4. Instalar antena. Se configuró la antena base con datos como altura, y las coordenadas de la base mediante el cálculo promedio de la posición de punto denominado épocas (Figura 16).



Figura 16. Instalación y configuración de la base de GPS Zenith 20

La base del GPS diferencial quedó instalada y referenciada con el valor promedio de coordenadas de más de 300 valores determinados por el GPS debido a que no se cuenta con un punto conocido en el sitio.

5. Propiedades de las capas. Una vez instalada la base, se configuró el receptor móvil el móvil con las propiedades que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla No. 1 Propiedades de las capas de información

Proyección	UTM
Datum	WGS84
Unidades	Metros
Zona	12
Altura del instrumento	Metros
RTK	Fijo
Corrección de altura	Si
Antena	UHF

La altura del móvil debe de considerar factores como la altura de la vegetación, interferencia y la comodidad del usuario (Figura 17).



Figura 17. Instalación y configuración del móvil con una altura apropiada de acuerdo a la vegetación del sitio.

Con el GPS en modo RTK (modo cinemático en tiempo real) se obtienen coordenadas en tiempo real con precisión de centímetros y es recomendable para el levantamiento topográfico de grandes superficies.

6. Levantamiento de datos. Conforme a la planeación del levantamiento, se avanzó en campo delimitando la cuenca con un polígono que cubriera todo el parteaguas y posteriormente se fue cubriendo toda el área con una densidad aceptable de puntos. En los cauces se puso especial atención, tratando de delinear el eje del cauce por los puntos más bajos y sobre los taludes laterales, para delinear la sección, con detalles en cambios abruptos en la elevación.

Durante este procedimiento es necesario verificar que la señal siga continua, en caso contrario se cambia la base, se verifica el punto y se observan las obstrucciones o posibles factores por los cuales no se obtuvo la precisión deseada.

En zonas de vegetación densa, es importante buscar los espacios para tomar los puntos que permitan delinear la forma del terreno.

Es recomendable no realizar el levantamiento después de las 14:00 horas, por la recepción de satélites en esta zona horaria.



Figura 18. Procedimiento para realizar el trabajo de campo.

Los primeros levantamientos en campo se realizaron durante los meses de octubre a diciembre de 2014, cuando la vegetación era demasiado densa y no permitió obtener datos precisos. El programa de trabajo se replanteó, reprogramándose el levantamiento para los meses más secos, en los que la vegetación no tiene follaje y permite que el GPS funcione mejor.

3.3.2. Trabajo en gabinete

El trabajo en gabinete consistió en la descarga de los datos en los equipos de cómputo en los formatos apropiados, su análisis e interpretación y en la redacción de la tesis. A continuación se describen las actividades realizadas.

1. Descarga de datos

Los datos del GPS y de la Estación Total fueron almacenados en memorias de los equipos. Una vez en la oficina, fueron descargados a los discos duros de

computadoras, donde fueron habilitados en los formatos de Excel y ArcGIS para ser procesados revisados y posteriormente procesados.

En la figura 19 se muestra un esquema del procedimiento para elaborar el modelo digital del terreno.

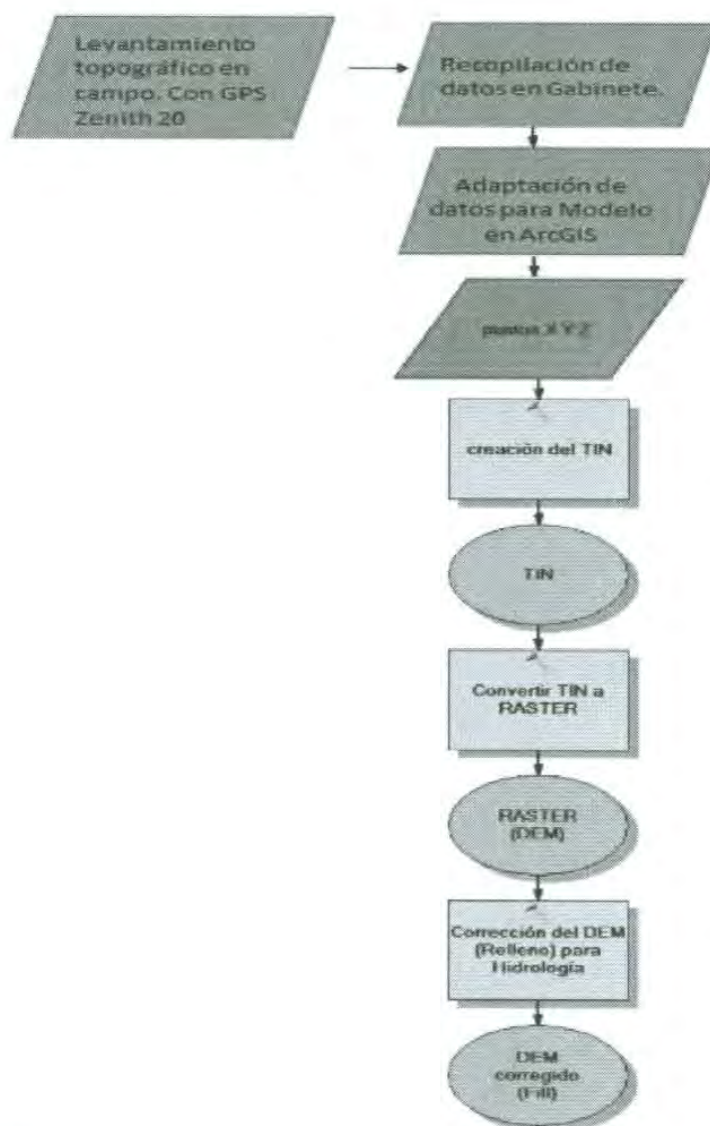


Figura 19. Diagrama del procedimiento para elaborar el DEM-AR.

2. Preparación de las capas de información

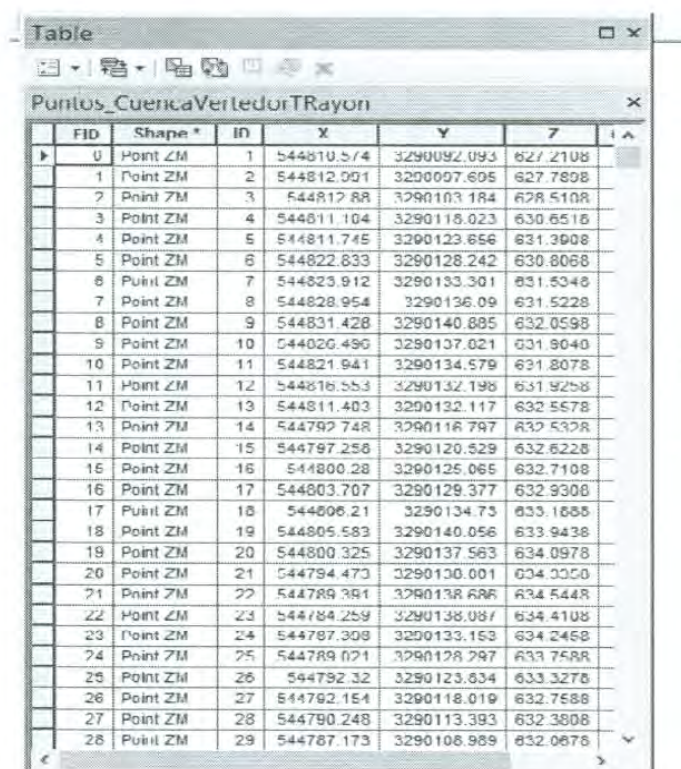
Las capas fueron referenciadas espacialmente de acuerdo con los parámetros de la región que se muestran en la tabla No. 2.

Tabla No. 2 Propiedades de las capas de información

Proyección	UTM
Datum	WGS84
Unidades	Metros
Zona	12

3. Datos de Entrada en ArcGis

La base de datos de los puntos levantados en campo se descargaron al equipo de cómputo utilizando los programas informáticos que de la controladora, que tiene como opciones los formatos: shape, dwg, ascii, .xls, con los que pueden manipularse o procesarse en otros programas informáticos, como Excel o ArcGis. En la figura 20 se muestra la tabla de atributos en ArcMap como entrada de datos para el MDT.



FID	Shape*	ID	X	Y	Z
0	Point ZM	1	544810.574	3290092.093	627.2108
1	Point ZM	2	544812.001	3290097.605	627.7898
2	Point ZM	3	544812.88	3290103.184	628.5108
3	Point ZM	4	544811.104	3290115.023	630.6516
4	Point ZM	5	544811.745	3290123.656	631.3908
5	Point ZM	6	544822.833	3290128.242	630.8068
6	Point ZM	7	544823.912	3290133.301	631.5348
7	Point ZM	8	544828.954	3290136.09	631.5228
8	Point ZM	9	544831.428	3290140.885	632.0598
9	Point ZM	10	544826.496	3290137.021	631.9040
10	Point ZM	11	544821.941	3290134.579	631.8078
11	Point ZM	12	544816.553	3290132.198	631.9258
12	Point ZM	13	544811.403	3290132.117	632.5578
13	Point ZM	14	544792.748	3290116.797	632.5328
14	Point ZM	15	544797.256	3290120.529	632.6228
15	Point ZM	16	544800.28	3290125.065	632.7108
16	Point ZM	17	544803.707	3290129.377	632.9308
17	Point ZM	18	544806.21	3290134.73	633.1888
18	Point ZM	19	544805.583	3290140.056	633.9438
19	Point ZM	20	544800.325	3290137.563	634.0978
20	Point ZM	21	544794.473	3290130.001	634.3350
21	Point ZM	22	544789.391	3290138.686	634.5448
22	Point ZM	23	544784.259	3290138.087	634.4108
23	Point ZM	24	544787.309	3290133.153	634.2458
24	Point ZM	25	544789.071	3290128.797	633.7588
25	Point ZM	26	544792.32	3290123.634	633.3278
26	Point ZM	27	544792.154	3290118.019	632.7588
27	Point ZM	28	544790.248	3290113.393	632.3808
28	Point ZM	29	544787.173	3290108.989	632.0678

Figura 20. Coordenadas de los puntos obtenidos en campo.

Los puntos se descargaron en formato shape para ser manipulados en ArcGIS se almacenaron en la carpeta “Puntos_CuencaVertedorTRayon” contenida, a su vez, en la carpeta C:\CuencaVertedorTRayon de la Tabla de Contenido de ArcMap. Para el proceso de la información en ArcGIS, se activó la extensión *Geostatistical Analyst* desplegándose la ventana que se muestra en la figura 21 y se visualizaron en pantalla los puntos captados con el GPS en campo.

