



**PARTIDA 1. “ESTUDIO HIDRICO”.
ESTUDIOS DEL PLAN MAESTRO
“PROYECTO COMPLEJO CULTURAL
BOSQUE DE CHAPULTEPEC”**

**ENTREGABLE 1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS A
PARTIR DEL CUAL SE VAN A DETERMINAR EL NÚMERO DE
ELEMENTOS NECESARIOS Y SU UBICACIÓN.**



Contrato No.
SEDEMA/DGAF/JUDAS/011/2020-FC

Enero 2021

Ciudad de México, CDMX a 05 de enero de 2021

MTRO. RAFAEL OBREGÓN VILORIA
ENCARGADO DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE SISTEMAS DE ÁREAS NATURALES
PROTEGIDAS Y ÁREAS DE VALOR AMBIENTAL
PRESENTE:

Quien suscribe Grupo de Arquitectos, Construcción y Supervisión S.A de C.V.a través del NANCY MIREYA QUINTANA SALGADO en su carácter de ADMINISTRADOR ÚNICO en relación con Servicios relacionados con Estudios del Plan Maestro "Proyecto Complejo Cultural Bosque de Chapultepec", derivados del Convenio de Coordinación en Materia de Reasignación de recursos celebrado con la Secretaría de Cultura Federal y el Gobierno de la Ciudad de México, y otorgados a la Secretaría del Medio Ambiente. ANEXO UNO "Anexo Técnico" Partida 1: Servicio para la realización del "Estudio Hídrico". Se hace el envío del Entregable 1 (PARCIAL) conforme al cronograma y el plan de trabajo.

ATENTAMENTE

NANCY MIREYA QUINTANA SALGADO

Índice

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	OBJETIVO Y ALCANCES DEL ESTUDIO HÍDRICO	40
2	RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN	41
2.1	DESCRIPCIÓN USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	41
2.2	EDAFOLOGÍA.....	42
2.3	RECONOCIMIENTO EN CAMPO DE LA ZONA DE ESTUDIO	43
2.4	INFORMACION TOPOGRAFICA DISPONIBLE PARA EL ESTUDIO HIDROLÓGICO	48
2.5	INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DISPONIBLE	49
2.5.1	Precipitación anual máxima	57
2.5.2	Ajuste regional y extrapolación de los factores regionales.....	60
3	ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA TERCERA SECCIÓN DE CHAPULTEPEC	64
3.1	CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFICAS DE LA CUENCA DE APORTACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO.....	64
3.2	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	66
3.3	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	68
3.4	PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA	69
3.5	TORRENTAS DE DISEÑO	71
3.6	OBTENCIÓN DE AVENIDAS DE DISEÑO PARA LA PRESA DOLORES	78
3.6.1	Método Racional Americano.....	78
3.6.2	Hidrogramas Sintéticos Triangulares	80
3.6.3	Modelo lluvia-escurremientu de parámetros distribuidos MPE.....	82
3.6.4	Análisis de gastos y volúmenes obtenidos por distintos métodos	88
3.7	OBTENCIÓN DE AVENIDAS DE DISEÑO PARA LA CUENCA TACUBAYA....	89
4	ANÁLISIS DE UNA TORRENTA HISTÓRICA EN LA CUENCA DE DOLORES	95
5	DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN	103
6	ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE AGUAS NEGRAS ASOCIADO A LAS DESCARGAS.	115

7	RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	141
8	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145

1 ENTREGABLE 1. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS REALIZADOS A PARTIR DEL CUAL SE VAN A DETERMINAR EL NÚMERO DE ELEMENTOS NECESARIOS Y SU UBICACIÓN.

2 INTRODUCCIÓN

Para la realización y desarrollo de los estudios hidrológicos e hidráulicos que son fundamentales para la localización de los puntos estratégicos donde se desplantarán las obras de mitigación para control de erosión en las márgenes de las escorrentías fue necesario llevar a cabo un levantamiento tanto terrestre como aerofotogramétrico empleando el sensor LIDAR, (light Detection and Ranging), que emplea una técnica de teledetección óptica que utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas de la superficie del terreno. El reflejo del láser del objetivo lo detectan y analizan los receptores en el sensor LIDAR. El objetivo de emplear dicha técnica fue para la elaboración de curvas de nivel de alta precisión con equidistancia a cada 0.5m pues son necesarias con esta precisión para determinar con exactitud la localización y tránsito de las escorrentías.

ESTUDIO TOPOGRAFICO POR FOTOGRAMETRÍA Y NUBE DE DATOS POR LIDAR

Este documento presenta un proceso conciso, eficiente e intuitivo para establecer los lineamientos y requisitos para la clasificación de datos del proyecto Fotogramétrico y LiDAR del Complejo Cultural Bosque de Chapultepec.

El lidar (acrónimo del inglés LiDAR, Light Detection and Ranging) es una tecnología de detección remota basada en láser, la cual consiste en apuntar un láser en una superficie y medir el tiempo que tarda en volver a su fuente, esta tecnología se utiliza en los sistemas de información geográfica (SIG) para producir modelos digitales de elevación o modelos digitales de terreno para el mapeo 3D, dicha tecnología es utilizada con mucha eficiencia en proyectos que requieran el conocimiento detallado del territorio y una alta precisión en la generación de datos, por ello es utilizado de manera importante en proyectos de infraestructura.

Los datos se adquieren en una nube de puntos, las nubes de puntos están formadas por muestras adquiridas dentro de una escena sin inteligencia sobre cualquier punto único. Por lo que existe un interés significativo entre los datos LiDAR en el establecimiento de los requisitos de datos, articulando los requisitos para la generación de métricas cuantificables para su evaluación. Esto permite asegurar la calidad en los datos para el procesamiento y clasificación de los mismos.

La aplicación del LiDAR en el Bosque de Chapultepec generó datos de alta precisión, ofreciendo soluciones para el análisis y la gestión en los trabajos de otras disciplinas, en sistemas de procesamiento, así como en la visualización en Sistemas de Información Geográfica (SIG), que son necesarias en la gestión de este proyecto, véase Figura 1.1.

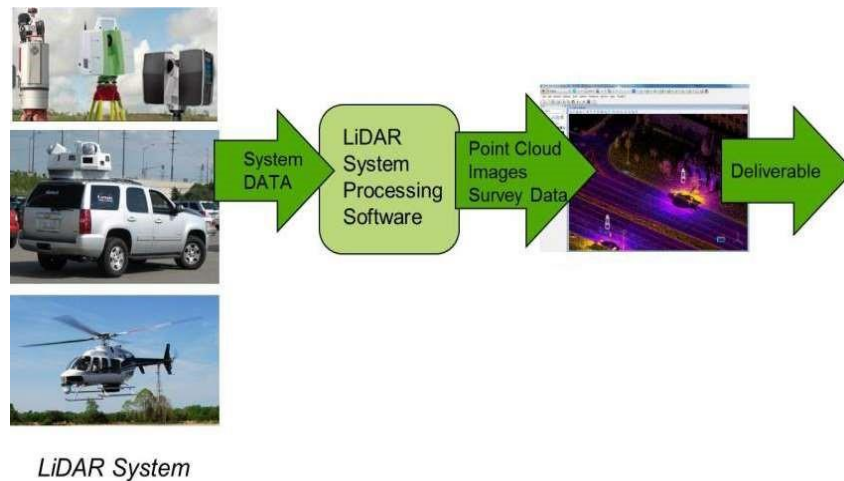


Fig. 1.1 Proceso de obtención de datos LiDAR

VUELO Fotogramétrico & LIDAR

PLANEACIÓN

De conformidad con los requisitos para el levantamiento de datos Fotogramétricos & LiDAR y con la finalidad de atender el desarrollo de la operación se cubrieron los permisos necesarios de acuerdo a lo siguiente:

- Tarjeta de aeronavegabilidad vigente emitida por parte de la autoridad mexicana
- Permisos de vuelo en el bosque de Chapultepec
- Licencia vigente de los pilotos
- No se obtuvo permiso de vuelo en Zonas militares y restringidas.

Se llevó a cabo el levantamiento aéreo de acuerdo con la planeación, siguiendo los lineamientos y aspectos normativos estipulados por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía, tramitando todos los permisos oficiales necesarios para realizar el vuelo y los trabajos de campo. Así mismo el vuelo se realizó considerando las condiciones climáticas óptimas posibles, viento, lluvia, humedad intensa, sin condiciones de inundación, ayudándonos de los reportes meteorológicos de la CONAGUA, a fin de realizar el levantamiento en las condiciones climáticas favorables, véase Figura 1.2,

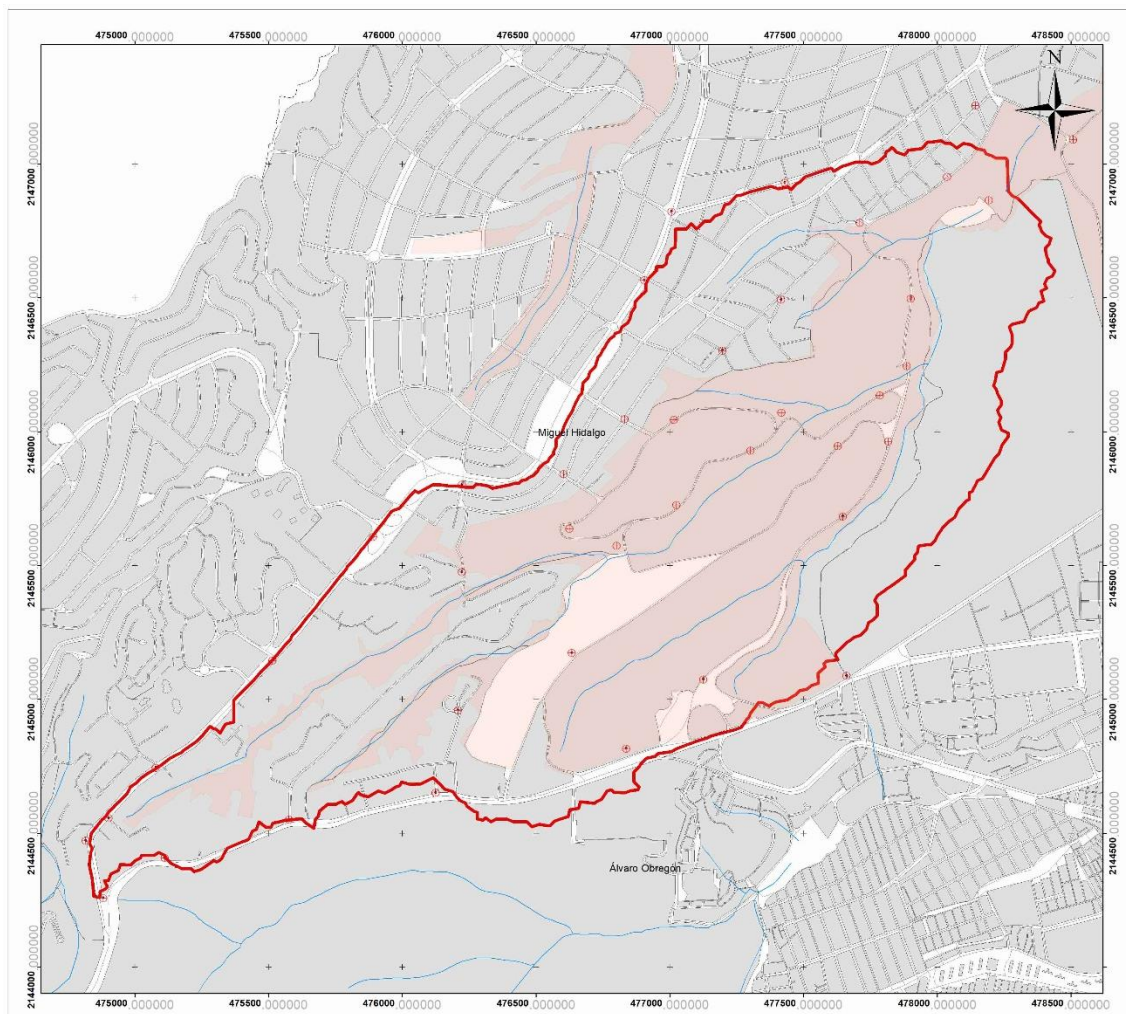


Figura 1.2. Mapa general de localización (Autoría propia GRACONS, 2021)

La georreferenciación de los datos se hizo de acuerdo al apoyo terrestre en rasgos fotoidentificables, estos puntos de apoyo fueron ligas a la Red Geodésica Nacional Activa (RGNA) del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), teniendo una precisión de alrededor de 0.05 m.

