

# **MEMORIA TÉCNICA SOBRE LA GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN PARA LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA IBER**

## **INTRODUCCIÓN**

Para la fase de modelado de proyectos hidrológicos e hidráulicos se requiere, entre otras cosas, de realizar estudios básicos que permitan alimentar los parámetros de las corridas hidrológicas e hidráulicas. Los estudios básicos se conforman por estudios topográficos, fisiográficos, geológicos y geotécnicos. Aun y cuando todos estos estudios son extremadamente importantes, el desarrollo de los modelos hidrológicos e hidráulicos, debe ser generado a partir de una plantilla topográfica resolución suficiente conforme a los objetivos globales del estudio. Los estudios topográficos pueden ser generados a partir de datos de topografía terrestre, aérea, suborbital o satelital incluso. En esta investigación, la plantilla topográfica de alta resolución fue generada a partir de la integración de datos de elevación con provenientes de diferentes plataformas de adquisición, tales como topografía terrestre de alta resolución mediante sistema de navegación satelital de doble frecuencia, conocido con sistema de navegación cinemática en tiempo real (RTK por sus siglas en ingles), datos LiDAR aéreos, y restitución fotogramétrica. El resultado final consiste entonces de un Modelo Digital de Elevación con una cobertura de 200 km<sup>2</sup>, con una resolución espacial de 1 m en X y Y y de 20 cm en Z.

## **OBJETIVO**

La generación de un Modelo Digital de Elevación tiene como objetivo el análisis del peligro hidrológico por inundación mediante el desarrollo de los modelos hidrológicos e hidráulicos.