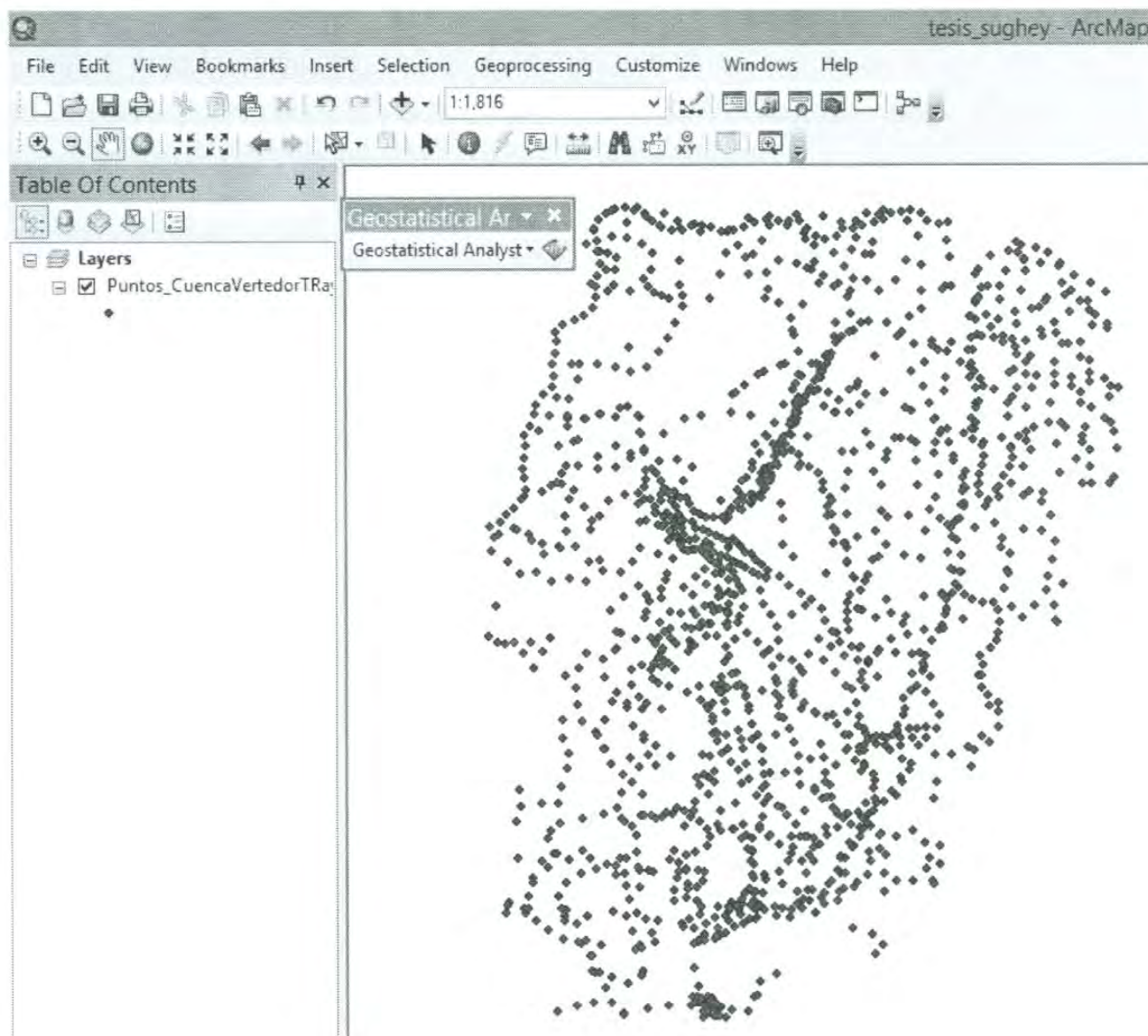


Figura 21. Capa de puntos obtenidos en campo con el GPS

La herramienta se activa con la secuencia siguiente:

Geostatistical Analyst → Explore Data → Trend Analysis

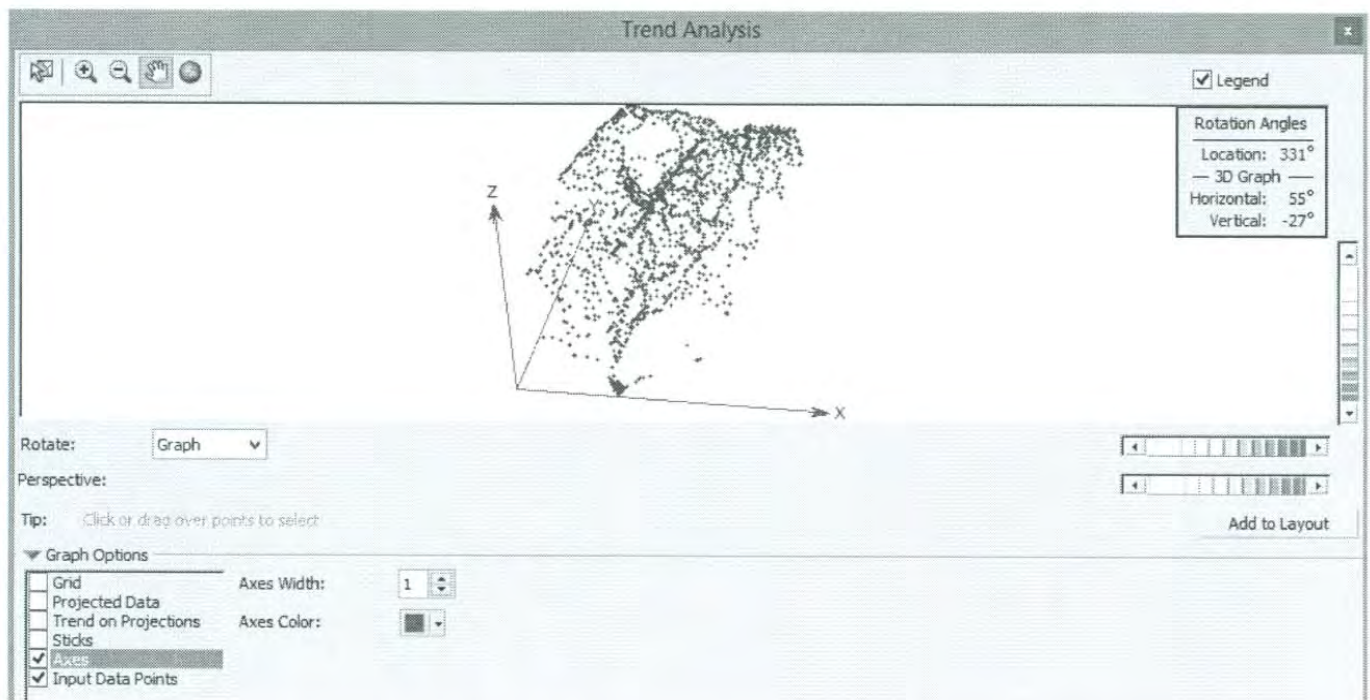


Figura 23. Análisis de congruencia y calidad de los datos

Cuando el análisis visual de datos indica que los datos son apropiados para la elaboración de un TIN, entonces se utiliza la Herramienta de crear un TIN de ArcToolBox que se muestra en la figura 24.

5. Creación del modelo TIN a partir de puntos (x,y,x)

En la caja de herramientas de ArcGis (ArcToolbox) se elige *Create TIN*.

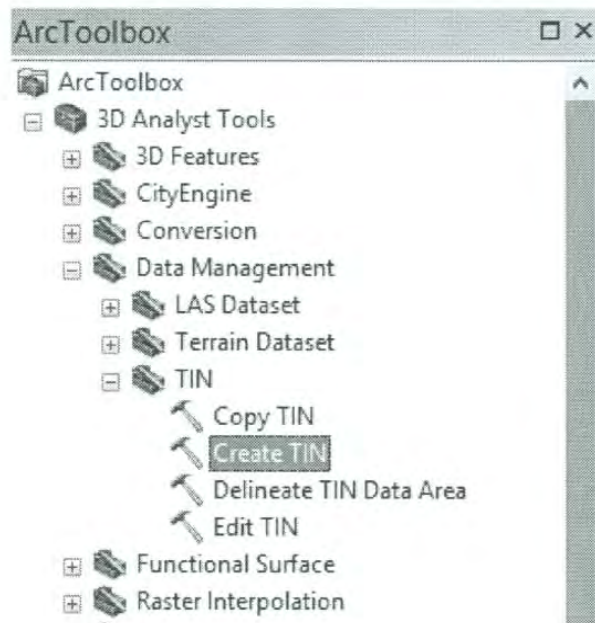


Figura 24. Herramienta para crear TIN

La herramienta create TIN solicita datos de entrada y la ruta de salida del producto, así como el sistema de coordenadas utilizados por las capas (figura 25).