Una vez verificados los puntos el error medio cuadrático (RMS) en X y Y fue de 7 cm. Incrementando este error en zonas de vegetación densa. La precisión vertical del levantamiento se definió a partir de los puntos de apoyo terrestre, obteniendo un RMS aproximado de 5cm. Además los datos LiDAR se posicionaron usando el sistema GNSS orientado a la Unidad de Medición Inercial IMU.

El equipo de la aerodrone consta de doble frecuencia, el método cinemático para la adquisición de datos y el proceso de las trayectorias. Se usó la combinación de las constelaciones, generando redundancia en las precisiones, mejorando la calidad del cálculo de la trayectoria de vuelo.

Con los archivos LiDAR en formato LAS, se procedió a la clasificación de la nube de puntos con software especializado, descrito en el siguiente apartado. Definiendo las siguientes clases:

- Terreno
- Vegetación

2.1 COBERTURA

El requisito de cobertura asegura que se cumplan los requisitos de datos LiDAR apropiados dentro de los límites del proyecto. Para proyectos más pequeños adquiridos con un tipo de plataforma LiDAR el requisito de cobertura es relativamente sencillo. Sin embargo, para mayores proyectos del área que emplean datos de múltiples plataformas del sistema LiDAR los requisitos pueden volverse más complejos, esto debido a la cantidad de datos. En tales casos, el límite del proyecto sería subdividido en áreas homogéneas. Para este caso se emplearon herramientas para hacer las subdivisiones necesarias de los archivos

del proyecto para una mejor manipulación y procesamiento de los archivos de nube de puntos, véase Figura 1.3.



Fig. 1.3 Apoyo de Escaner Trimble x7

2.2 METODOLOGÍA

Para tener un procesamiento más eficiente requerimos que la colecta de información tenga los archivos debidamente alineados y georeferenciados de acuerdo a las necesidades del proyecto. El levantamiento y procesamiento consideró ejecutar procedimientos para hacer una valoración básica de los datos entregados y entregar un reporte asociado al coordinador del proyecto. Estos reportes tienen como finalidad de cuantificar densidad de puntos y cobertura del proyecto.

Para realizar el procesamiento de datos LiDAR, se proporcionaron los datos tomados de las líneas de vuelo, se realizó la georreferenciación con base en los Puntos de Control Terrestre obtenidos con GNSS (Global Navigation Satellite System), en el Sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), en las zonas donde se llevó a cabo el proyecto.

Para el levantamiento terrestre y aerofotogramétrico, se empleó el siguiente equipo:

- Equipo principal:
 - Dos Antenas GNSS L2 de la marca Trimble, modelo R8S con radio interno incluido.
 - Dos antenas de la marca Tersus, modelo Oscar Advance con radio interno.
 - Un GPS.
- Equipo complementario:
 - Dos tripies de aluminio con base.
 - Dos bastones telescópicos de aluminio.
 - Pintura vinílica para marcas en piso.
 - Cuatro lonas de plástico como puntos de referencia.

Se seleccionaron puntos aleatorios en diferentes partes de la zona de estudio, los cuales fueron marcados con aerosol, se clavó una pequeña estaca sobre la cual se colocó la baliza que contenía sujeto el GPS haciendo, tomando las lecturas de las coordenadas de los puntos propuestos, complementando el trabajo de recopilación de información con las antenas. La finalidad de haber colocado puntos de control, fue para obtener un sistema de georreferenciación al momento de elaborar el ortomosaico con las imágenes del vuelo LiDAR. Se trabajaron en modo estático y RTK la operación de las antenas. Véase Figura 1.1, Figura 1.2, Figura 1.3 y Figura 1.4. Se llevó dentro del predio del Bosque de Chapultepec III Sección, Alcaldía Miguel Hidalgo, C.P. 11100, Ciudad de México, teniendo una superficie de 70 hectáreas el área de estudio como se observa en la siguiente imagen.

A continuación se describen las actividades realizadas:

Véase Figura 1.4, Figura 1.5, Figura 1.6, Figura 1.7, Figura 1.8, Figura 1.9, Figura 1.10,.

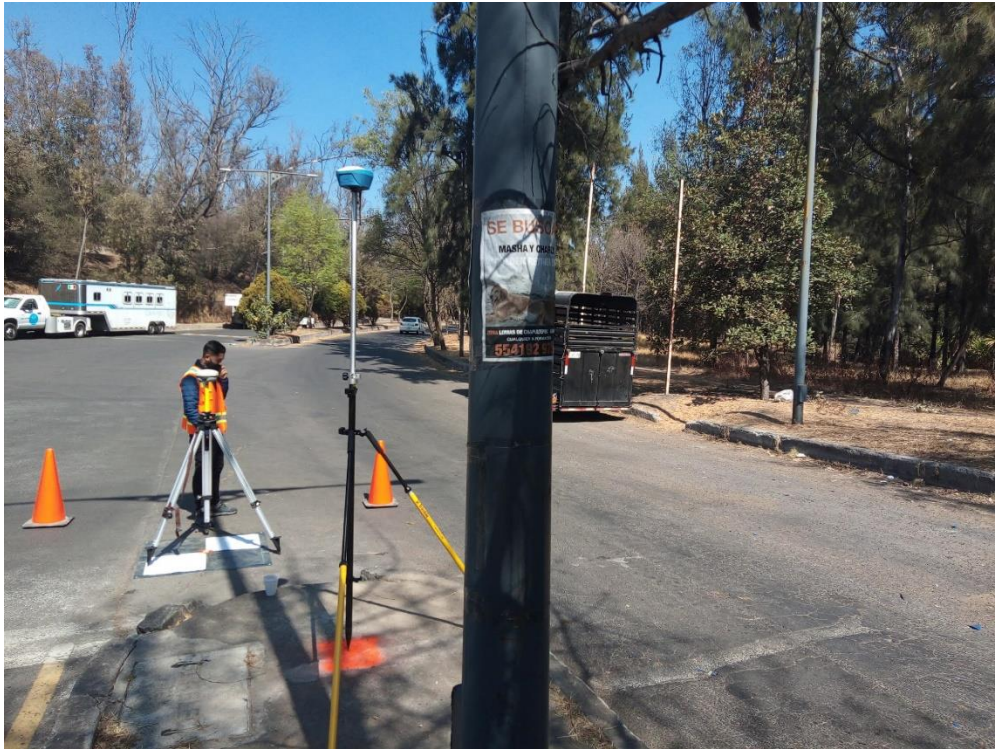


Figura 1.4 Colocación y nivelación de antenas en la zona de estudio, sobre Calle 10.



Figura 1.5 Marca de punto de control, para referencia en el geoprocesamiento.



Figura 1.6 GPS para la toma de coordenadas geográficas, sobre José María Velasco.

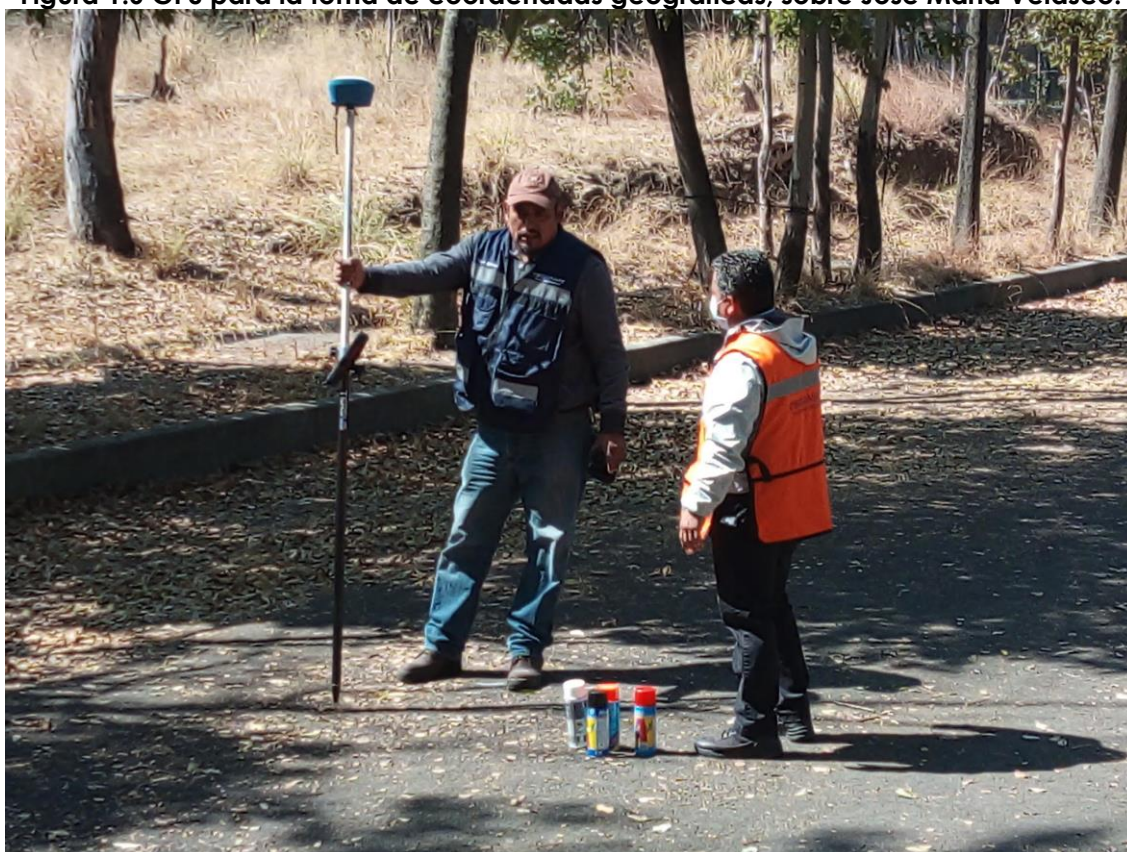


Figura 1.7 GPS para la toma de coordenadas geográficas, sobre José María Velasco.



Figura 1.8 Marca de punto sobre José María Velasco.



Figura 1.9 Antena GNSS L2 de la marca Trimble, sobre Calle 10.

En segunda etapa para el levantamiento terrestre y aerofotogramétrico, se empleó el siguiente equipo:

- Equipo principal:
 - Dos Antenas GNSS L2 de la marca Trimble, modelo R8S con radio interno incluido.
 - Dos antenas de la marca Tersus, modelo Oscar Advance con radio interno.
 - Un drone marca DJI, modelo phantom 4 RTK.
 - Un drone marca DJI, modelo M600.
 - Sensor LIDAR Velodyne HDL 32E.
- Equipo complementario:
 - Dos tripies de aluminio con base.
 - Dos bastones telescópicos de aluminio.
 - Pintura vinílica para marcas en piso.
 - Cuatro lonas de plástico como puntos de referencia.
 - Cascos de seguridad.
 - Conos de seguridad.

Los drones volaron con base en la poligonal de la ruta de trazo, habiendo de pasar sobre los puntos de las marcas de control. Para iniciar el vuelo se programó una logística de seguridad por medio de un georadar, para detectar con anticipación aeronaves que pudiesen afectar el vuelo, el equipo se cargó anticipadamente para garantizar la suficiente batería para el vuelo en los drones. Véase Figura 1.10, Figura 1.11, Figura 1.12, Figura 1.13, Figura 1.14.



Figura 1.10, Drone de la marca DJI, modelo M600.



Figura 1.11, Drone de la marca DJI, modelo M600.



Figura 1.12 Drone de la marca DJI, Phantom 4 RTK.



Figura 1.13 Ruta de vuelo programada.