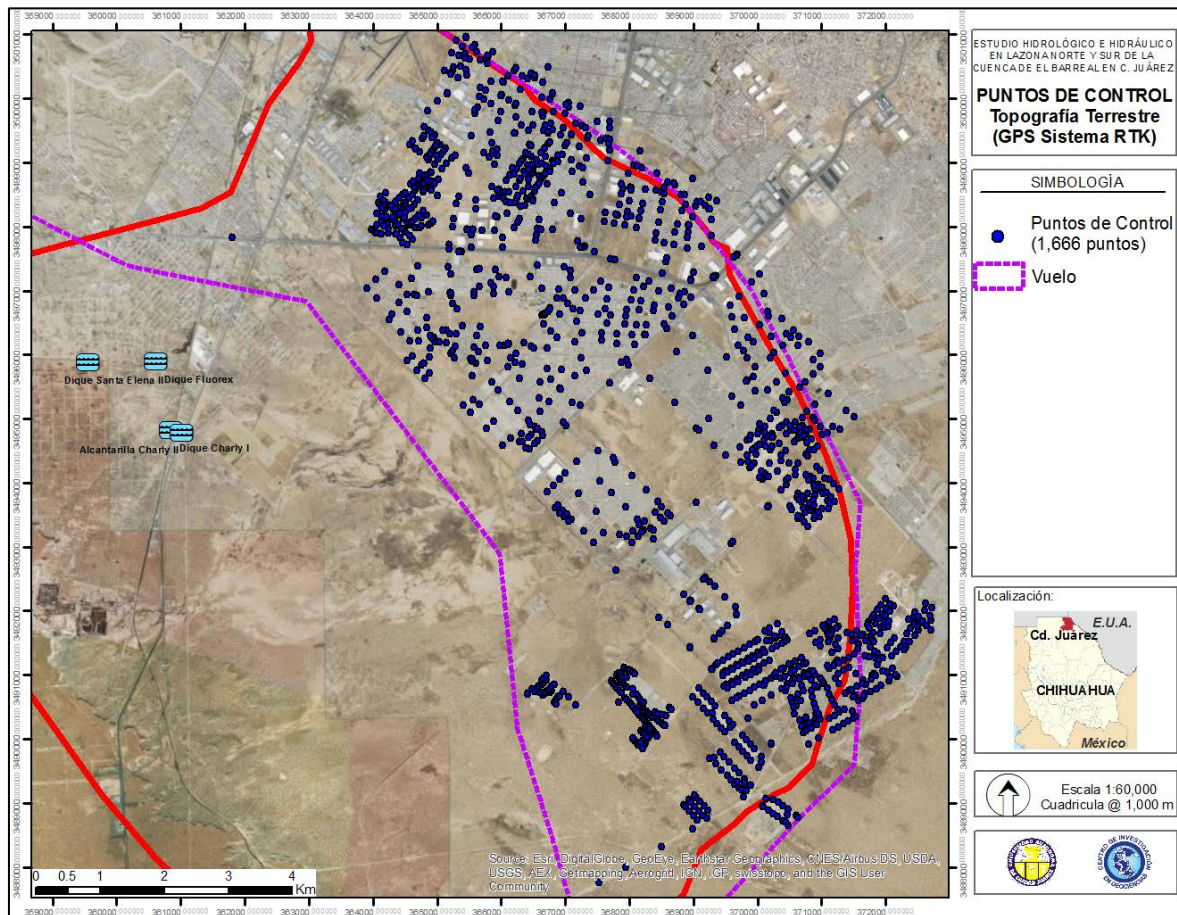


## GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

La generación del Modelo Digital de Elevación (MDE) del presente estudio se generó a partir de los siguientes insumos:

**1.- Vuelo Fotogramétrico:** En noviembre del 2017 se realizó un vuelo no tripulado con DRONES para generar una nube de puntos para generar un MDE con tamaño de celda de 20cm x 20cm capaz de restituir alturas no mayores a 20 cm. Una vez que se generaron los mosaicos de 1 km<sup>2</sup> con resolución espacial en el terreno de 1m x 1m se procedió a realizar una validación de la resolución vertical del modelo, es decir, se verificó que las secciones del DEM fueran consistentes con lo observado con las secciones topográficas levantadas con GPS doble frecuencia utilizando las mismas estaciones de referencia o puntos de control.

**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUÁREZ, CHIHUAHUA”**



**Figura 1.** Puntos de control realizados para la generación del DEM.

**2.- Vuelo LiDAR:** Modelo digital de elevación generado a partir del procesamiento del doble tiempo de arribo de pulsos LASER emitido por un sensor LIDAR montado en una avioneta que sobrevoló completamente Ciudad Juárez en el 2008. A partir de la nube de puntos se generó un modelo digital de terreno con resolución de 1 m x 1 m en X y Y, y de 20 cm en Z.