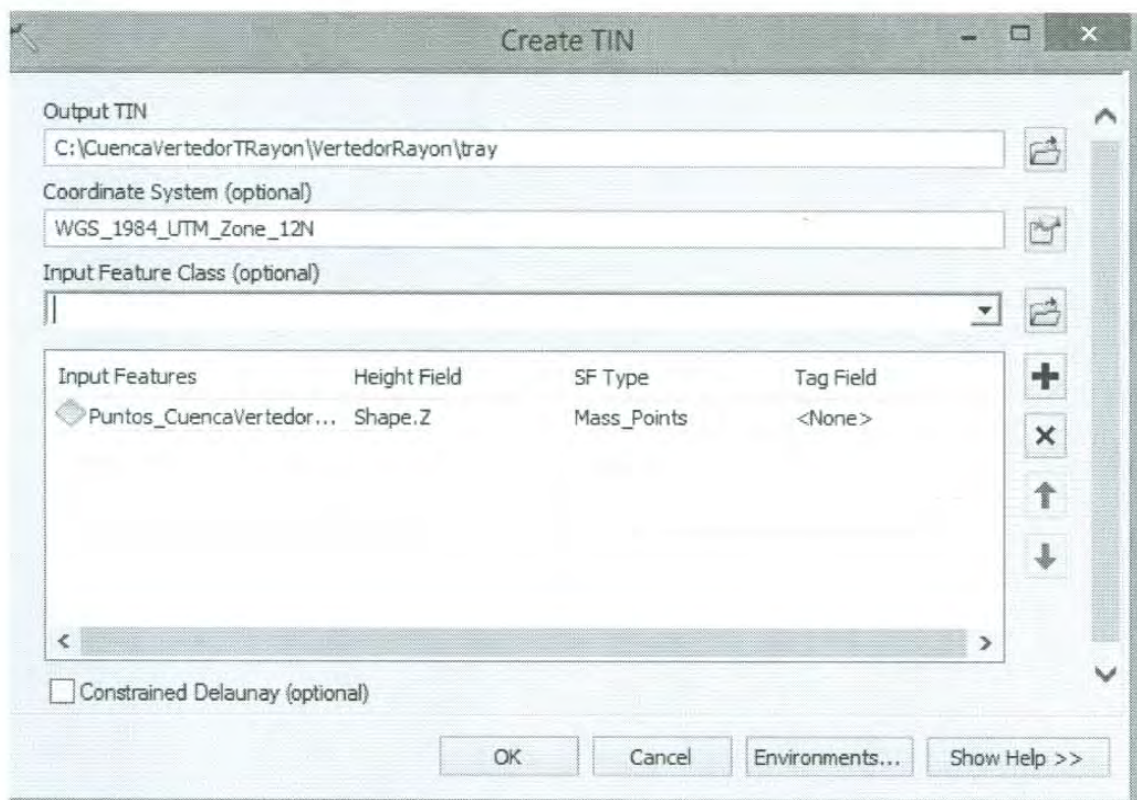


Figura 25. Sistema de referencia espacial de los datos.

Con toda la información requerida por la herramienta, se ejecuta el procedimiento y se crea el modelo TIN que se muestra en la figura 26.

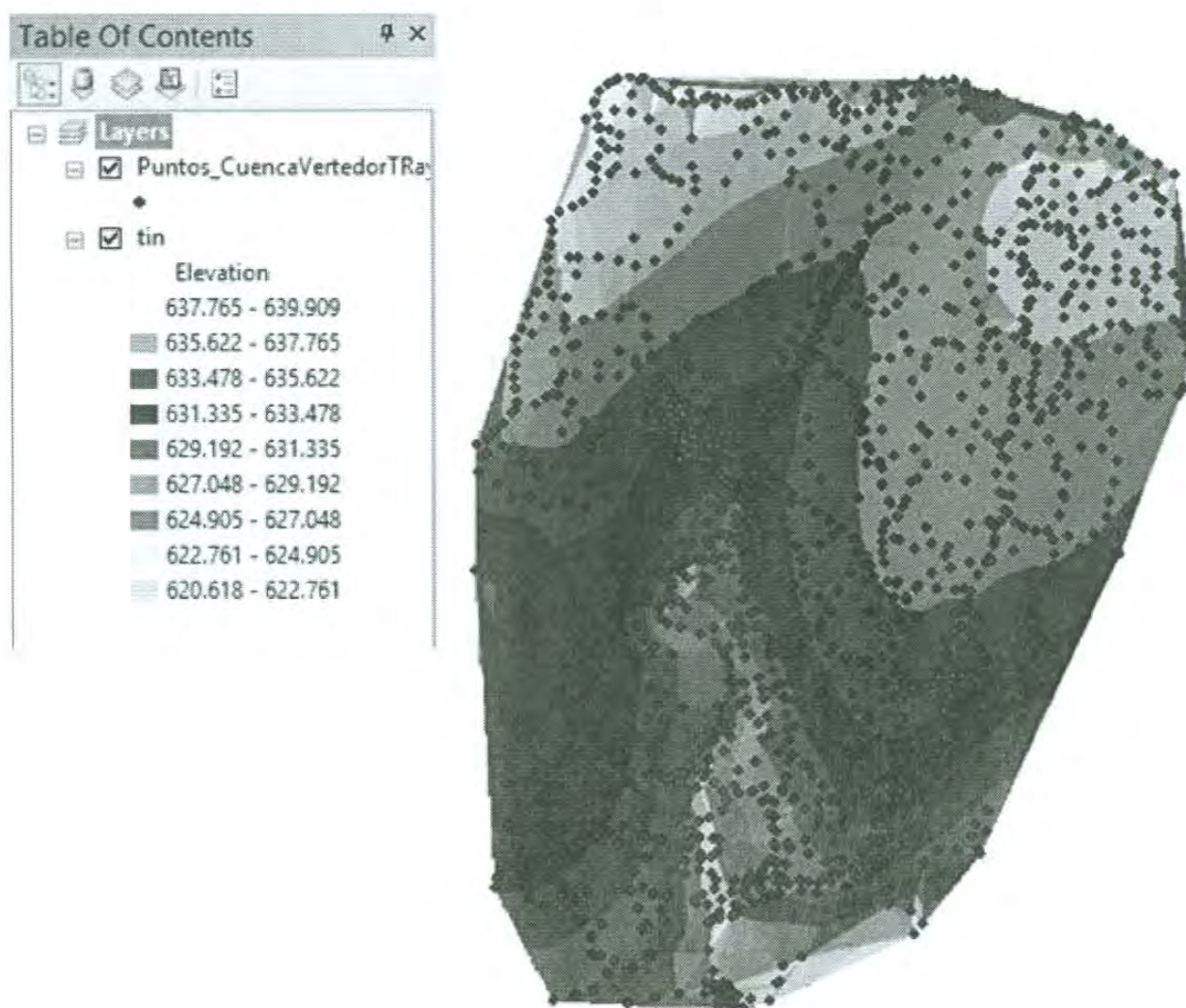


Figura 26. Modelo TIN creado de la cuenca, creado con los puntos (x,y,z).

6. Ubicación de punto de salida de la cuenca.

En la salida de la cuenca existe un vertedor de pared delgada con el que se mide el escurrimiento. Este punto se utiliza como referencia para la delineación de la microcuenca. Para agregarlo al modelo triangular, se requiere la secuencia siguiente:

File→Add Data→Add XY Data

y se selecciona la hoja 1 del archivo de Excel.

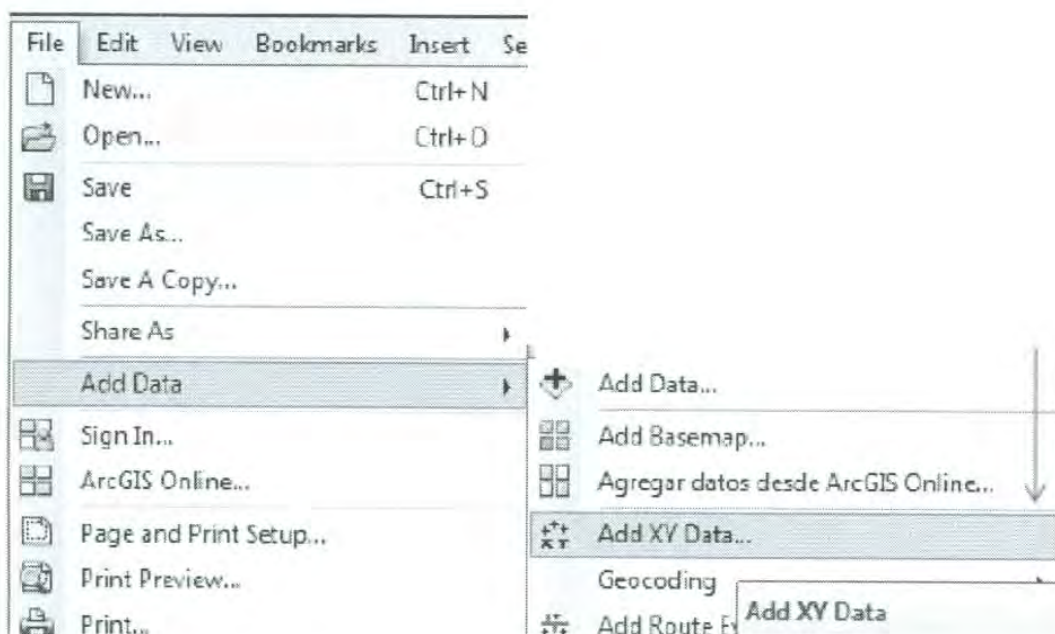


Figura 27. Agregar el punto de salida de la cuenca.

Este punto se convierte en shape para poderlo utilizar como el OUTLOT a partir del que se generará el parteaguas de la cuenca.

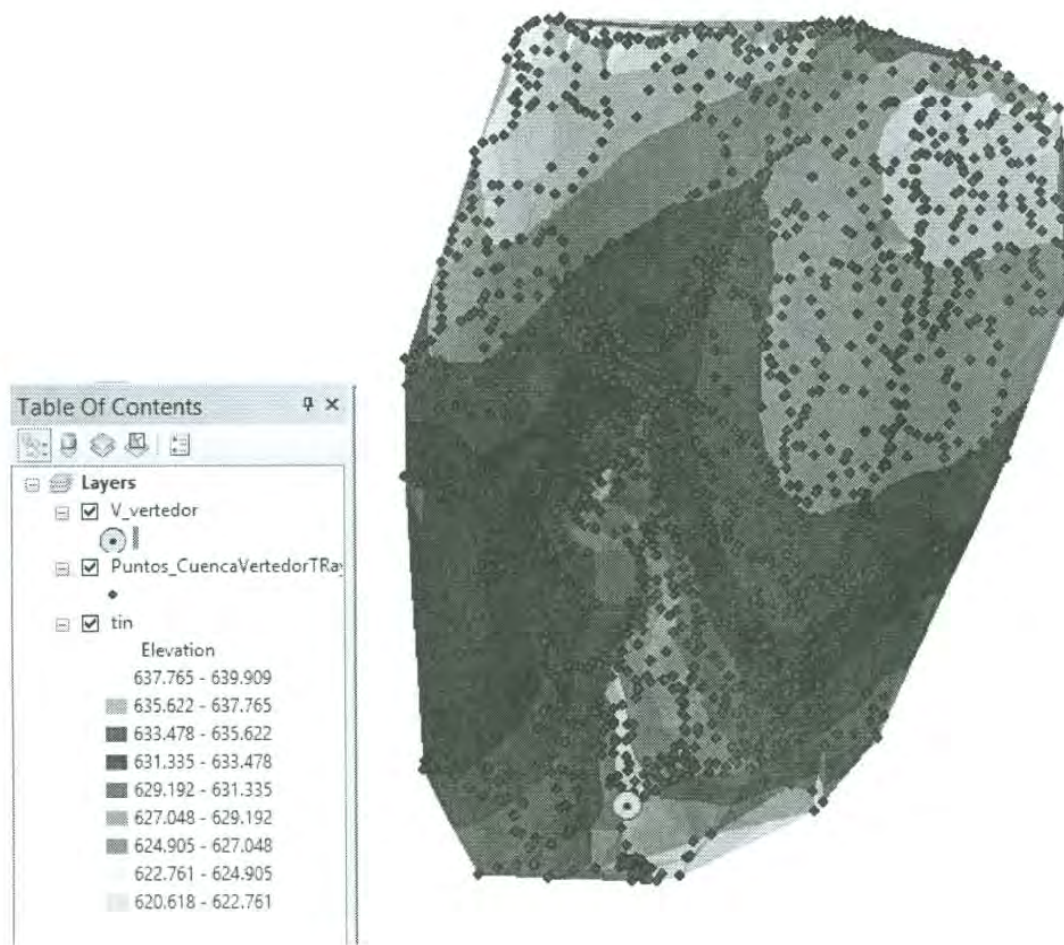


Figura 28. Modelo TIN con el punto de salida de la cuenca.