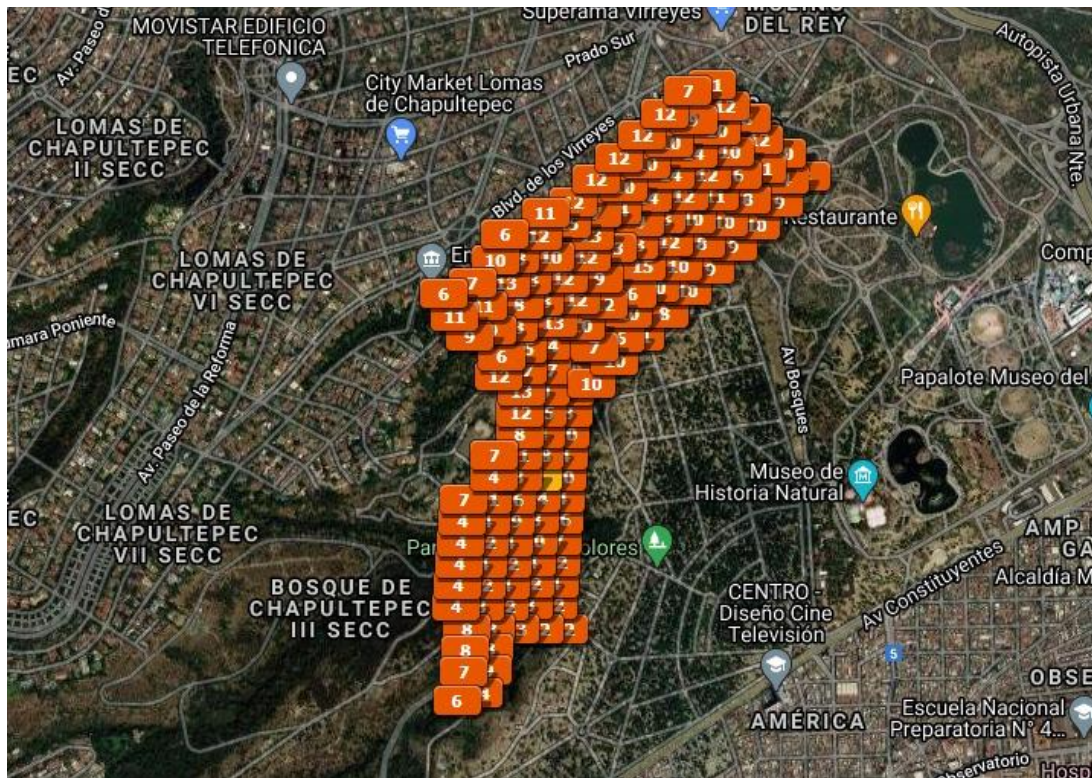


Figura 1.14 Formación de ortomosaico, por medio del vuelo de drone.

Finalmente para complementar el trabajo se optó por emplear un vuelo de helicóptero para la obtención de los fotogramas para elaboración de modelo de elevación digital. Posteriormente se llevó a cabo el trabajo de geoprocesamiento con base en los datos obtenidos con las antenas por los métodos RK y estático rápido para la formación de nube de puntos y empleando el software PIXD4

Es importante mencionar que el proyecto se encuentra en la zona UTM (zona 14), es por ello que la información se desarrolló en la zona para cubrir espacialmente los requerimientos de los trabajos de campo y procesamiento de los datos en gabinete.

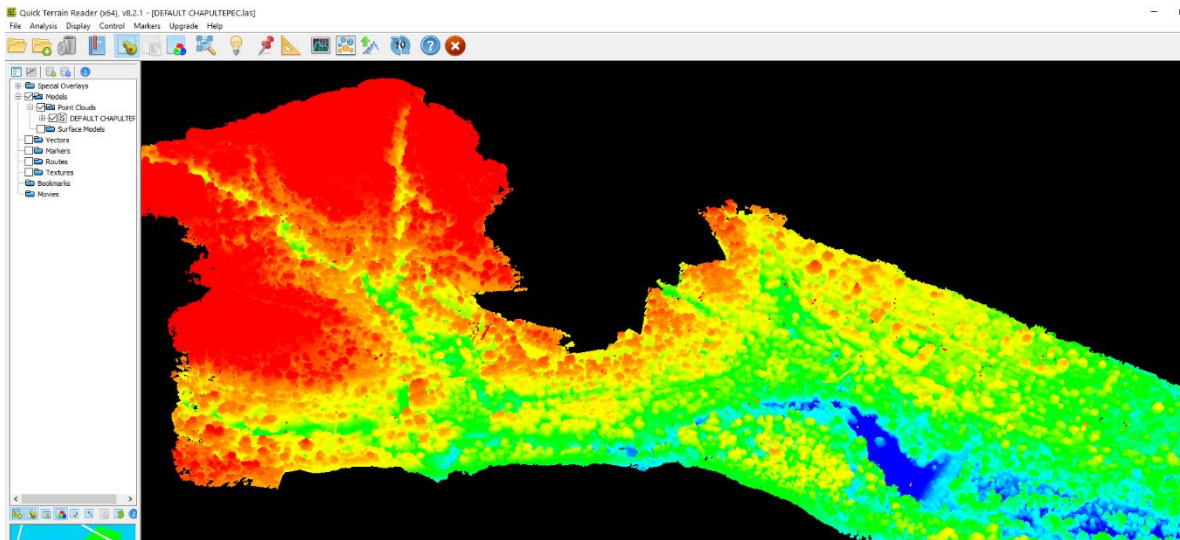


Figura. 1.15 Nube de puntos sin clasificar

El procesamiento comienza con la nube de puntos georreferenciada sin clasificar, en la figura 4 se muestra una porción de nube de puntos sin clasificar, representada por la elevación, se pueden identificar algunas características como la vegetación alta, también se muestra el trazo de las calles, caminos (colores rojos) y algunas construcciones y formas antropogénicas (rojos, amarillos y naranjas, dependiendo de su altura), Véase Figura 1.15, Figura 1.16.

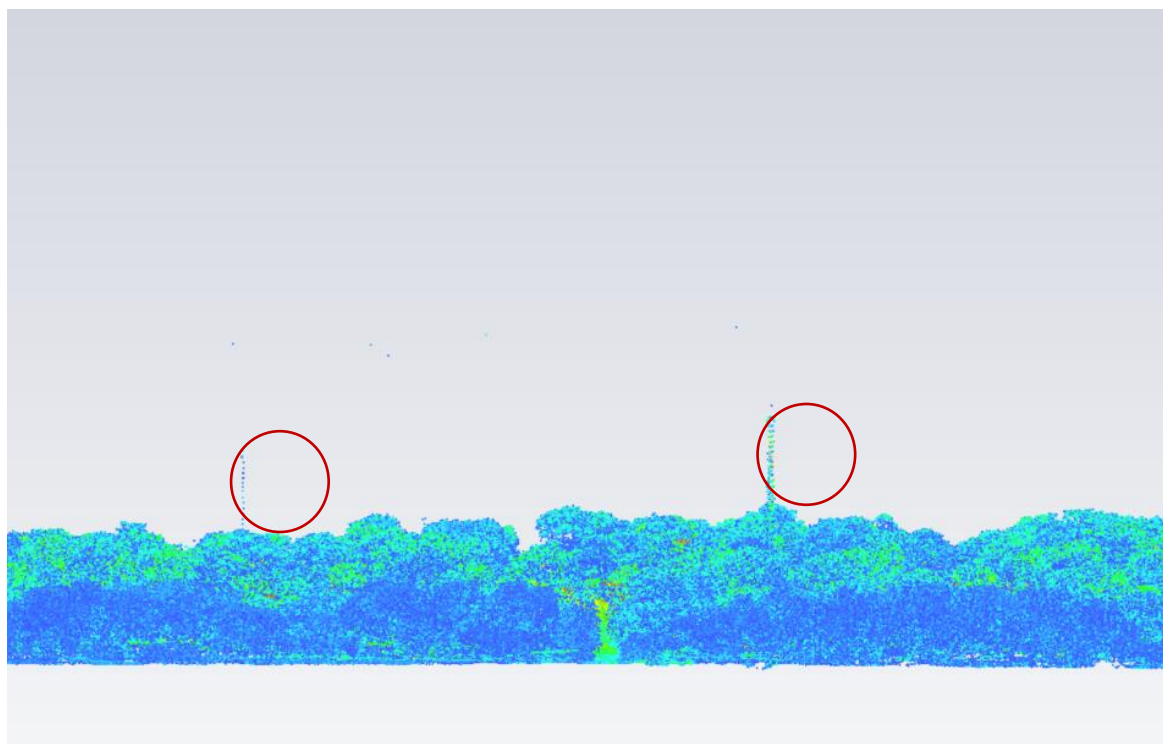


Fig. 1.16 Puntos con ruido antes del procesamiento y clasificación.

Cabe mencionar que en los levantamientos de este tipo existen puntos que no pertenecen a la zona y objetos de estudio, estos puntos, como se expicó antes son ruido (tambien son llamados puntos fugados y/o enterrados, dependiendo si se encuentran por encima de la elevación promedio o por debajo de de la superficie. En la figura 5 se observan estas situaciones (círculos) las cuales tuvieron un tratamiento y se eliminaron en el procesamiento de los datos.

Para tener un mejor control de la información y poder accesar sin saturar las computadoras con demasiada información (es necesario puntualizar que los archivos del levantamiento de datos LiDAR son muy pesados y se requieren computadoras con una alta capacidad de procesamiento y visualización.

Delimitada la zona de trabajo e identificado el tile o los tiles en los que se trabajarán, se realizó la clasificación de la nube de puntos, así como su limpieza y edición, se descartó puntos con ruido.

Se utilizó el software de Terra Solid (el cual es un Plugin de MicroStation) para realizar la edición y la clasificación de las nubes de puntos levantadas con LiDAR, se utilizaron las herramientas de importación y estructuración de

proyectos para el manejo de gran cantidad de puntos, rutinas de clasificación y filtrados "automáticos", las cuales se realizó una refinación mediante el uso de clasificación y filtrados manuales.

Con el software es posible importar y exportar en diferentes formatos (LAS, TerraScan, Binary, ASCII, entre otros.), además de que es posible crear datos vectoriales a partir de los puntos 3D en grandes áreas, Figura 1.17.

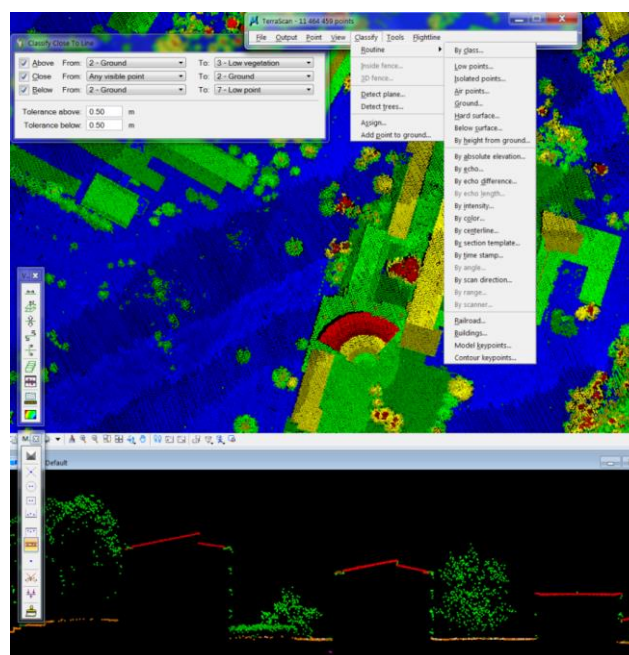


Figura 1.17 Ejemplo de Software TerraSolid

Una vez dividido e identificado los tiles y las nubes de puntos se realiza la clasificación como se muestra continuación, véase Figura 1.18:

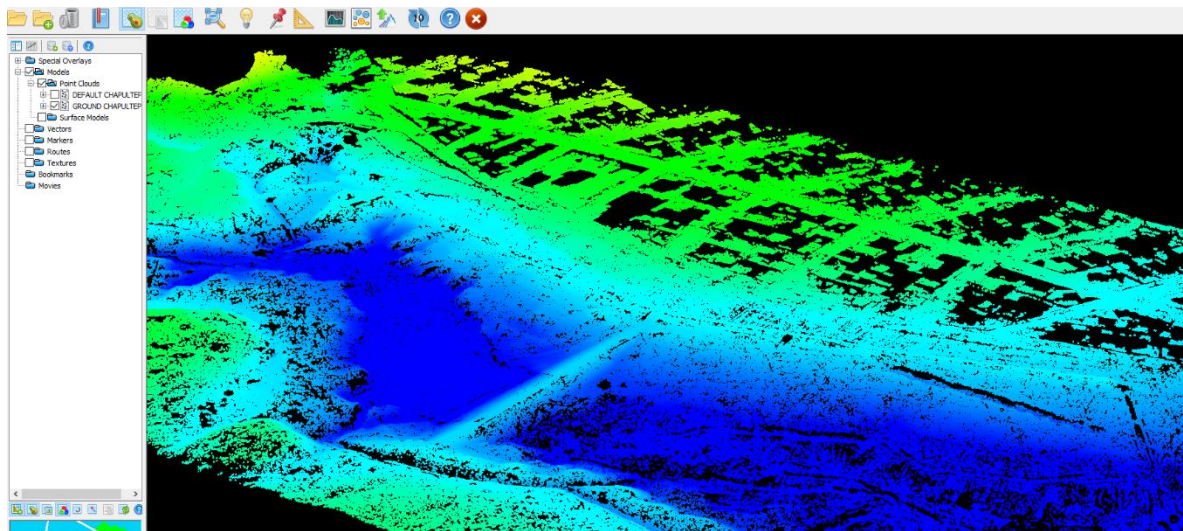


Figura 1.18 Clasificación de datos LiDAR.