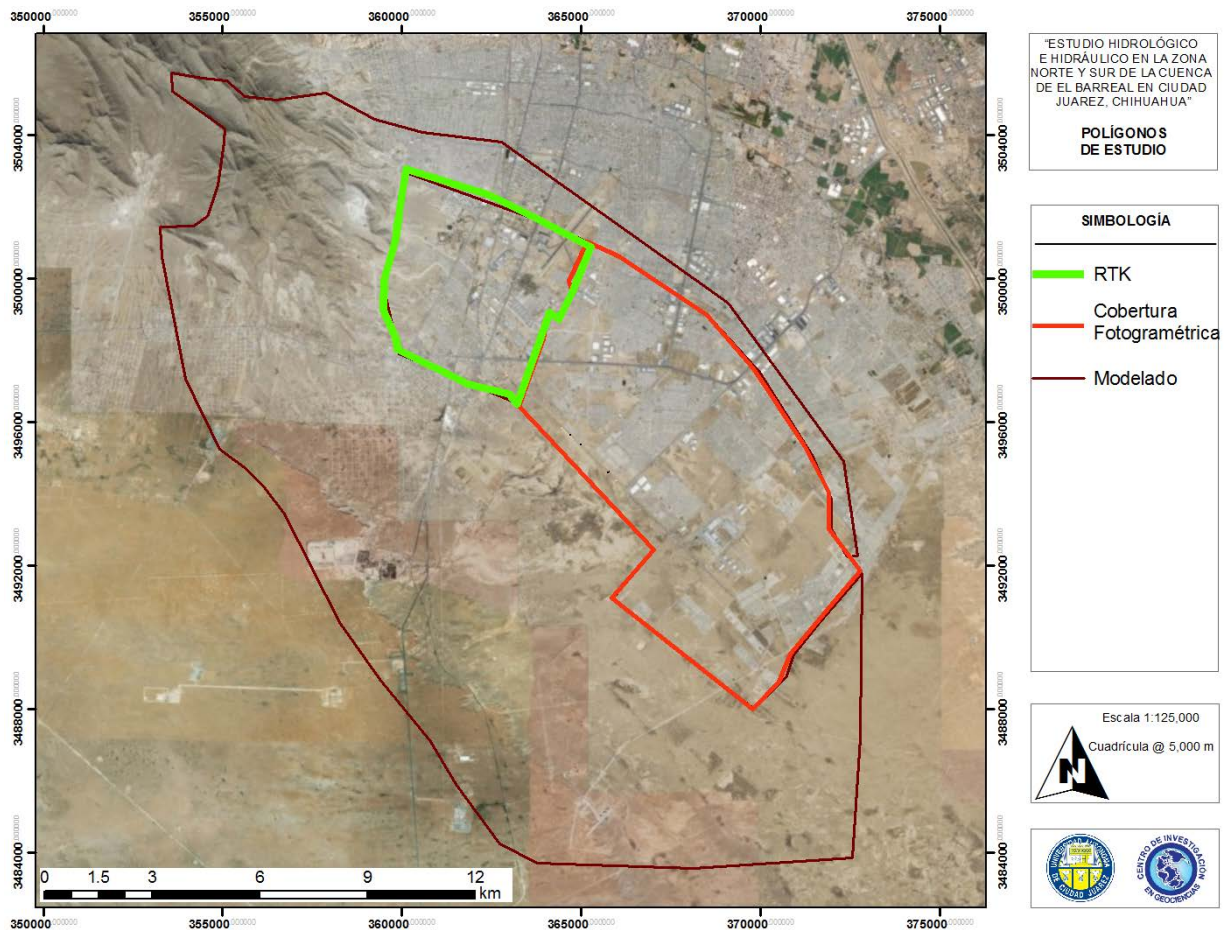
**3.- Sistema de navegación inercial de doble frecuencia (RTK):** Dado que la tecnología de fotogrametría no pudo ser implementada en la zona noroeste, dada la presencia del Aeropuerto Internacional Abraham González, cuya administración no

autorizó el vuelo de aeronaves no tripuladas en las zonas de aproximación de la aviación comercial en Ciudad Juárez. Sin embargo, la zona fue actualizada con topografía de alta resolución con sistema RTK de doble frecuencia para generar una superficie con tamaño de celda o pixel de 1mx1m y alturas no mayores a 20 cm, conforme al proceso de verificación por topografía terrestre que a la par se realizó con el levantamiento del nuevo DEM y el vuelo con Drones, tanto en la zona del Aeropuerto como en nuevos desarrollos de fraccionamiento, teniendo un total aproximado de 1,666 puntos de control (Figura 1).

Finalmente, se dispone de un MDT híbrido con cobertura de 200 km<sup>2</sup> para la simulación numérica hidrológica e hidráulica, actualizado al 2017 por restitución fotogramétrica en la zona urbanizada con tamaño de celda de 20cm por 20cm en X y Y, capaz de restituir alturas no mayores a 20 cm en Z. Mediante topografía con sistema GPS (RTK) se cuenta con tamaño de celda o pixel de 1m por 1m en X y Y, y alturas no mayores a 20 cm en Z, en las zona aledaña al Aeropuerto. Finalmente, mediante LiDAR en las zonas identificadas sin cambio un tamaño de celda de 1 m por 1 m en X y Y, y de 20 cm en Z (Figura 2). Además se entregará el MDE de 20cmx20cmx20cm del área del vuelo fotogramétrico durante el 2017 en formato ASCII al INFONAVIT.