7. Creación del MDT a partir del modelo TIN

A partir del TIN generado se puede continuar con la creación del MDT (digital terrain model). Nuevamente con la ayuda de ArcToolBox siguiendo la secuencia:

3d Analyst→Conversion→From TIN→TIN to raster

El despliegue de esta herramienta, solicita como dato de entrada el TIN generado, la ruta o carpeta de salida, los métodos y las condiciones de conversión.

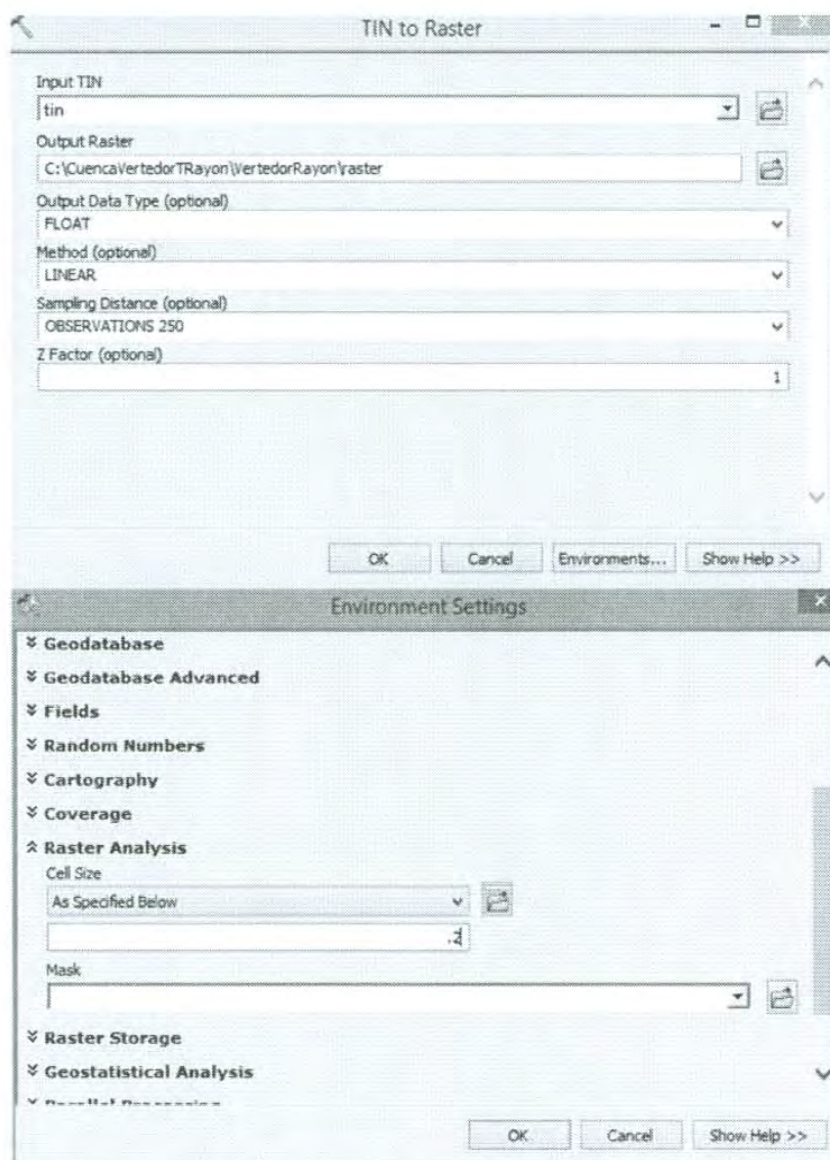


Figura 29. Pasos para creación de TIN a MDT

8. Obtención del MDT-AR

Como resultado ArcMap despliega el MDT-AR así como la escala de valores mínimo y máximo de la elevación en el modelo en la tabla de contenidos como una nueva capa.

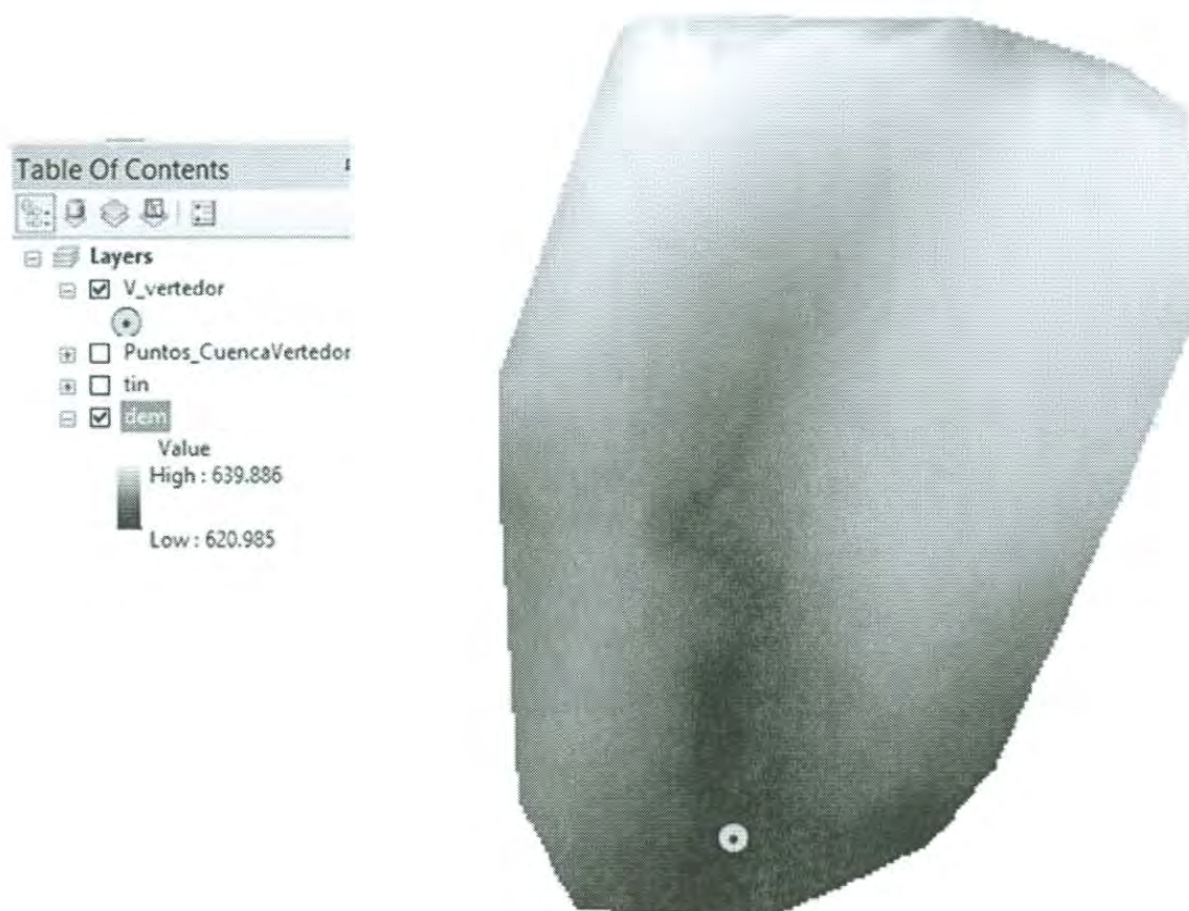


Figura 30. Modelo digital del terreno de alta resolución de la cuenca.

El modelo generado tiene resolución de 1.0 m x 1.0 m, que es la resolución más acorde al espaciamiento con que se tomaron los puntos con el GPS. Entre más fina es la malla, es menor el tamaño del píxel con el que se puede construir el MDT.

3.3.3. Evaluación de la precisión del modelo digital del terreno de alta resolución

Se tomaron puntos con estación total en tres sitios representativos de la cuenca (Figura 31). El equipo se ubicó en sitios localizados con el GPS diferencial y se captaron puntos en cauces, zonas medias y altas representativas de la cuenca. Estos puntos servirán para contrastar con los correspondientes del modelo digital de alta resolución que se creará con los puntos del GPS.

En la figura 33, la porción señalada como A, es representativa de la parte alta de la cuenca y se caracteriza por su alta densidad de vegetación típica de la zona y no fue posible tomar datos con la ET de la zona de cauces debido a que no había visibilidad; la región marcada como B, corresponde a la parte media, donde la vegetación es menos densa y gran parte de los datos se tomó en cauces; el área identificada como C, corresponde a la parte baja y se caracteriza por sus pendientes pronunciadas y densa vegetación, a pesar de lo que se pudo tomar gran cantidad de puntos en el cauce principal de la cuenca.