En la figura 1.19 se observa la clasificación de la nube de puntos LiDAR.

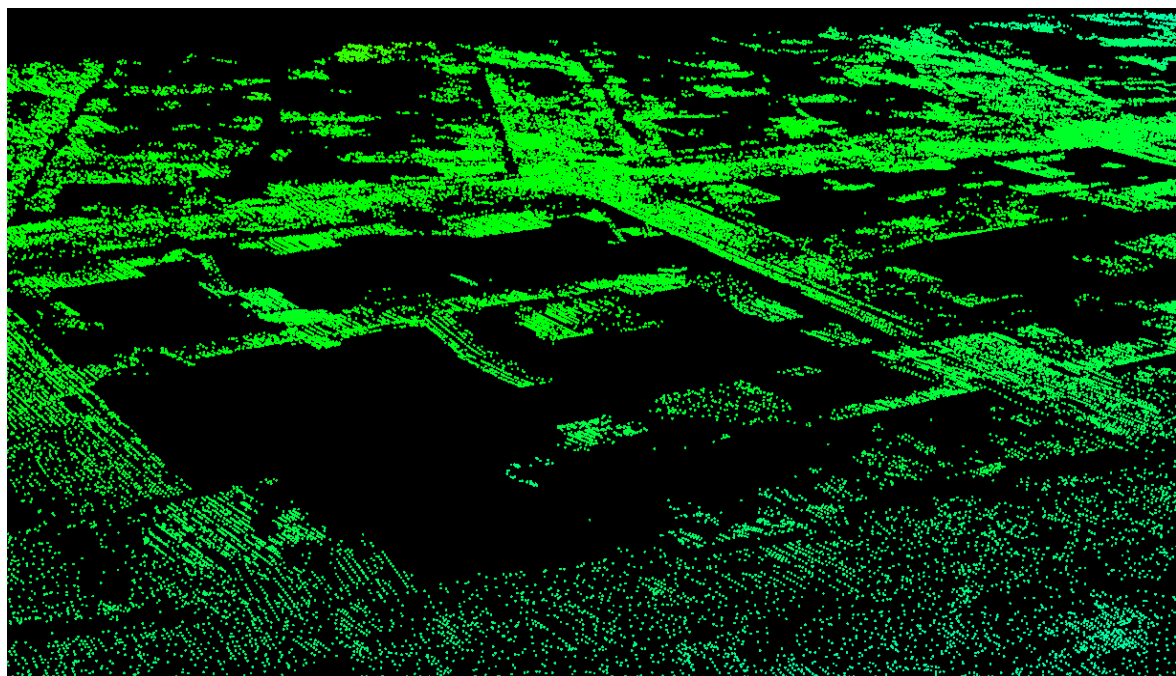


Figura 1.19 Clasificación de Terreno.

En la figura 1.1.9, se realizó la clasificación de puntos de terreno, separándolo de la vegetación, baja, media y alta, construcciones y torres de alta tensión, esta clasificación es de las más importantes, debido a que a partir de este producto se elaborará el modelo digital de terreno.

Se realizó una estimación del valor de la precisión en cálculo DGPS, así como la estimación del valor de la precisión en cálculo GPS+INS, estas estimaciones se obtuvieron a través del proceso diferencial entre el GPS de la aeronave y los GPS de tierra con la información de la unidad de medición inercial. El software utilizado en el proceso generó archivos txt con los datos necesarios para medir la calidad en el cálculo de la trayectoria.

- El traslape

Este se consideró mayor al 20%, el cual varió en valor de incremento, pero nunca menor a lo estipulado a fin de evitar el efecto sonrisa, que consta de un rayado por la curvatura de los datos en la parte final de la línea.

- Alineación y continuidad

Se realizó la medición de diferencia altimétrica entre los puntos de una línea con respecto a los puntos de la línea vecina, con el fin de corroborar que estén alineadas y verificar su continuidad en las alturas del terreno.

- Cálculo de densidad de puntos

Se realizaron muestreos por la totalidad de los puntos obtenidos y una vez clasificada la nube al terreno se medirán nuevamente esto con la finalidad de garantizar la densidad requerida de los datos.

Dentro del proceso de validación se considerarán los siguientes conceptos a verificar para un buen control de la información a trabajar.

- Área y perímetro total del proyecto.
- Presencia de huecos.
- Traslape de líneas de vuelo.
- Longitud de la línea de vuelo.
- Densidad de los puntos.
- Distribución geométrica de los puntos.
- Diferencia altimétrica entre líneas de vuelo.
- Presencia del efecto sistemático.
- Ajuste contra los Puntos de control.
- Imagen de intensidad.

Estos conceptos de validación fueron implementados para cada sesión de vuelo realizada obteniendo muestras de diferentes áreas, así como en la integración final del producto.

- Preparación de la nube de puntos LIDAR.

Se realizó un corte de información en los extremos laterales de cada línea de vuelo (CUT OVERLAP) que conforman el proyecto para evitar inconsistencias, debido al efecto que causado por el láser, posterior a ello se efectuó la eliminación de puntos basura estos derivados de:

- Duplicidad, es decir puntos con una misma posición geográfica en XYZ.
 - Puntos captados en espejos de agua.
 - Puntos altos causados por algún elemento aéreo (nube, ave).
 - Puntos bajos causados por alguna interferencia (antena, frecuencia).
-
- Filtrado de nube de puntos de superficie.

En primera instancia se realizó un proceso de forma semiautomática en donde se ejecutó una macro a toda la nube de puntos que conforma el proyecto con el fin de desarrollar una serie de tareas especializadas de clasificación para definir la superficie y clasificar algún otro elemento de interés, tanto de forma grupal como aislada.

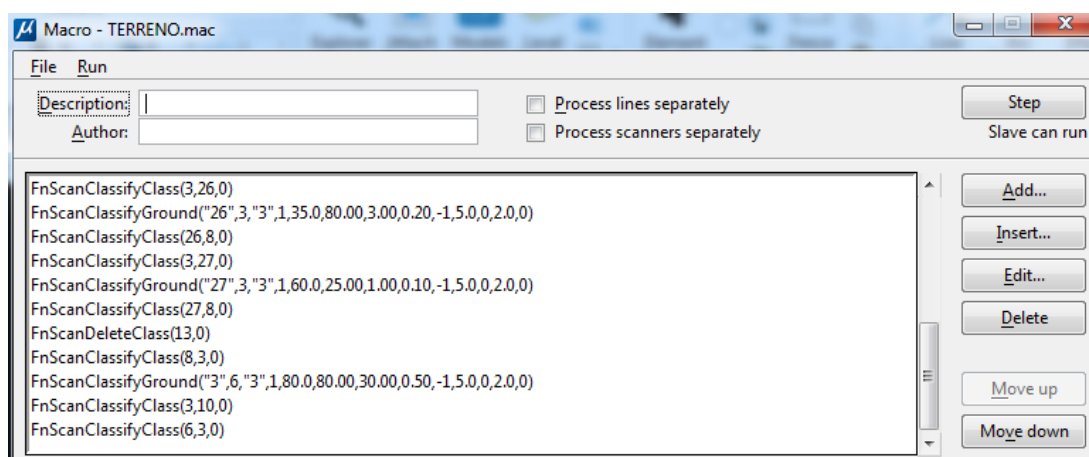


Figura. 1.20 Clasificación de datos

Terminada la clasificación semiautomática, el siguiente proceso se efectuó de forma interactiva por el especialista mediante una reclasificación de los puntos que no se ajustaron a las características definidas en la clasificación semiautomática; esto se realizó con información auxiliar y con el despliegue de la red irregular de triángulos (pre-MDE) definida por cada punto como apoyo, así como de la experiencia de cada uno de los técnicos para realizar una edición de los puntos que involucra la actualización y la corrección de errores o inconsistencias que se pudieran presentar.

Esta actividad se procesó desde un editor gráfico (Microstation) con el uso del software especializado en manejo de datos LIDAR (TERRASOLID), para la depuración interactiva de puntos mediante módulos de procesamiento (TERRASCAN Y TERRAMODEL).

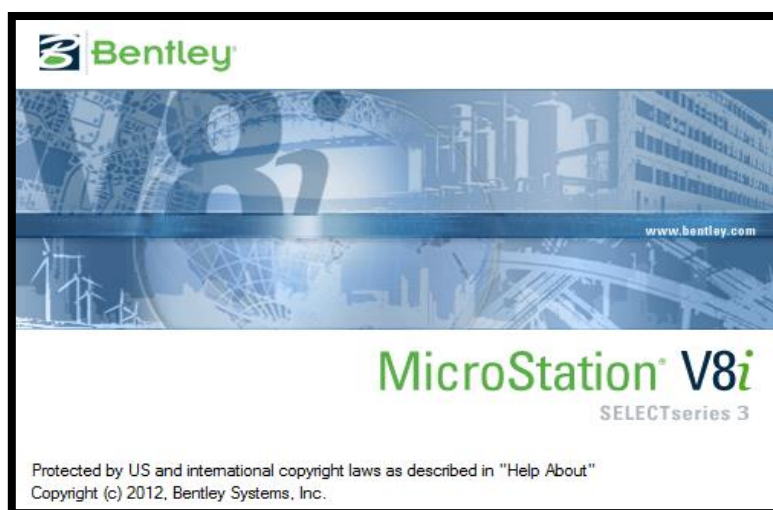


Figura. 1.21 Editor gráfico MicroStation.

Las operaciones que realizó el especialista incluyen: consultar, medir, eliminar, agregar, mover, delimitar áreas de difícil definición, ubicación de zonas de interés para el cliente, tratar pequeños huecos de información originados por espejos de agua mediante break-lines para la generación de una malla que evite distorsiones posteriores en el MDE, por último podrá realizar una clasificación especializada solicitada por el cliente, entre otras funciones.

- Delimitación y tratamiento de cuerpos de agua.

Debido a la falta de reflectancia del LÁSER del equipo LIDAR sobre determinados materiales como lo es el agua, con el fin de evitar triangulaciones, se realizó la delimitación y tratamiento mediante breaklines con los cuales se cubrirá esa falta de datos permitiendo una correcta triangulación del modelo.

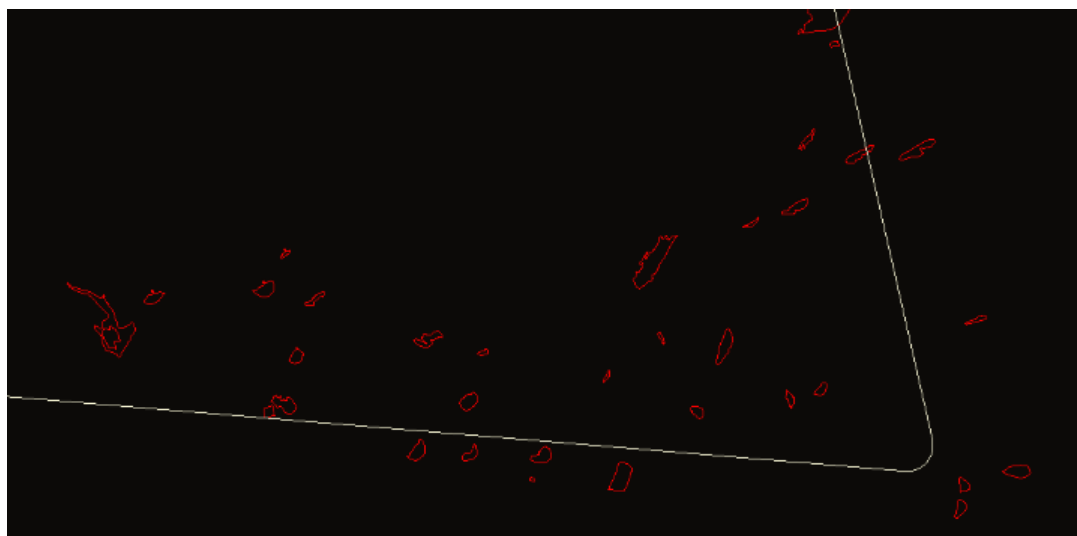


Figura. 1.22 Filtrado de nube de puntos de terreno

Para este cálculo se analizó una muestra con los puntos ubicados en pendientes menores a 1° o que mediante la observación en memorias técnicas de los puntos se observe que no se encuentren elementos que puedan interferir en el grado de confianza de esta comparación.