**“ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO EN LA ZONA NORTE Y SUR DE LA CUENCA DE EL BARREAL EN CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA”**



**Figura 2.** El polígono sombreado marrón representa el área cubierta con LiDAR 2008, en verde al área actualizada con topografía con GPS doble frecuencia (RTK) y el polígono rojo el área con fotogrametría.

Los detalles de insumos, fuentes de dato, metodologías y resolución de cada Modelo Digital de Elevación (ya sea de terreno o superficie) se resumen en la siguiente tabla (Tabla 1):

**Tabla 1.** Resumen de fuentes y sus metodologías aplicadas a a realización del MDE.

FUENTES	FECHA	INSUMOS	METODOLOGIA	TIPO DE MODELO DE ELEVACION	MAXIMA RESOLUCION HORIZONTAL	MAXIMA RESOLUCION VERTICAL
<b>1.- FOTOGRAMETRIA</b>	DICIEMBRE DEL 2017	VUELO CON DRONES NO TRIPULADOS	RESTITUCION FOTOGRAMETRICA	MODELO DIGITAL DE SUPERFICIE Y MODELO DIGITAL DE TERRENO	20 cm	20 cm
<b>2.- LIDAR</b>	JULIO DEL 2008	VUELO LIDAR DE TODO CIUDAD JUAREZ	PROCESAMIENTO DEL DOBLE TIEMPO DE ARRIBO DEL PULSO LASER.	MODELO DIGITAL DE TERRENO	20 cm	20 cm
<b>3.- MODELO ELEVACION HIBRIDO ACEPTADO</b>	FEBRERO DEL 2018	MDT FOTOGRAMETRIA Y MDT LIDAR	SUTURA CON CONTROL POR METODO DE DECOMPOSICION DE LA FUNCION DE DIFERENCIAS Y FILTRO LAPLACIANO DE 9X9 POR CONVOLUCION EN EL DOMINIO DEL TIEMPO.	MODELO DIGITAL DE TERRENO	1.0 m	20 cm

A partir de la topografía aérea de alta resolución vertical se procedió a generar el modelo digital de elevación de terreno dentro del área de estudio. Con información topográfica de alta precisión se desarrollaron los modelos digitales de elevación (DEM) requeridos, que, conforme a los Términos de Referencia, son de 10 x 10 m en la zona no urbanizada, 5mx 5m en la zona urbanizada y 1 m en la zona del bordo. Con los modelos de elevación se obtuvieron los diferentes parámetros físicos de la cuenca bajo estudio, mismos que serán aplicados durante el desarrollo de los modelos hidrológicos y simulaciones hidráulicas. Este tipo de datos topográficos de alta precisión identifican depresiones en el terreno generando los modelos con gran apego a la realidad por su alta precisión.

## METODOLOGÍA DE SUTURA DE LOS DEM's LIDAR Y FOTOGRAMETRÍA

El modelo de elevación actualizado de la parte urbanizada del Barreal se unió al modelo digital de elevación LIDAR del 2008 actualizado con estructuras recientes en la parte que corresponde a la definición de la cuenca hidrológica del barreal.

El proceso de unión se llevó a cabo a través del método de ***Descomposición de la Función de diferencias*** entre los modelos a ser suturados. El proceso consiste en descomponer a través de análisis de Fourier la función de diferencias en una serie de funciones sinusoidales con diferentes amplitudes, frecuencias y fases. Las correcciones son entonces aplicadas en base a la longitud de onda de cada función sinusoidal específica, a lo largo de una línea de unión o sutura no mayor a un cuarto de la longitud de onda para garantizar una unión suavizada.