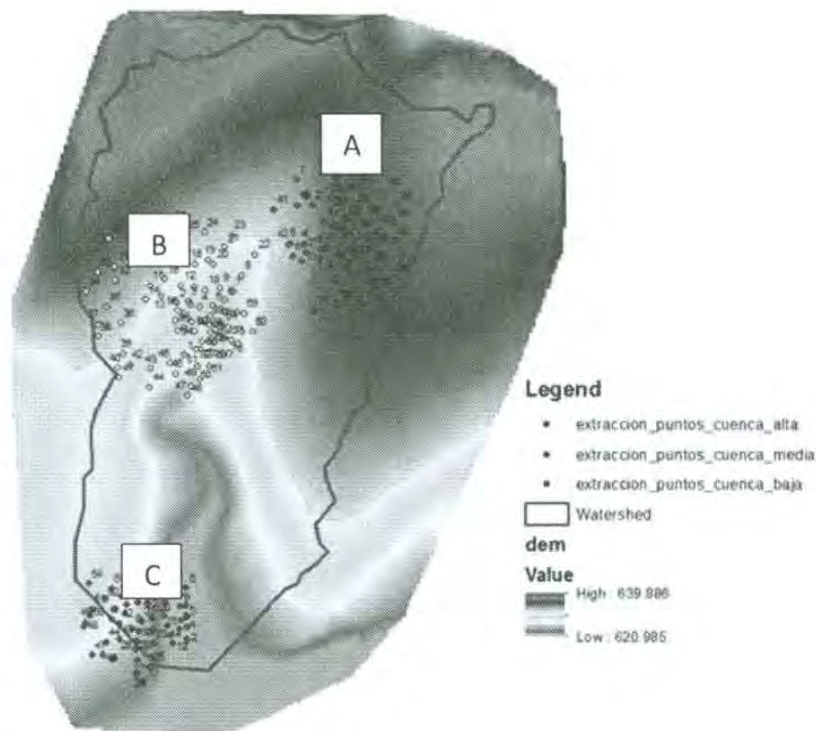


Figura 31. Puntos de coordenadas (x,y,z) tomados con estación total en zona alta (A), zona media (B) y zona baja (C).

La comparación se realizó entre las elevaciones de los puntos tomados con Estación Total y los correspondientes en el modelo digital del terreno de alta resolución, que fueron extraídas del modelo con herramientas de ArcGIS.

a) Comparación punto a punto de las elevaciones

Se compararon las elevaciones punto a punto en las tres porciones de la cuenca, determinando sus parámetros estadísticos y mostrándolos en un gráfico para visualizar sus tendencias y diferencias.

b) Análisis de correlación

Se realizó un análisis de correlación entre las altitudes medidas con la estación total y las correspondientes extraídas del modelo digital. También se determinaron los parámetros estadísticos de los datos y se mostraron en gráficos para visualizar los resultados.

IV. Resultados y discusión

La aplicación del procedimiento arrojó como resultado distintos productos, que inician la nube de puntos (figura 32 a) que se puede utilizar para generar un modelo digital de estructura TIN (Red de triangulación irregular, por sus siglas en inglés) y el modelo digital del terreno de 1.0 x 1.0 m de resolución que se muestra en la figura 32.

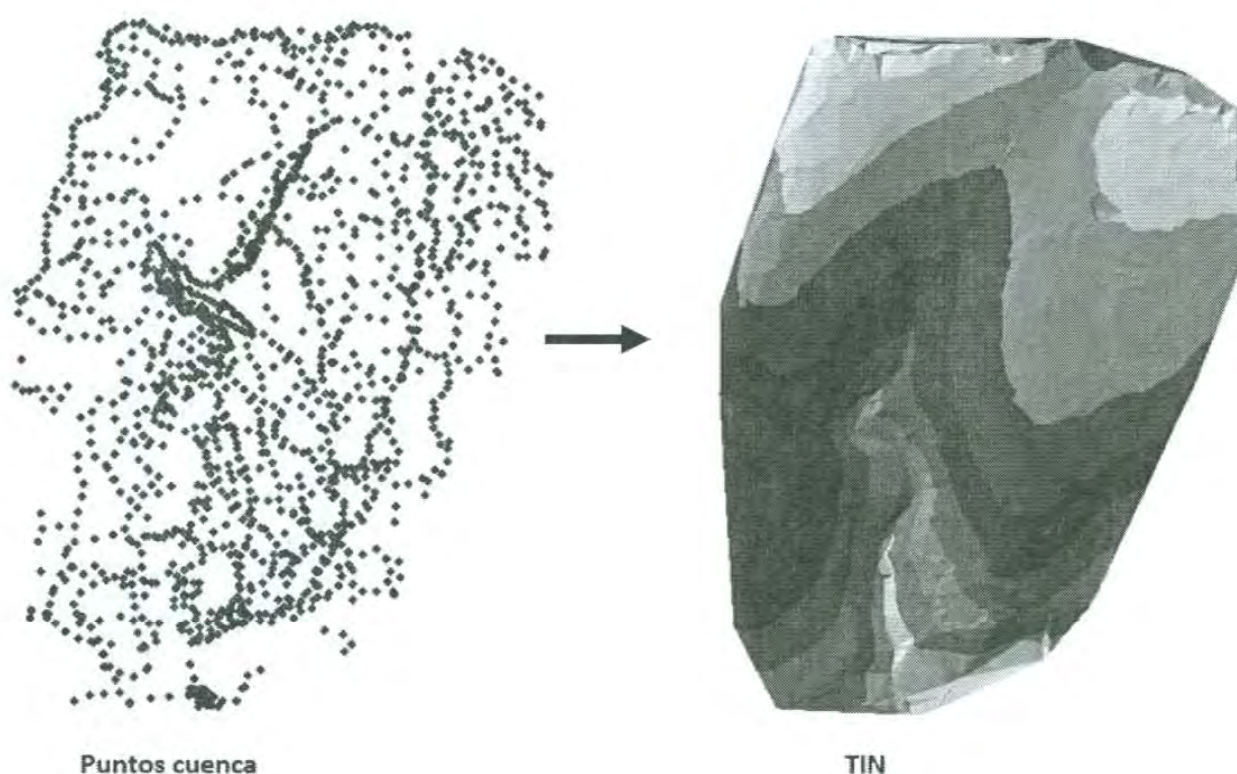


Figura 32. De Puntos a TIN

El modelo ráster puede representarse con distintas paletas de colores, con el fin de realzar ciertos rasgos, como zonas bajas, altas o distintos rangos de altitud del terreno (figura 33).

El modelo digital puede ser representado con vistas en perspectiva en 3D, opción que lo convierte en una herramienta muy valiosa para visualización de ciertos rasgos de la superficie del terreno (figura 34).

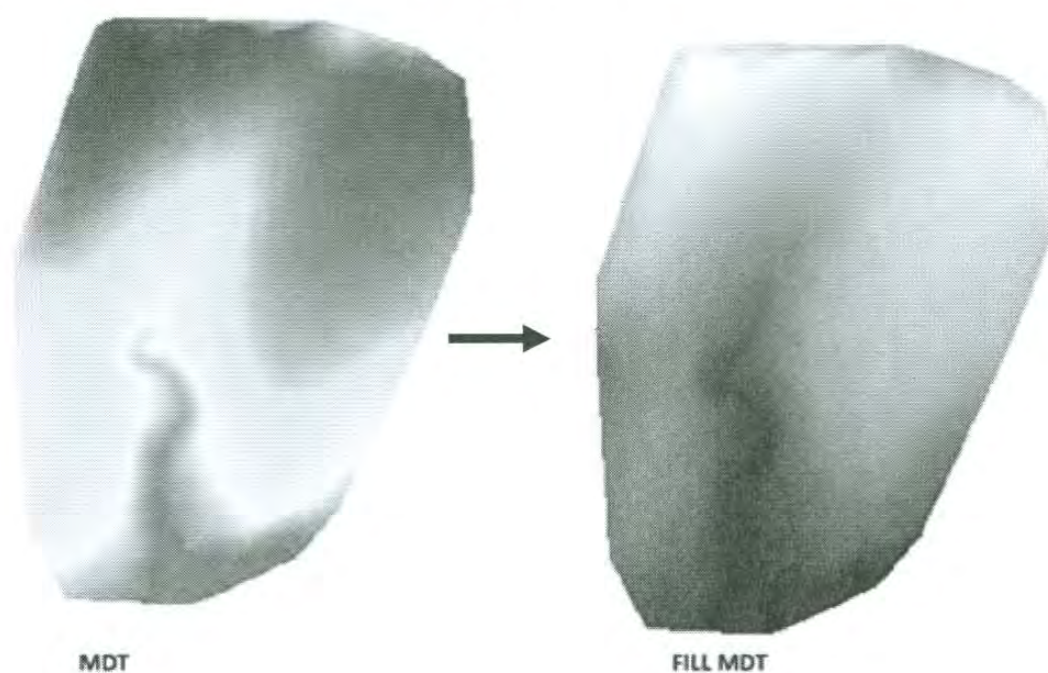


Figura 33. Presentación del modelo digital del terreno.



Figura 34. Vista 3D del modelo digital del terreno (MDT)

Precisión de los resultados

En la tabla 3 se muestran medidas de tendencia central y de dispersión de las altitudes tomadas con la estación total y las correspondientes en el modelo digital y en las figuras 35, 36 y 37 se muestran los valores de altitud de los puntos medidos con la estación total y los correspondientes en el modelo digital del terreno.

En la parte alta de la cuenca (Figura 35), se aprecia que los valores de altitud tomados con la estación total, son mayores 0.6910 m promedio, mientras que en la porción media de la cuenca (figura 36), existe una diferencia de 0.9400 m. En la parte baja de la cuenca (figura 37), son las elevaciones en el modelo las que superan con 0.2844 m en promedio las del modelo digital en los puntos correspondientes.

Las varianzas se mantienen parecidas, lo que indica que las altitudes tienen dispersión similar y hay congruencia entre ambos valores de altitud en todos los sitios.

La diferencia se mantiene aproximadamente constante en cada sitio, lo que sugiere que es debido a que no se hicieron puntos de liga para trasladar la estación total a cada uno de los puntos de validación; sin embargo, la diferencia casi constante entre las altitudes en los tres puntos, indica que el modelo construido con el GPS representa la superficie del terreno con una precisión aceptable.

Tabla No. 3 Análisis estadístico de las altitudes.