Al tener productos con resultados 100% independientes se procedió a la comparación de las coordenadas de cada punto medido con el punto LIDAR más cercano a él para determinar la variación entre coordenadas de ambos sistemas.

- Clasificación de los puntos de control.

Del total de puntos proporcionados se seleccionaron los necesarios que estaban ubicados en superficies planas en un diámetro de 1 metro como mínimo para obtener los mejores resultados en el ajuste.



Figura 1.23, Tipo de punto seleccionado.

Los puntos fueron seleccionados analizando la memoria técnica correspondiente a cada uno de los puntos del proyecto que se realizó; dicha memoria técnica contiene información detallada del vértice geodésico como lo es su coordenada UTM, altura elipsoidal, altura ortométrica obtenida de la página oficial de INEGI, la altura del GPS, el DATUM con el que se trabajó, la fecha de observación, el nombre del punto, una descripción general de la ubicación de punto, un croquis de localización, la hora en la que se inicia la lectura GPS así como el termino de grabación del punto, además contiene fotografías del vértice geodésico orientadas a los 4 puntos cardinales y una fotografía panorámica, de igual forma se anexa la fotografía aérea ubicando el punto de control terrestre.

A continuación, se anexa un ejemplo de memoria técnica de uno de los puntos obtenidos.

Datos Generales		Información Geodésica	
Nombre del PCT: Ch6		Elipsoide: GGM10	
Entidad Federativa: Ciudad de México		DATUM Horizontal: ITRF2008	
Delegación / Municipio: Miguel Hidalgo		Proyección UTM: 14N	
Fecha: 05 febrero 2021		DATUM Vertical:	
		Latitud: 19.412623944	
		Longitud: -99.210484784	
		Altura Elipsoidal: 2295.2893	
		Altura Ortométrica: 2295.2893	
		Este UTM: 477901.6376	
		Norte UTM: 2146497.895	

Información Topográfica	
X Topo: 477901.6376	
Y Topo: 2146497.895	
Z nivelación Directa: 2295.2893	

Fotografía	
	

Descripción de la Referencia	
19.41262394	-99.21048478
Levantó: Ing. Luis Arista	
Número de Cédula:	

Figura. 1.24 Ejemplo de memoria técnica puntos de control (1/2).

Vuelo Fotogramétrico

Para el vuelo fotogramétrico se utilizó una aeronave Bell 206 tripulada con 2 fotonavegantes, Piloto y Navegante.

Se utilizaron 2 cámaras de 50 mp, la primera con un ángulo cenital de 90 grados y la secundaria con un ángulo de 45 grados para tener una fotografía oblicua, esto permite mejorar la cobertura en esta zona de alta vegetación, y las zonas de difícil acceso por zonas restringidas prohibidas o alertas NOTAM comunes en la zona de Chapultepec.



Figura. 1.25 Ruta de vuelo (1).

En la zona de trabajo tenemos zonas restringidas como la fábrica de armas del ejercito mexicano, helipuerto de la SSP, 2 Helipuertos de la guardia nacional etc. Por lo cual en ese momento se interrumpió la captura de fotografías y se desvió la aeronave del plan de vuelo.



Figura. 1.26 Ruta de vuelo (2).

AEROTRIANGULACIÓN

La aerotriangulación en cartografía se realiza a través de la fotogrametría, es decir, a través de la aerofotogrametría se obtienen y se realizan medidas de forma correcta y con precisión a través fotografías aéreas.

Para su producción cartográfica se debe identificar al menos dos puntos con coordenadas planimétricas que se conocen para definir la escala y 3 puntos de cota conocida para realizar la nivelación.

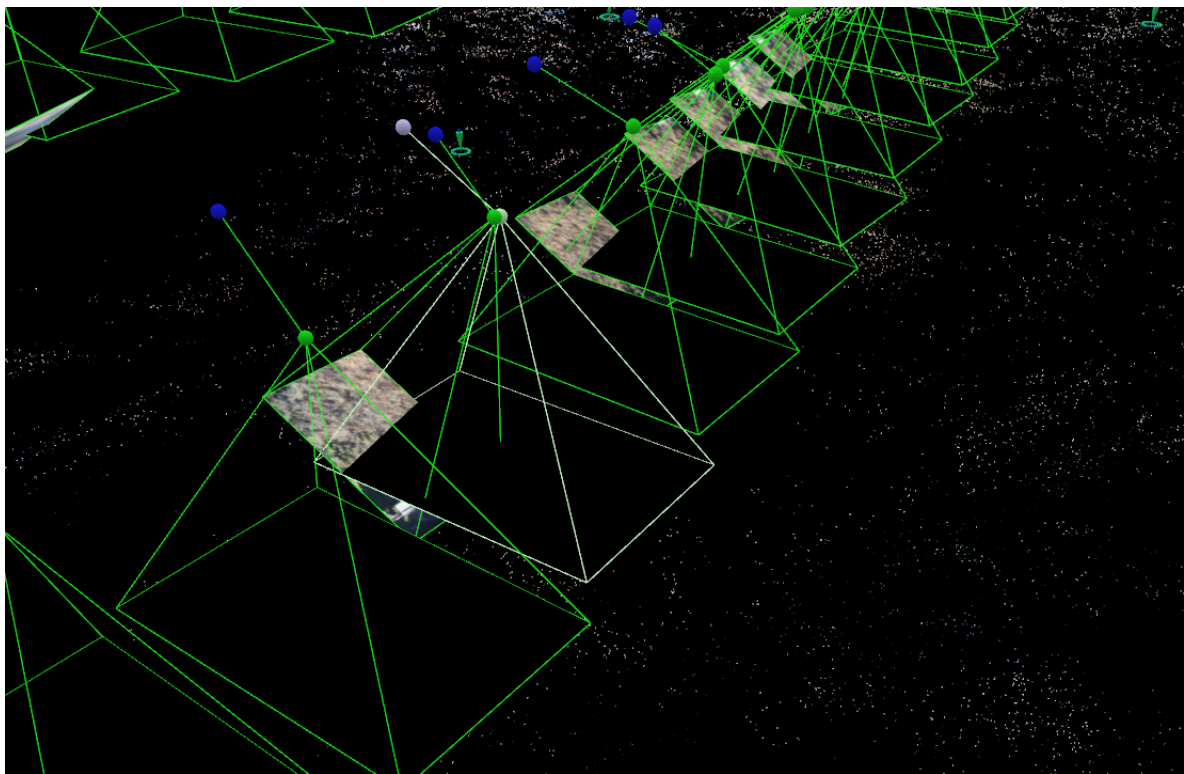


Figura. 1.27 Aerotriangulación fotogramétrica.

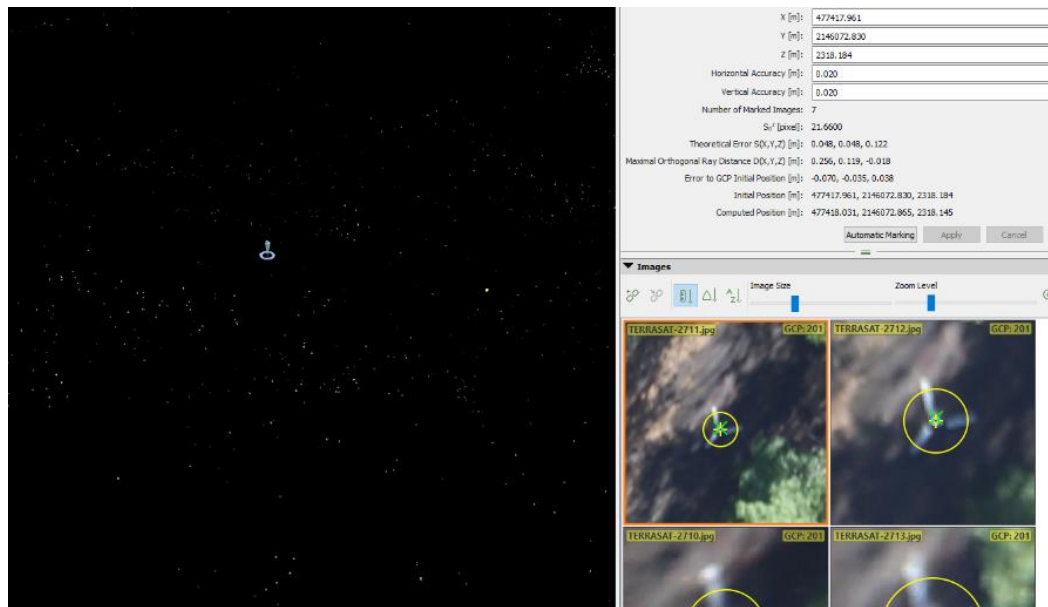


Figura 1.28 Identificación de control Terrestre con GNSS en el proceso de aerotriangulación para nube de puntos densificada.

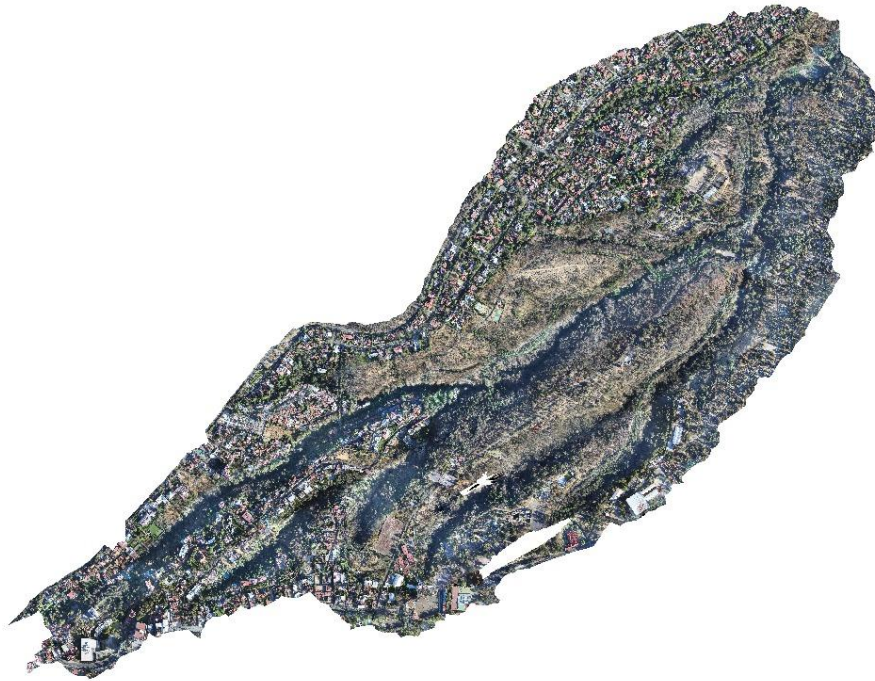


Figura 1.29 Ortofoto Digital.

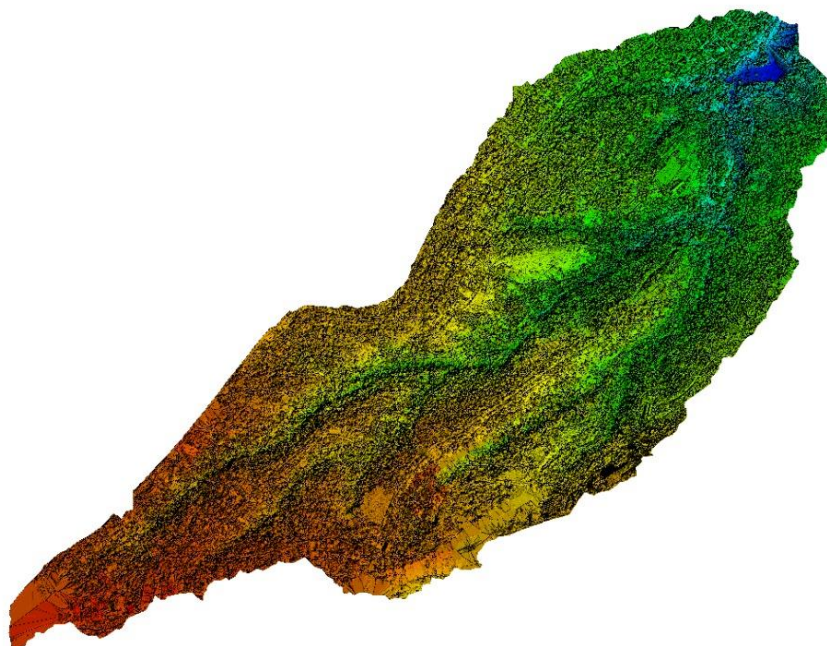


Figura 1.30 Modelo Digital de Superficie.