### PRE-PROCESO:

Primeramente, se revisó que la proyección geográfica de ambos modelos fuera la misma y con el mismo Datum: WGS 84 UTM Z 13 N

### DEM LIDAR

El DTM LiDAR se generó a partir de archivos LAS (.las) clasificados en base al tiempo doble de arribo. Con la nube .las se generaron polígonos de 5kmx5km para posteriormente generar un mosaico con a partir de los polígonos individuales.

## DEM FOTOGRAMETRÍA

En el caso del modelo digital de terreno generado con técnicas fotogramétricas, el proveedor del servicio entregó un modelo con una cobertura de 70 km<sup>2</sup>, orotorectificado a partir de los puntos de control. Las líneas de vuelo de la fotogrametría se realizaron con una orientación Suroeste-Noreste extendiéndose al menos 200 m de la zona del parteaguas de la cuenca El Barreal en la parte Norte, Noreste y Sur de la cobertura del vuelo. En tanto que, en la dirección Oeste y Suroeste, el vuelo se extendió hasta casi 500 m aguas arriba del Bordo Miguel de la Madrid, ya que este es el parteaguas de la zona urbanizada actualmente. En la parte Noroeste, no se sobre extendió el área de cobertura ya que el Aeropuerto no permitió volar en sus inmediaciones. La zona con una alta densidad de control topográfico esta entonces localizada en la zona urbanizada de El Barreal.

## PROCESO DE UNION DE DEM's

El proceso de unión aplicando el método de Análisis Espectral de Funciones de diferencias se llevó a cabo, primeramente, utilizando toda la cobertura de la fotogrametría como control de la zona de sutura, sin embargo, esto introdujo artefactos en los extremos, como consecuencia de efectos de borde del DEM fotogramétrico. Por ello se procedió a asignar áreas de empalme de manera manual de la siguiente manera (Figura 3):