Sitio A	Z _{ET}	Z _{GPS}	Diferencia
Promedio	636.86	636.17	-0.6910
Desv. Estándar	0.96	0.91	0.1143
Sitio B			
Promedio	633.36	632.42	-0.9413
Desv. Estándar	1.65	1.53	0.3408
Sitio C			
Promedio	627.92	628.20	0.2844
Desv. Estándar	2.75	2.67	0.1401

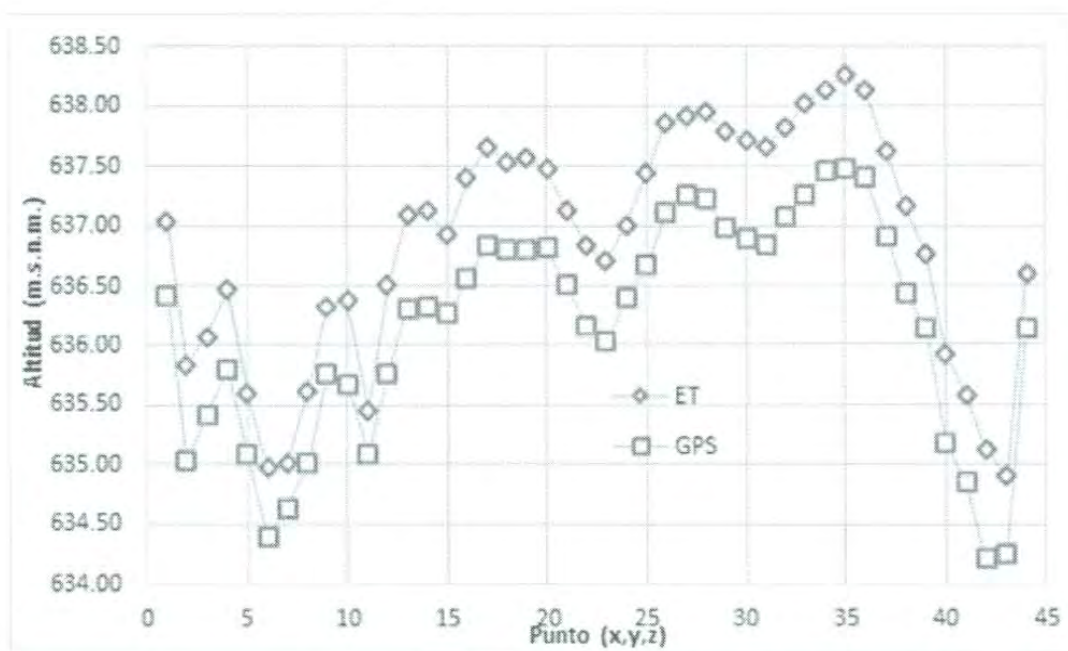


Figura 35. Comparación de altitudes medidas con estación total y las del modelo digital del terreno de alta resolución en el sitio A.

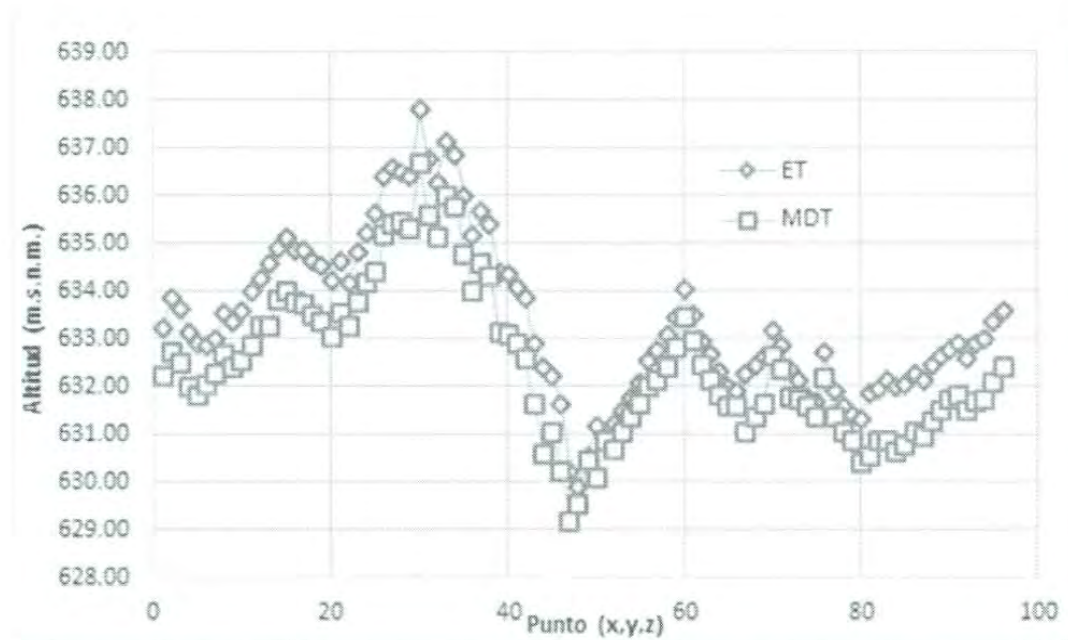


Figura 36. Comparación de altitudes medidas con estación total y las del modelo digital del terreno de alta resolución en el sitio B.

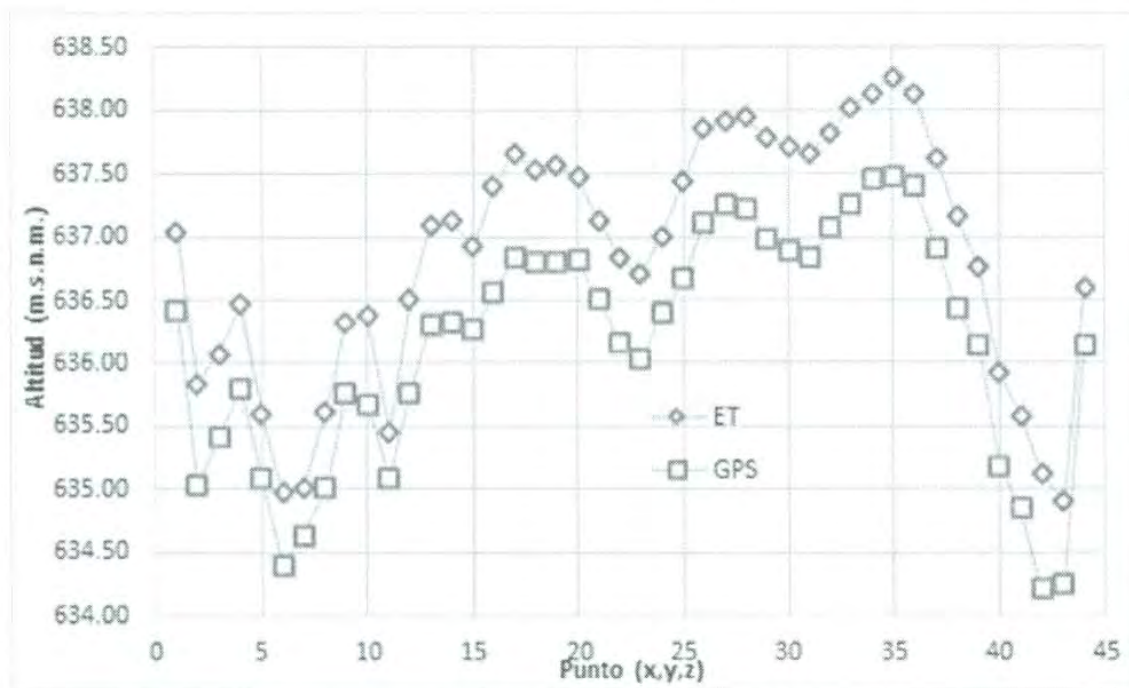


Figura 35. Comparación de altitudes medidas con estación total y las del modelo digital del terreno de alta resolución en el sitio A.

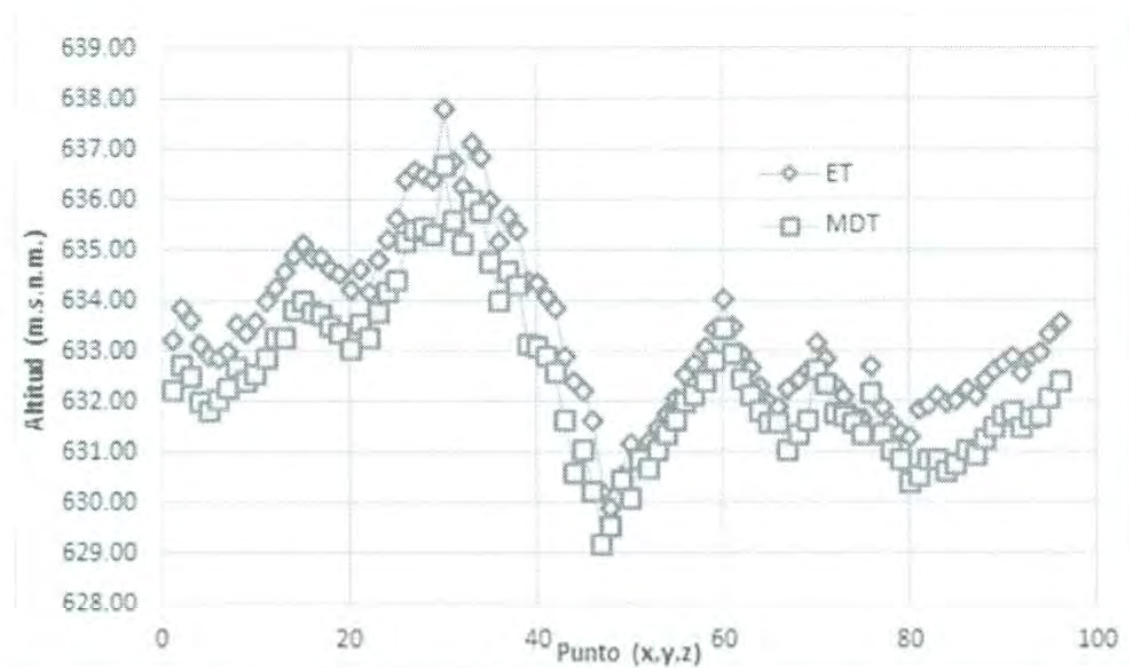


Figura 36. Comparación de altitudes medidas con estación total y las del modelo digital del terreno de alta resolución en el sitio B.