Obteniendo los siguientes resultados, Véase Figura 1.31, Figura 1.32, Figura 1.33, Figura 1.34 , Figura 1.35, Figura 1.36, , Figura 1.37, Figura 1.38.

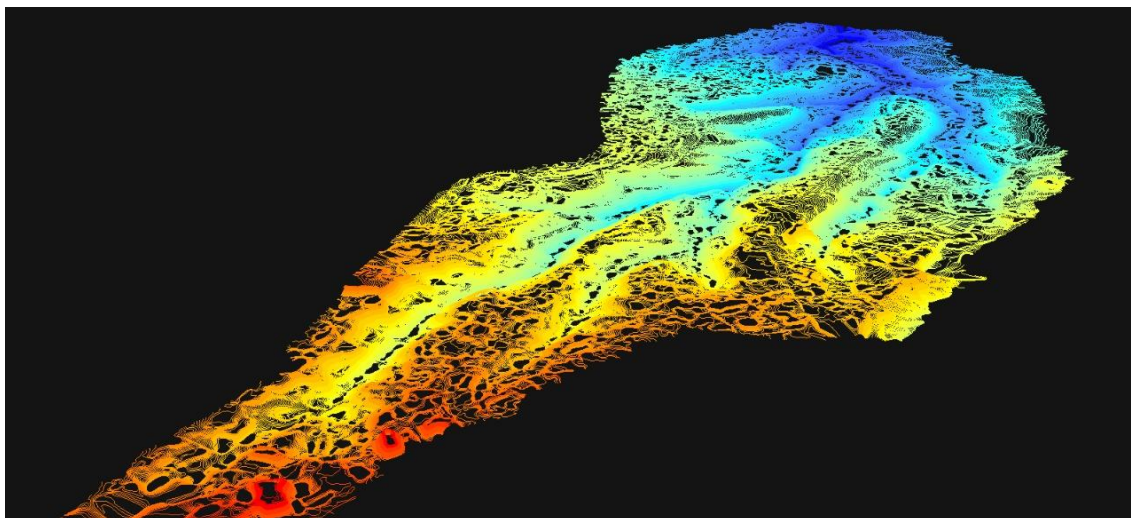


Figura 1.31 Elaboración de curvas de nivel por medio de geoprocésamiento.

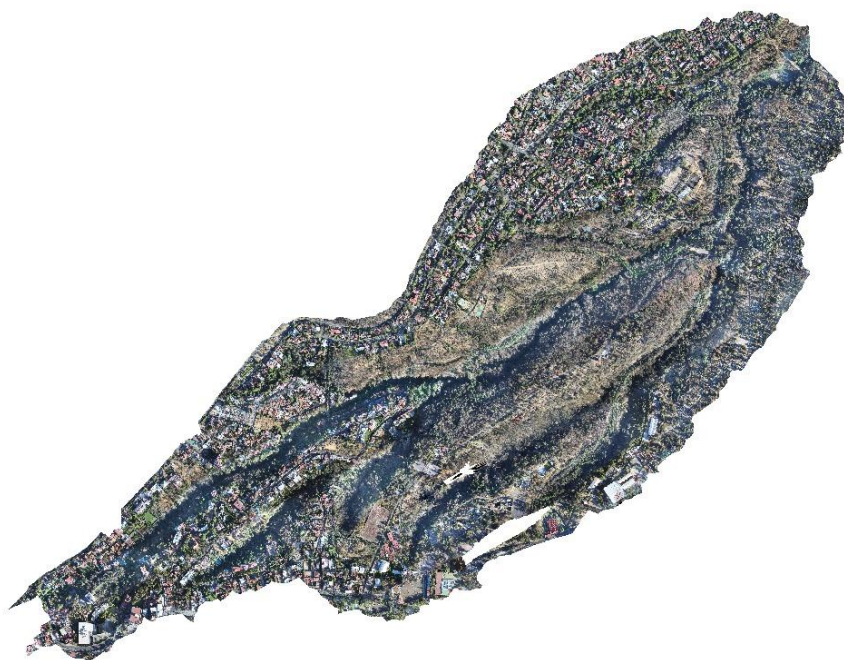


Figura 1.32 Elaboración de ortomosaico.

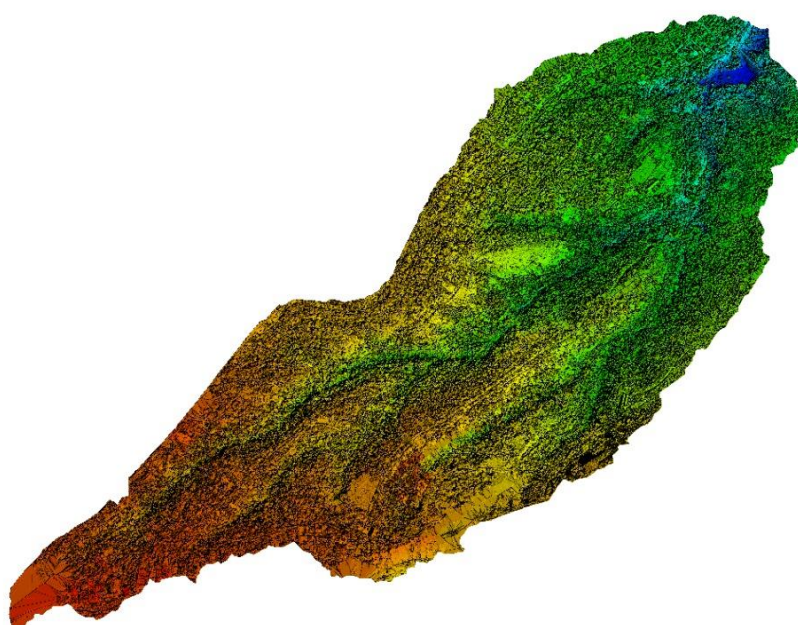


Figura 1.33 Elaboración de Modelo Digital de Elevación.

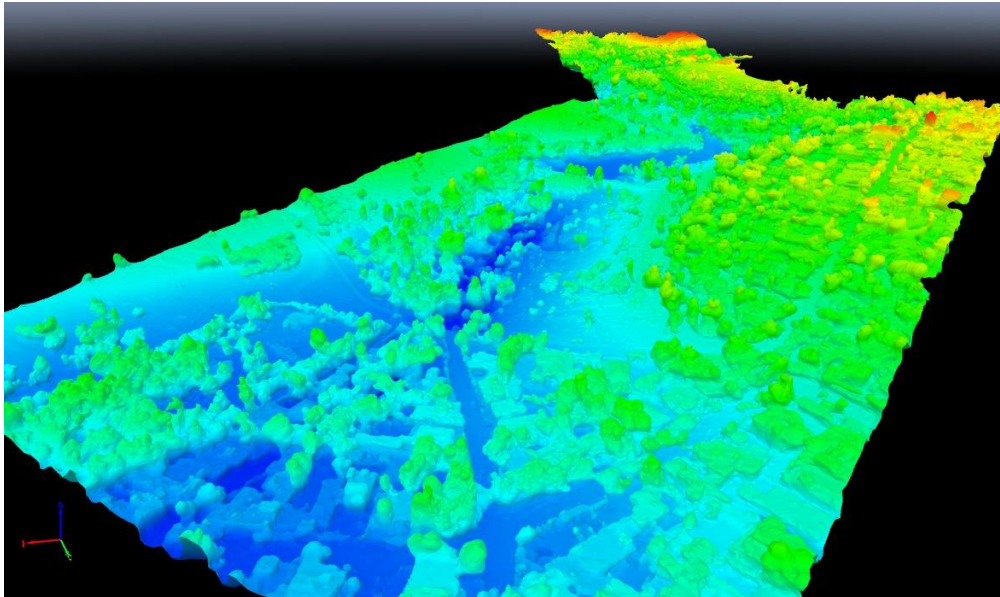


Figura 1.34 Nube de puntos en 3D.

Los diez (10) planos cartográficos generados se adjuntan impresos al presente informe en formato 60x90cm en papel bond a color para mayor detalle.

Asi mismo cabe mencionar que se va a entregar en formato electrónico todos los archivos generados en el estudio topográfico fotogramétrico y LIDAR.

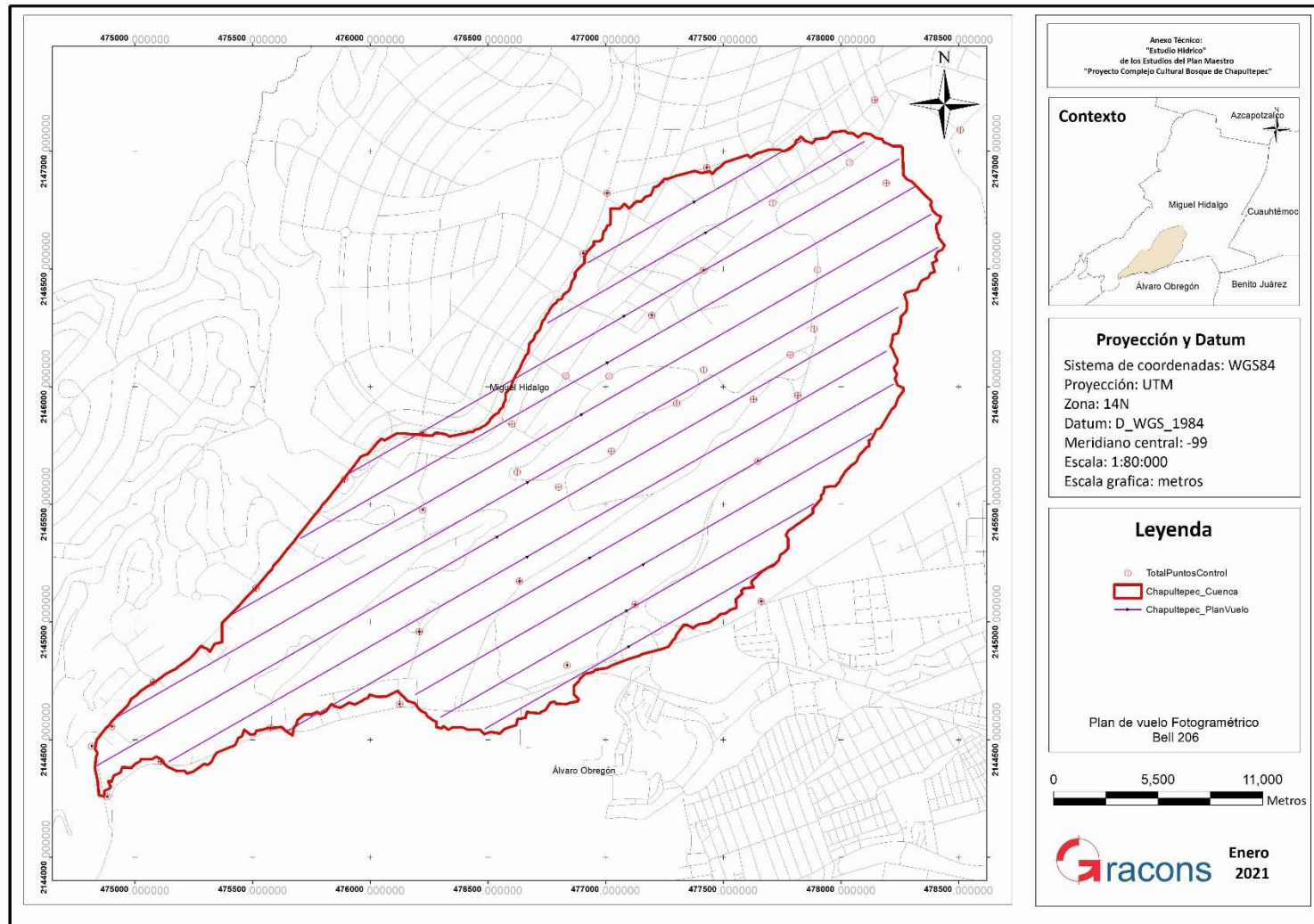


Figura 1.35 Planeación del vuelo fotogramétrico.