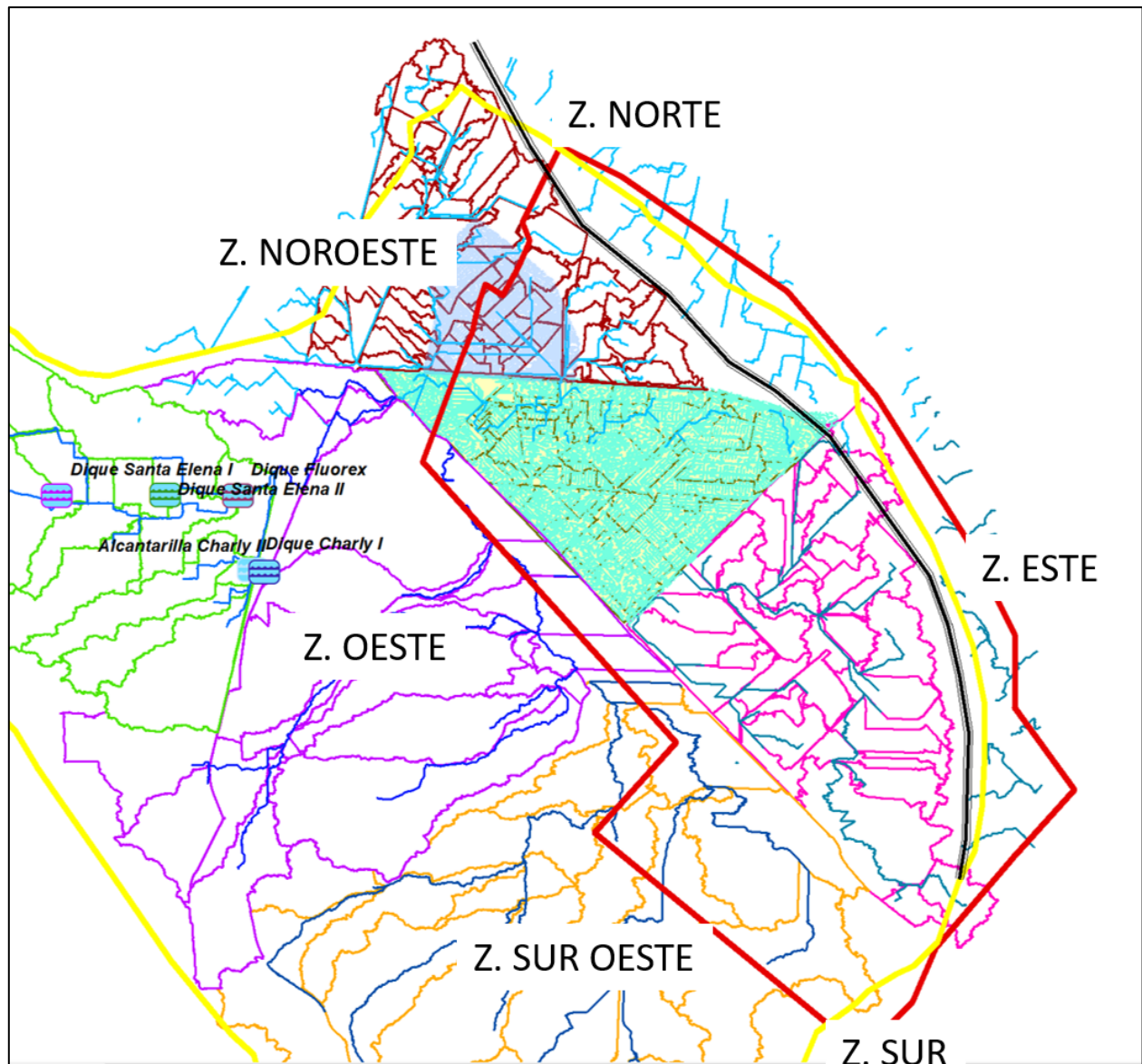
**Zona Norte, Este y Sur:** La zona de empalme entre LIDAR y Fotogrametría está fuera del área de definición de vertiente dada por el IMIP para la cuenca el Barreal. Es decir, la distancia mínima entre la sutura y el parteaguas es de al menos 150 m, alcanzando en algunos casos hasta los 800 m. En este mismo tenor, referimos que la hidrología regional revela que el parteaguas está incluso a distancias mayores a las mencionadas.



Ya que la nueva definición de vertiente para el Barreal en esa zona, se localiza a al menos 600 m aguas arriba de la zona de sutura de LIDAR con la fotogrametría. En esta zona solo se debe solo considerar el modelo fotogramétrico y no el empalme o sutura con LIDAR. El hecho de modelarlo obedece a que de esta manera no es necesario precisar condiciones de salida en el borde de la malla, ya que está localizada a una distancia considerable de la frontera del área de estudio.

**Zonas Suroeste y Oeste:** En esta zona, dado que se encuentra en la frontera del vuelo fotogramétrico, se observaron nuevamente efectos de borde en el DEM generado por restitución. Por lo que se procedió a definir la trayectoria de sutura de forma manual hasta una distancia de aproximadamente 250 m del borde de la cobertura de fotogramétrica en dirección al Bordo MMH. De esta manera se garantizó una mayor área de empalme entre LIDAR y la fotogrametría. Este enfoque resultó favorable dado que hay concordancia entre las secciones del DEM y las secciones de topografía terrestre (ver memoria EXCEL anexa). Cabe puntualizar, que esta zona fue la observada por CENAPRED el día viernes 23.

**Zona Noroeste:** Esta zona muestra suturas con diferencias de +/- 20 cm en la zona de contacto entre LIDAR y Fotogrametría.



**Figura 3.** Hidrología superficial regional y áreas de sutura.

#### NOTA PRECAUTORIA:

El resultado del modelo híbrido es una modelo con extensión superficial de 200 km<sup>2</sup> con tamaño de celda o pixel de 1.0 m en X por 1.0 m en Y y 20.0 cm en Z.