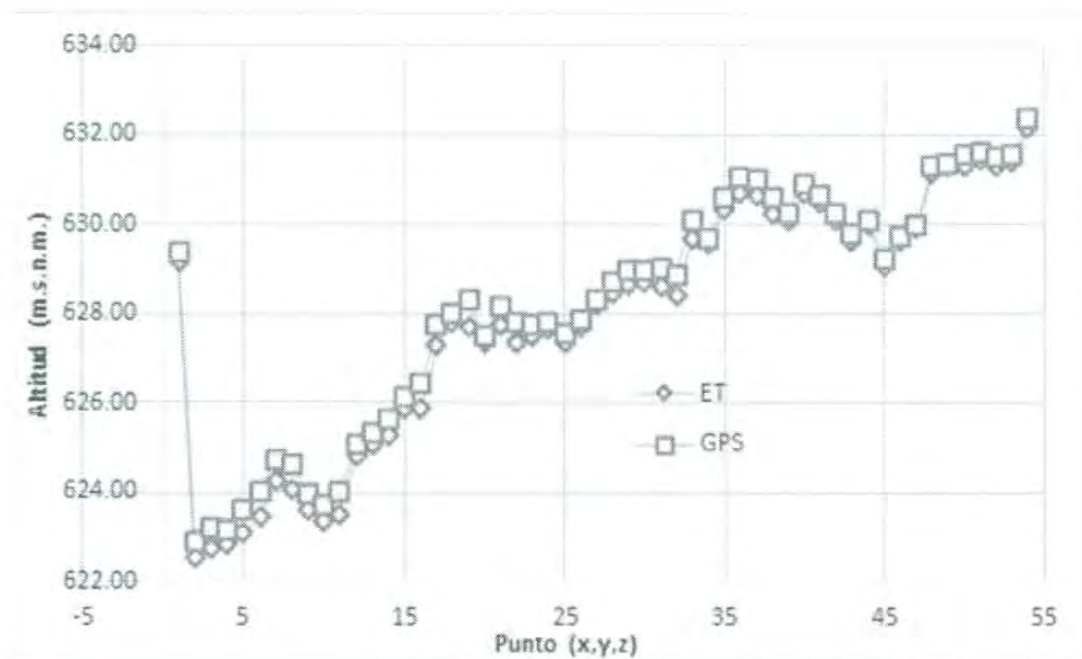


Figura 37. Comparación de altitudes medidas con estación total y las del modelo digital del terreno de alta resolución en el sitio C.

En las figuras 38, 39 y 40, se muestran los resultados del análisis de correlación entre las altitudes tomadas con el GPS y las de los puntos correspondientes en el modelo digital del terreno de alta resolución. En los tres sitios se aprecia una buena correlación, observándose mayor dispersión en los puntos de baja altitud, que corresponden a las áreas donde se localizan los cauces de la cuenca y que también se caracterizan por ser los de vegetación más densa y alta.

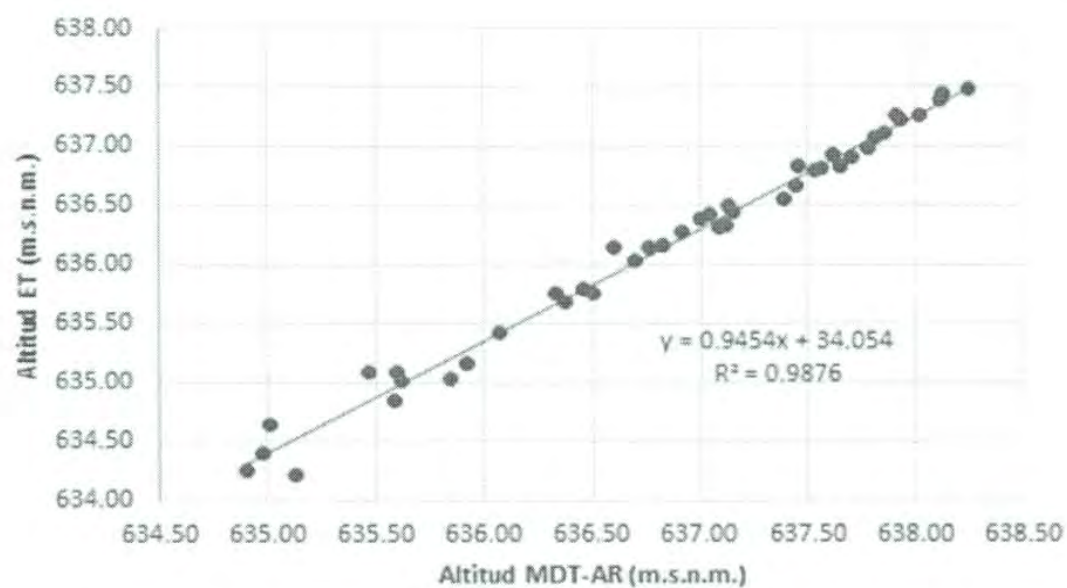


Figura 38. Análisis de correlación en la zona A (parte alta de la cuenca).

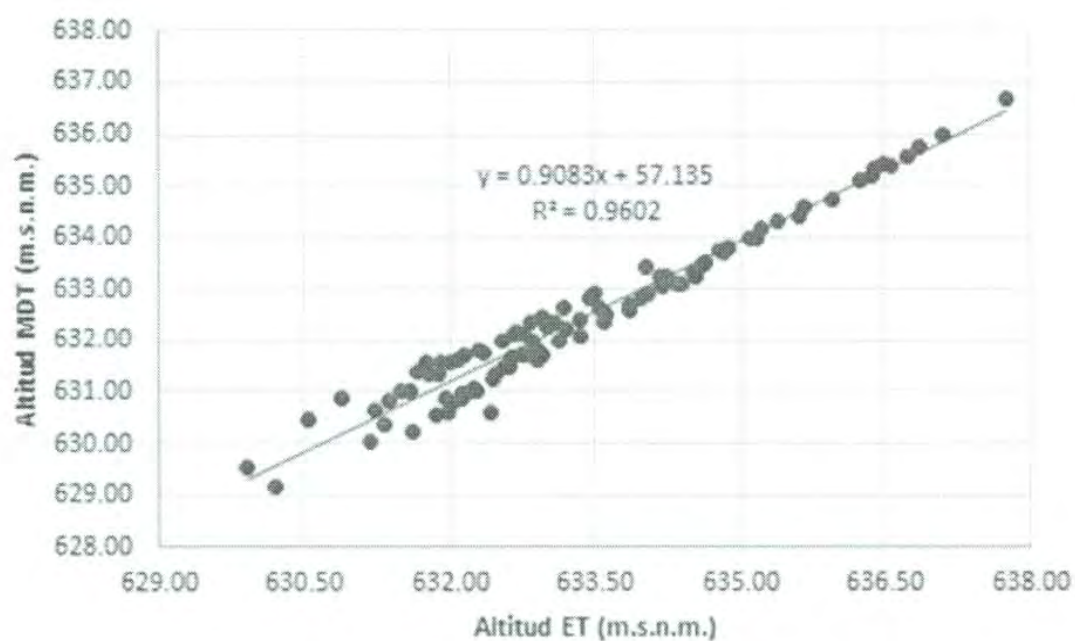


Figura 39. Análisis de correlación en la zona B (parte media de la cuenca).

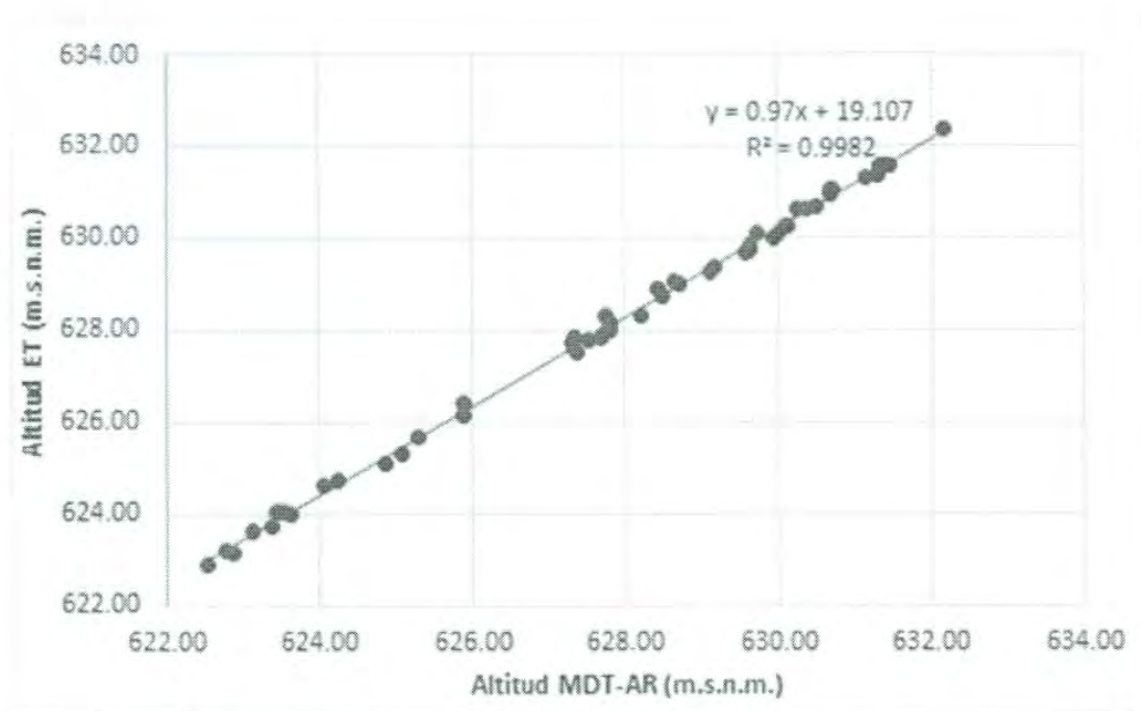


Figura 40. Análisis de correlación zona C (parte baja de la cuenca).

V. Conclusiones y recomendaciones

El modelo de alta resolución (1.0 m x 1.0 m) elaborado con el procedimiento descrito, representa la topografía del terreno con una precisión aceptable para realizar estudios de hidrología en la microcuenca Torre Rayón, Sonora.

Con el procedimiento propuesto, se pueden elaborar este tipo de modelos en sitios donde no haya una gran densidad de vegetación, o bien, donde exista vegetación caducifolia que permita que en las temporadas secas se puedan hacer los levantamientos topográficos.

Aunque este fue un primer intento y el modelo que se elaboró, tiene las propiedades y la precisión requerida para ser utilizado como soporte para estudios de Hidrología, Ecohidrología e Ingeniería Ambiental en la cuenca, que pueden ser desde ubicación de sitios de muestreo y medida, hasta modelación hidrológica, incluso de parámetros distribuidos.

La metodología propuesta podrá ser repetida en otras zonas del noroeste de México, incluso del país y puede constituir un valioso elemento de soporte para ampliar el conocimiento de los elementos del Ciclo Hidrológico en zonas áridas.