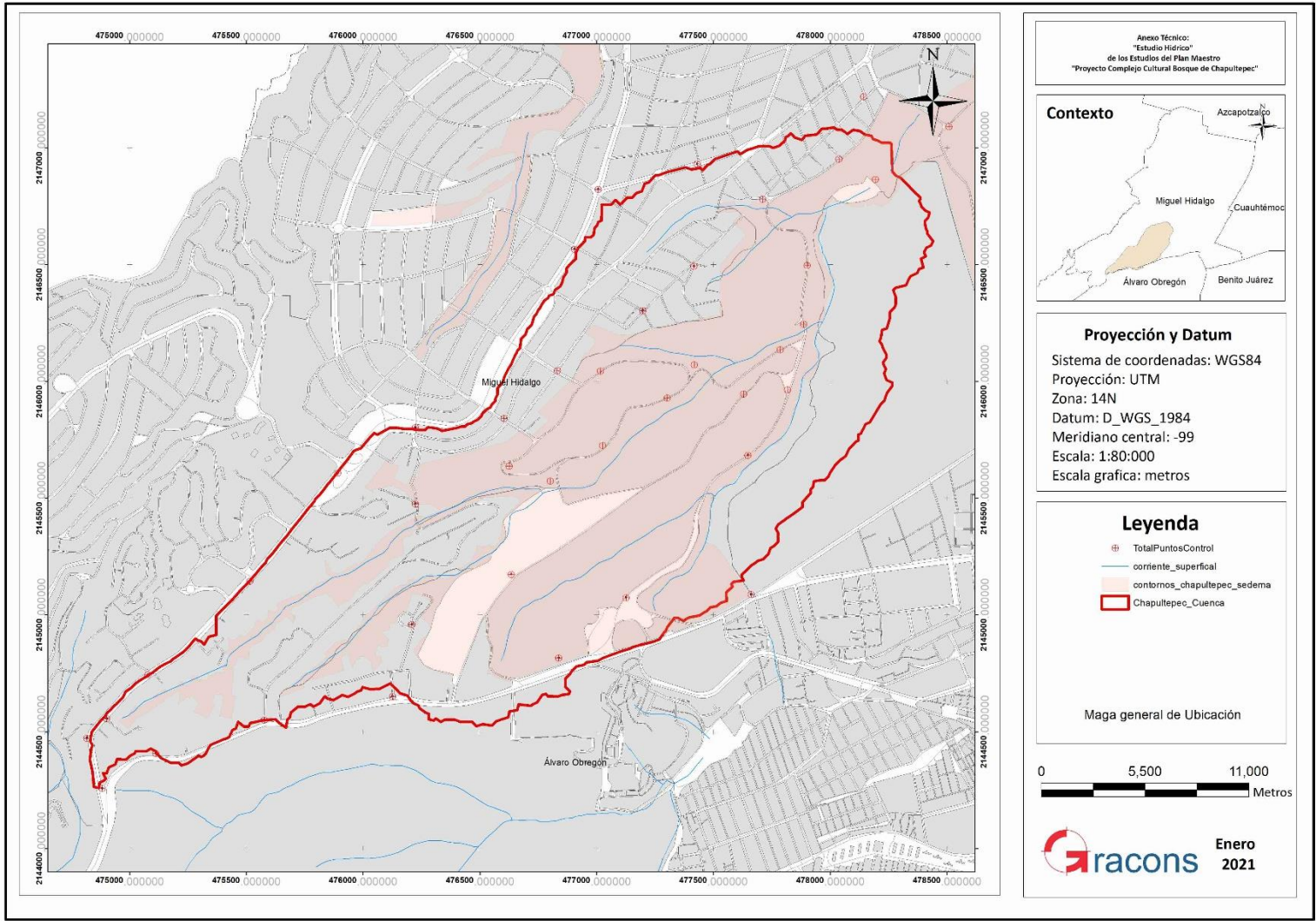


Figura 1.36 Mapa general de ubicación.

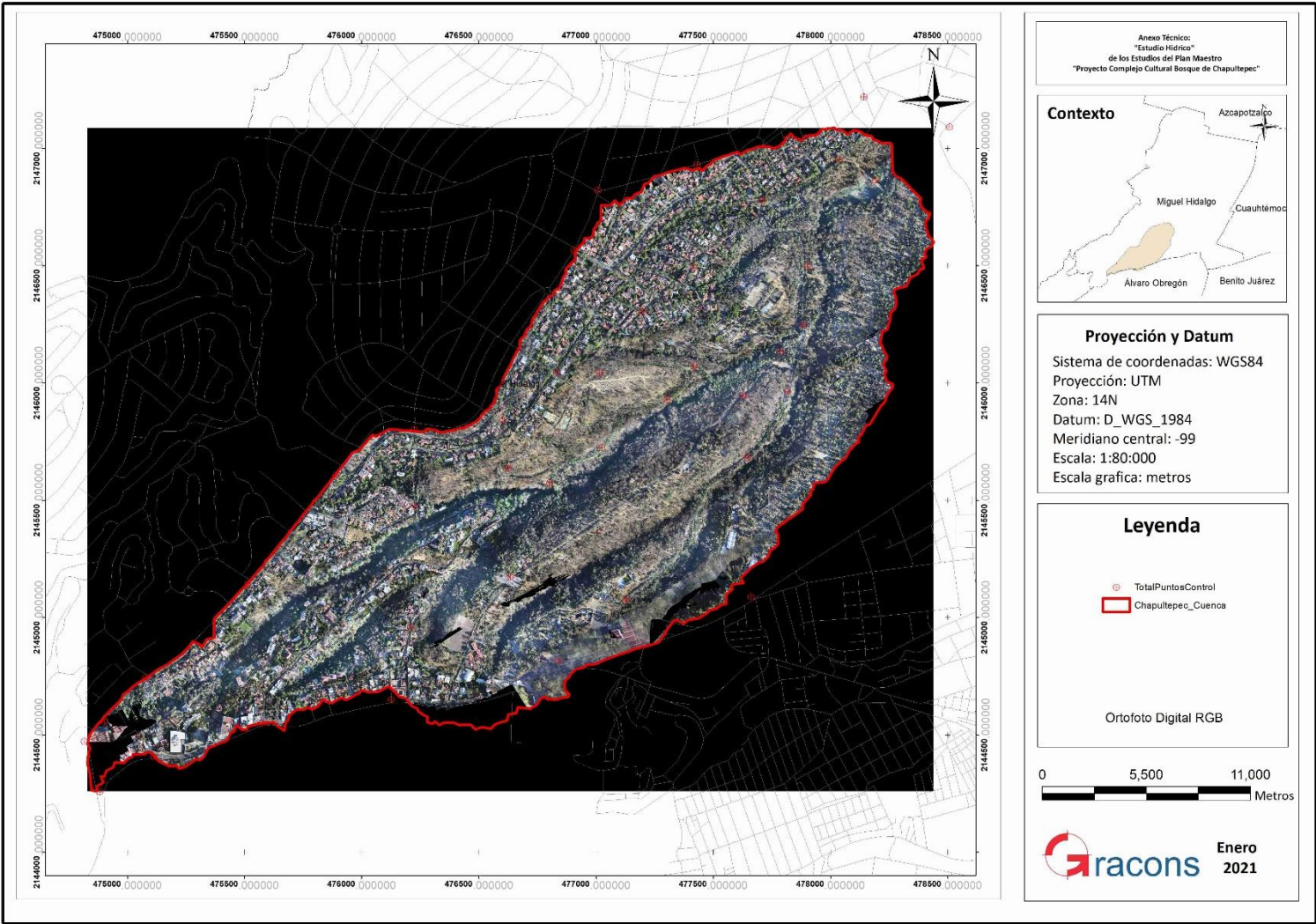


Figura 1.37 Ortofotografía digital RGB.

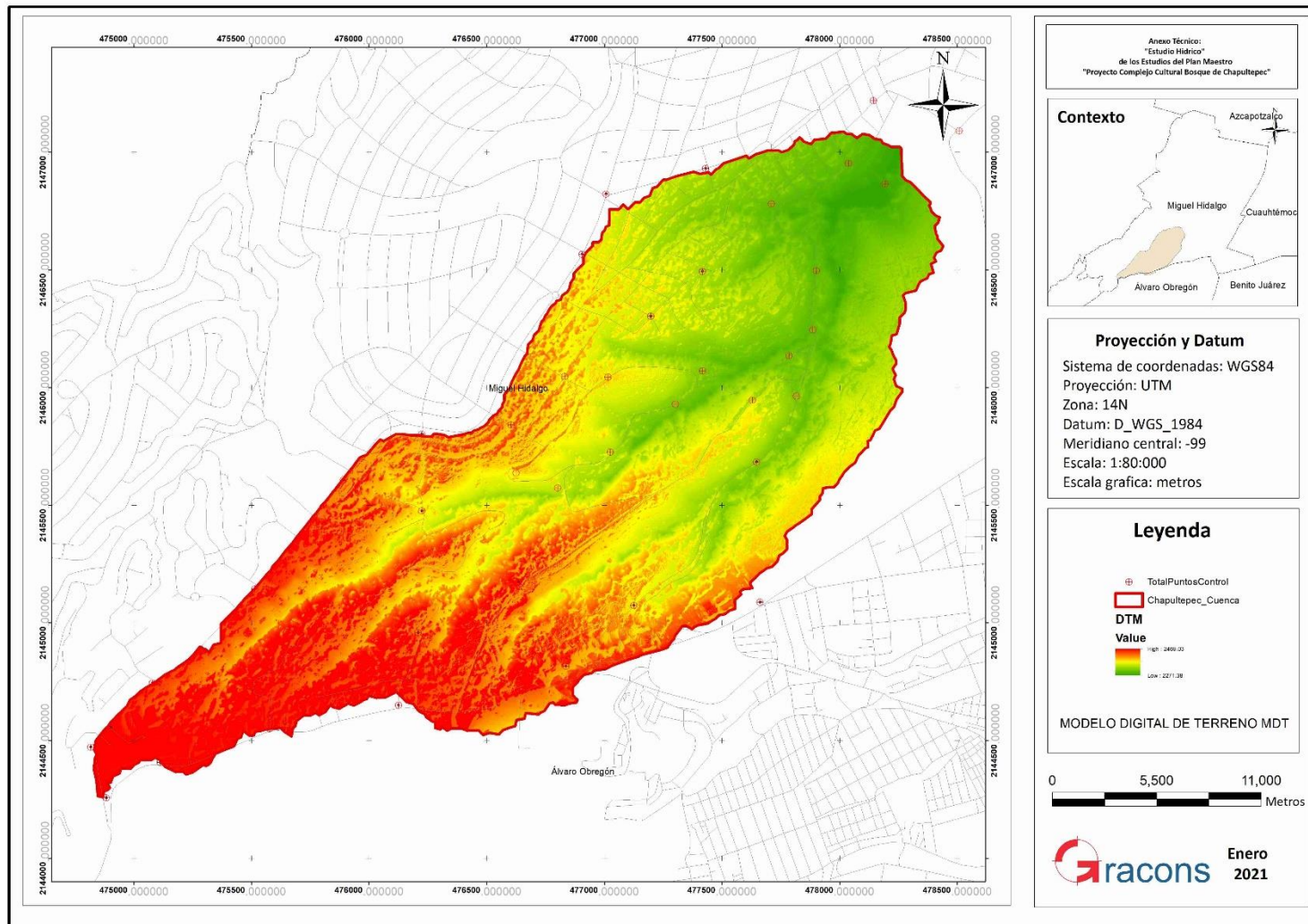


Figura 1.38 Modelo Digital de Terreno MDT

La tercera Sección de Chapultepec cuenta con un Plan Maestro publicado el 12 de marzo de 2018, en el cual se establecen las medidas generales para su manejo. El objetivo general del Plan Maestro es:

“Contar con un plan integral para la rehabilitación de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec que contemple la restauración de los servicios ambientales y sociales que provee un bosque urbano de esta relevancia”

De aquí se desprenden los siguientes objetivos específicos:

- a) Establecer un Plan de Manejo Ecosistémico, autosuficiente y capaz de revertir el deterioro ambiental actual del suelo y la vegetación.
- b) Recuperar y mejorar la función hidrológica de las barrancas.
- c) Identificar y definir los usos y las actividades compatibles y no compatibles acorde a la vocación de la Tercera Sección.
- d) Formar y recuperar ambiental y socialmente la identidad de la Tercera Sección con una visión ecológica, sustentable, recreativa y de educación ambiental.
- e) Mejorar la conectividad y accesibilidad a la Tercera Sección
- f) Recuperar y rehabilitar la infraestructura existente. (Cisneros, 2018)

El plan propone una serie de medidas para la restauración hídrica de la tercera sección que incluye limpieza y retiro de residuos sólidos, la construcción de represas para reducir la erosión y facilitar la infiltración de agua pluvial, así como mejorar la capacidad reguladora de la presa de Dolores, sustentado en los resultados de un estudio hidrológico e hidráulico de la cuenca Dolores.