Aunque se concluye que el modelo es preciso y satisface las necesidades para las que fue elaborado, es posible mejorarlo, tanto en la calidad y precisión del producto,

como del proceso de su validación, por lo que se hacen las siguientes recomendaciones:

Aunque el MDT-AR es un producto terminado y validado, es posible mejorarlo haciendo más densa la red puntos, con lo que se podrá hacer más fina la resolución, para esto, es recomendable llevar a cabo el levantamiento topográfico en el período más seco del año, cuando no tenga hoja la vegetación y utilizar el siempre el mismo equipo de GPS.

Colocar un banco de nivel definitivo en la cuenca, con coordenadas precisas, que sirva para referir las coordenadas de todos los puntos levantados en la cuenca y para estudios futuros.

En relación a los puntos de validación con estación total, los puntos de observación deben estar referidos al banco de nivel fijo y los cambios de posición del equipo, deben hacerse con puntos de liga y no mediante posicionamiento con el GPS.

VI. Referencias bibliográficas

Casanova, L. (2002). *Sistema de Posicionamiento Global por Satélites. Módulo introductorio*. Universidad de los Andes. Venezuela.

<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/Inova/Archivos/PowerPoint/SISTEMA%20DE%20POSICIONAMIENTO%20GLOBAL.pdf>

CEA (Confederación de Empresarios de Andalucía). (2010). <http://sig.cea.es/SIG>

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). *División de desarrollo sostenible y asentamientos humanos*. (2000). Evaluación de la sostenibilidad en América Latina y el Caribe. <http://www.cepal.org/cgi-bin/getprod.asp?xml=/esalc/noticias/paginas/1/12741/P12741.xml&xsl=/esalc/tpl/p18f.xsl&base=/esalc/tpl/top-bottom.xsl>

CONAGUA (1992). *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. México.

CONAGUA (2010). *Datos de estaciones climatológicas*. Servicio Meteorológico Nacional. México.

http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Item=8

Daniele, D. (2007). *Aplicación de Sistemas de Información Geográfica al estudio de acuíferos complejos*. Tesis Doctoral. Universidad de Almería. España

-
- Felícísmo, A. M. (1994). *Modelos Digitales de terreno. Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. Universidad de Oviedo. España.
- <http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/CursoMDT.html>
- Granillo, E. L. (2011). *Hidrogeología*. Universidad de Sonora. Hermosillo.
- INEGI. Modelos digitales de elevación. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México.
- <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/queesmde.aspx>
- Ellis, F. (1999). *Gis self learning tool. Introduction to GIS*.
- http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GIST_Vector.htm
- Llopis, J. P. (2005). *Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio*. San Vicente: Editorial Club Universitario.
- Montes de Oca, Miguel (1996). *Topografía* 4 ed. revisada, Alfaomega. México.
- Ortiz, E. y Soto, C. (s.f.). *Fundamentos teóricos básicos sobre sistemas de información geográfica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- <https://tecdigital.tec.ac.cr/file/2480270/cap>
- Presutti, M (2002). *Evaluación de errores en modelos digitales de elevación (DEM) generados mediante diferentes técnicas de interpolación*. X Simposio Latinoamericano de Percepción Remota, SELPER, Cochabamba. Bolivia.
- Presutti, M. E. (2009). *Comparación de un DEM generado a partir de curvas de nivel*. Anais Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto. INPE. Natal, Brasil.
- <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.13.19.08/doc/2943->

VII. Anexos

- Póster de ponencia en Semana de Ingeniería "Ingeniería para la Sociedad".
Noviembre de 2014
- Reconocimientos de Semana de Ingeniería "Ingeniería para la Sociedad". Noviembre
de 2014
- CD con datos (x,y,z) de GPS y Estación Total

Cristina Sotelo Núñez¹, Sughey Alejandra Miranda Torres¹, Ariana Paz González¹, Alejandra Castro Valencia², Alejandro Saiz Rodríguez², Juan Saiz Hernández²

¹ Estudiantes y ² Profesores del Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la Universidad de Sonora

Introducción

Los sistemas de información geográfica constituyen una valiosa herramienta para la modelación hidráulica e hidrológica por su capacidad para desarrollar procesamientos y análisis rápidos y confiables. A la vez que facilitan los cálculos, proveen las extensiones para diseñar metodologías flexibles para futuros ajustes o cambios en el procesamiento.

En este trabajo se presenta un modelo realizado con ModelBuilder de ArcGIS y se propone un procedimiento para generar elementos fisiográficos en una cuenca experimental, subcuenca del Río San Miguel, Sonora. El procedimiento se desarrolla sobre un conjunto de datos X,Y,Z obtenido con un GPS de doble frecuencia debido a que no es posible realizar este tipo de estudios con la cartografía o los modelos digitales de elevación que ofrece INEGI.

Objetivos

Desarrollar una metodología de aplicación genérica para análisis fisiográfico de una cuenca, donde los únicos datos de entrada son coordenadas X, Y y Z del terreno obtenidas con GPS de alta precisión y un punto de salida (outlet) o un modelo digital de elevaciones y un punto de salida.

Metodología

Trabajo de campo

Se realizó el levantamiento topográfico de la cuenca pequeña Torre Rayón, Sonora. En la porción central de la cuenca se localiza la Torre Micrometeorológica Rayón.



Figura 1. Levantamiento topográfico de la cuenca experimental con GPS.



Figura 2. Punto de salida de la cuenca. Vertedor de pared delgada.



Figura 3. Puntos en cercanías de Torre Micrometeorológica.

Trabajo de gabinete

Los datos topográficos se descargan de la memoria del GPS en formato X, Y y Z y se importan del sistema informático ArcGIS. También se importa la localización del sitio de salida. Figura 4.

Con la herramienta ModelBuilder se construye el modelo de la figura 5.



Figura 4. Puntos X, Y y Z y localización del vertedor como punto de salida (Outlet)

Estructura del modelo

SIMBOLOGÍA EN EL MODELO

-  Datos de entrada al modelo.
-  Datos de salida que interesan como fisiografía de la cuenca.
-  Tipo de proceso requerido (comando) para obtener el resultado indicado en la salida.
-  Datos de salida del proceso anterior que funcionan como entrada del proceso siguiente.

Resultados

El modelo arroja como resultado el MDE (figura 6), el plano de pendientes (figura 7), la orientación del terreno (figura 8), el orden de corriente (figura 9) y la curva hipsométrica (figura 10).



Figura 6. Modelo Digital de Elevaciones para generar la fisiografía de la cuenca y polígono vectorial de la cuenca de estudio.

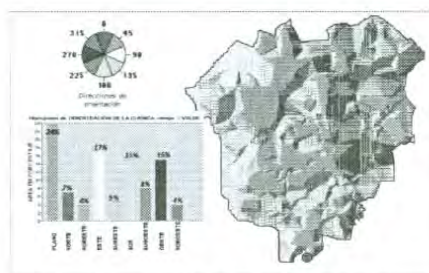


Figura 8. Orientación del terreno de la cuenca.

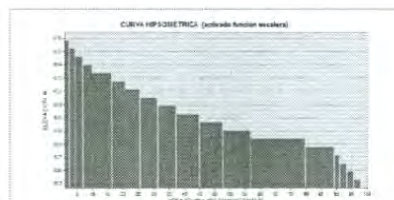


Figura 10. Curva hipsométrica de la cuenca generada a partir de la tabla de datos estadísticos de Spatial Analyst.

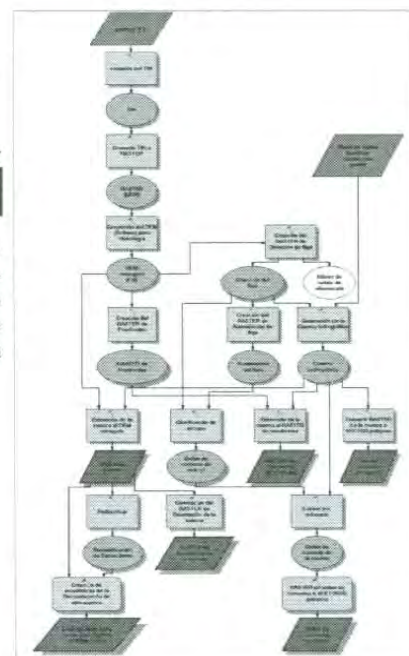


Figura 5. Diagrama de flujo del Modelo construido en ModelBuilder para generar parámetros fisiográficos de la cuenca.

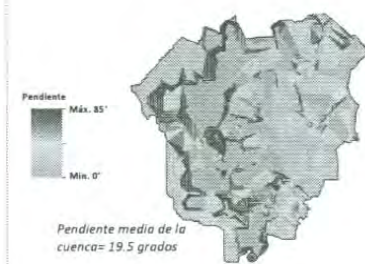


Figura 7. Pendientes de la cuenca.



Figura 9. Orden de corriente de Strahler.

Conclusiones

El modelo construido con ModelBuilder de ArcGIS constituye una útil y valiosa herramienta para generar los parámetros fisiográficos de una cuenca hidrográfica. Puede ser utilizado para probar diferentes opciones de cálculo o procesamiento, permitiendo una significativa reducción en el tiempo y esfuerzo dedicado al análisis de cuencas. El procedimiento puede aplicarse a cuencas de cualquier tamaño y a modelos digitales de elevación de cualquier resolución espacial.

La UNIVERSIDAD DE SONORA a través de la DIVISIÓN DE INGENIERÍA y el Departamento de Ingeniería Civil y Minas

otorgan la presente

Constancia

A: *Sughey Alejandra Miranda Torres*

Por su valiosa participación con la Ponencia Poster:

Metodología para el Análisis Fisiográfico de una Cuenca Hidrográfica con ArcGIS

Dirigido a Alumnos y Académicos que participan

dentro del Marco de la XII Semana Cultural de la División de Ingeniería



Dr. Jesús Leobardo Valenzuela García

Director División de Ingeniería


Ing. Agustín Bartolini Bojórquez

Jefe de Depto. de Ingeniería Civil y Minas

La UNIVERSIDAD DE SONORA a través de la DIVISIÓN DE INGENIERÍA y el Departamento de Ingeniería Civil y Minas

otorgan la presente

Constancia

A: *Sughey Alejandra Miranda Torres*

*Por su valiosa participación como Colaborador en la realización
de la XII Semana Cultural de la División de Ingeniería*


Dr. Jesús Leobardo Valenzuela García

Director División de Ingeniería


Ing. Agustín Bartolini-Bojórquez

Jefe de Depto. de Ingeniería Civil y Minas



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
SEMANA CULTURAL



INGENIERÍA PARA LA SOCIEDAD