La Tercera Sección, conformada en la década de los setenta, con una superficie de 243.89 hectáreas, se caracteriza por ser proveedora de servicios ambientales a la Ciudad, sus barrancas tienen un alto valor y un gran potencial para la recreación, la educación ambiental y el ecoturismo.

La zona de estudio se localiza en una pequeña cuenca que pertenece al conjunto estructural de la Sierra de Las Cruces, en la porción occidental de la Cuenca de México. Esta última pertenece artificialmente a la parte alta de la gran región hidrológica del Río Pánuco. La litología y el control estructural del área originan un patrón de drenaje tipo dendrítico alargado y paralelo en algunos sectores. La cuenca Dolores, está bordeada y encajonada por dos cuencas de mucha mayor extensión, las cuencas del Río Tacubaya, al sur; y la del Río Tecamachalco, al norte. Los cauces que forman la cuenca Dolores conducen agua solamente durante la temporada de lluvias, y particularmente de manera torrencial durante y posterior a la presencia de las tormentas que se presentan en los meses de agosto a octubre. (Cerquera, 2012).

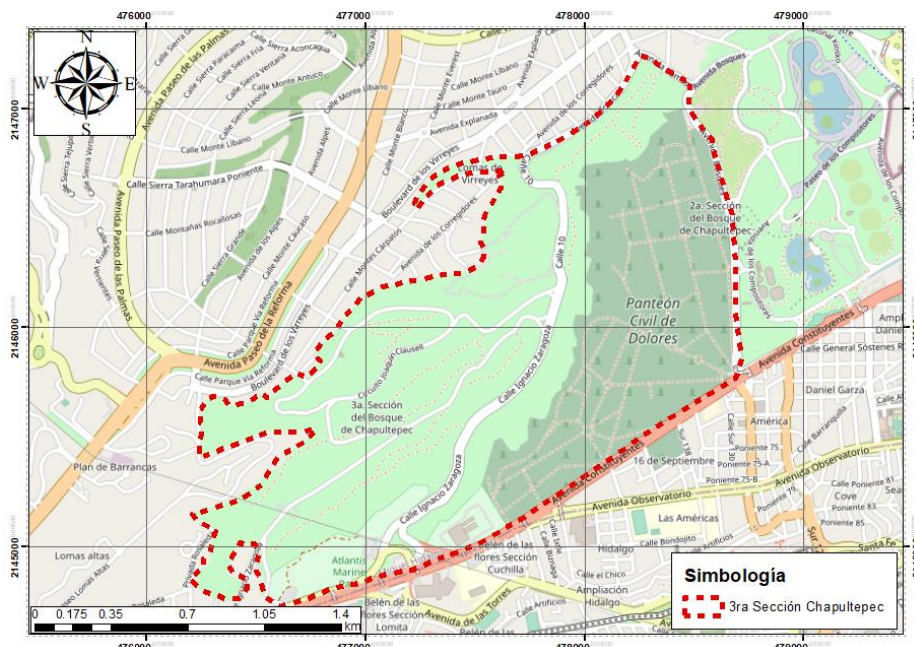


Figura 1.39 Ubicación de la Tercera Sección de Chapultepec, CDMX.

Debido al crecimiento de la mancha urbana en la CDMX los escurrimientos superficiales se han incrementado después de impermeabilizar la superficie con las nuevas obras de infraestructura. La zona del poniente no es la excepción y debido a las condiciones topográficas que se presentan, en 1901 se empezó la construcción de presas de regulación para reducir los gastos pico durante las avenidas en época de lluvias mejorando la operación del sistema principal de drenaje.

El sistema de presas del poniente consta de 30 presas de las cuales 22 se encuentran en la Ciudad de México siendo la presa de Dolores la encargada de regular una de las cuencas menos urbanizadas hasta el día de hoy al encontrarse dentro de la tercera sección de Chapultepec.

La cuenca de aportación a la presa Dolores incluye la tercera sección de Chapultepec además de parte de la mancha urbana cercana. Esta presa regula las avenidas súbitas que se presentan en la barranca de Dolores para verter el agua al Interceptor del Poniente aguas abajo, por lo que es importante mantener la capacidad de regulación de la presa.

Una de las características principales del sistema de presas del poniente en su interconexión, por lo que podrían llegar a recibir agua proveniente de cuencas vecinas. La cuenca de la presa Dolores se encuentra al norte de la cuenca de la presa Tacubaya, sin embargo, esta última cuenta con un túnel de interconexión que conduce el agua hasta la presa Tecamachalco más al norte de Dolores por lo que su funcionamiento y las avenidas presentadas no influyen en la cuenca de estudio.

2.3 OBJETIVO Y ALCANCES DEL ESTUDIO HÍDRICO

Objetivo: Realizar el estudio hidrológico e hidráulico de la tercera Sección del Bosque de Chapultepec a nivel de cuenca y subcuencas, que sirva de base en la implementación de estrategias para la rehabilitación y conservación de los servicios Ecosistémicos Hidrológicos en las Barrancas de Dolores, a través del manejo de la topografía, suelo y vegetación.

Alcances: Se deberá tomar como antecedente el estudio hídrico elaborado por el Taller de Ingeniería y Diseño S.A. de C.V., el cual deberá ser profundizado y actualizado de ser necesario.

El resultado del "Estudio Hídrico", debe contemplar la ejecución de acciones resultado del análisis a nivel de cuenca y sobre todo de subcuenca en donde considere el sistema de las Barrancas Tacubaya y Dolores.

El alcance del Estudio debe considerar la obtención de un documento que a largo plazo permita la ejecución de acciones para el manejo de los escurrimientos naturales o clandestinos que den soporte a la humedad para la vegetación existente y a futuro en el Bosque de Chapultepec.

Se considerará la situación actual de la cuenca de Dolores y Tacubaya para conocer las avenidas de diseño, así como, el volumen que estas ocasionen en los vasos de regulación de las presas Dolores y Tacubaya para distintos periodos de retorno. Se transitarán las avenidas de diseño únicamente por la presa Dolores con el fin de conocer las cotas de inundación en el vaso asociadas a distintos periodos retorno para así tomar decisiones sobre la ubicación de obras a proyectar.

Dado que los escurrimientos de la cuenca Tacubaya son conducidos hasta la presa Tecamachalco y no pasan por la cuenca Dolores, únicamente se obtendrán las avenidas de entrada por cuenca propia a la presa de Tacubaya asociadas a diferentes periodos de retorno, pero no se profundizará en el comportamiento hidráulico de la cuenca de Tacubaya ni del vaso de su presa correspondiente.

Se obtendrán también las avenidas de diseño futuras de la cuenca Dolores considerando dos escenarios, si se toman acciones para mejorar la condición hidrológica en la cuenca o si no se hace nada para mejorarla y por el contrario sigue su deterioro.

Se transitarán las avenidas futuras que consideren una mejoría en las condiciones hidrológicas de la cuenca y considerando las obras hidráulicas recomendadas para el manejo de los escurrimientos en la cuenca.

Para el análisis hidrológico se trabajará con la información LIDAR con resolución de 5 m disponible en el INEGI, así como, los datos climatológicos disponibles en el CLICOM o el SMN.

Para realizar el análisis hidráulico, se utilizará topografía detallada tanto del vaso, como del cauce y los afluentes que llegan a este.

Se harán las recomendaciones pertinentes para la operación correcta del vaso.

3 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN USO DE SUELO Y VEGETACIÓN

En la tercera sección del Bosque de Chapultepec se identifican tres usos de suelo (figura 2.1).

- Bosque Artificial de Latifoliadas, en la que la especie dominante es el eucalipto. Esta agrupación vegetal se conforma por especies arbóreas que son producto de actividades de reforestación o bien de introducción deliberada con fines de ornato, sin que tengan algún manejo relacionado con algún uso forestal comercial, como es el caso de los bosques creados a partir de reforestación con eucalipto, casuarina, cedro o pirúl. Representa el 33% de la cuenca.
- Pastizal inducido. Se presenta principalmente en el Panteón de Dolores. Condición hidrológica aceptable, esta clasificación son para áreas con cubierta de pasto del 50 al 75%. Está presente en el 24% de la cuenca.
- Zona Urbana. Comprende principalmente la superficie urbanizada, así como también zonas de crecimiento urbano y asentamientos aislados en el suelo de conservación. Representa el 43% de la cuenca.

La condición hidrológica en la cuenca es Regular o aceptable, esta clasificación es para terrenos con cobertura vegetal entre el 30 y 70%.

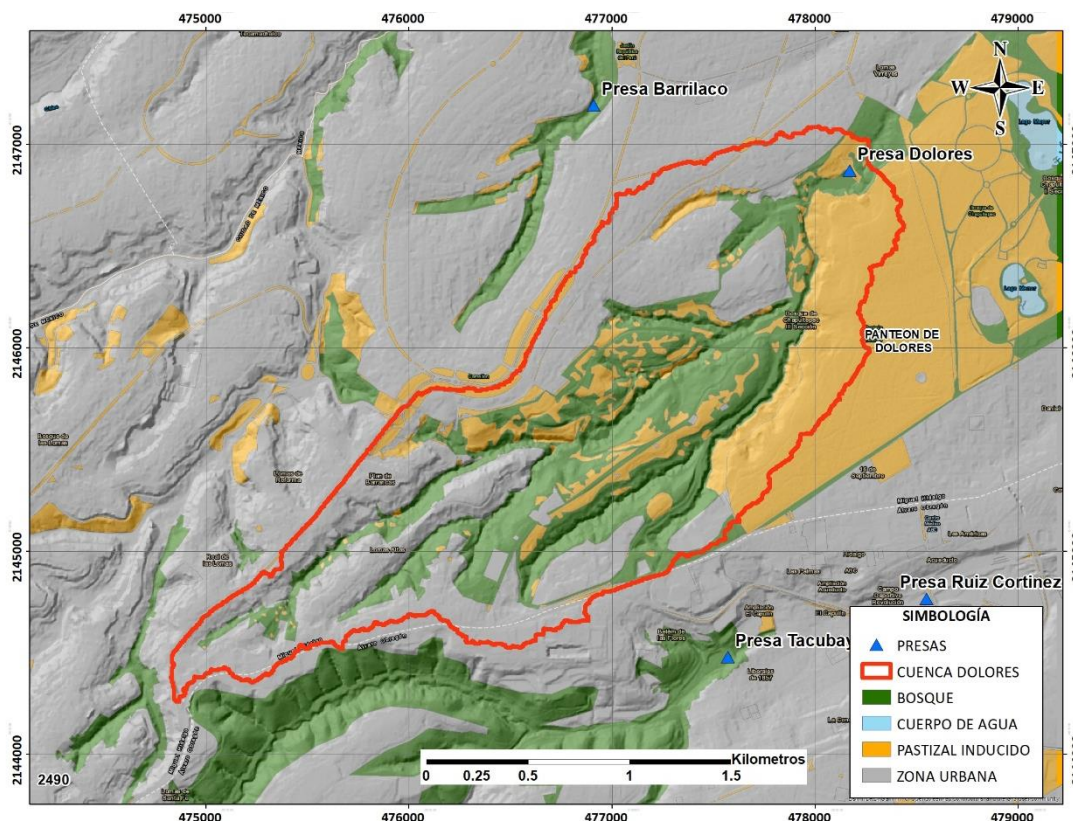


Figura 2.1 Usos de suelo dentro de la zona de estudio

3.2 EDAFOLOGÍA

En el Bosque de Chapultepec se encuentran suelos Feozem Lúvico asociado con Feozem Háptico y Andosoles Mólicos con textura media. En una porción de la Tercera Sección del Bosque, particularmente en las paredes de los barrancos, se encuentran Litosoles como tipo de suelo predominante, junto con el Feozem Háptico con clase textural media con fase lítica. Son suelos pertenecientes al grupo hidrológico B, suelos con permeabilidad Buena.

Feozem Háptico. Son suelos ricos en materia orgánica, capaces de soportar cualquier tipo de vegetación, por su capacidad de retener humedad. Dominan la mayor parte del área de diagnóstico, y pueden encontrarse en diversos tipos de relieve. Debido a la heterogeneidad de su granulometría, tienen un potencial de infiltración medio.

Leptosoles (Litosoles). Suelos de poco desarrollo con roca dura subyacente a poca profundidad. Se encuentran principalmente en las paredes de los barrancos, y son altamente susceptibles a la erosión, dada su posición topográfica en laderas de pendiente pronunciada. Se recomienda su protección aumentando la cobertura forestal. El potencial de infiltración en estos suelos, puede ser muy alto, cuando la roca parental está fracturada o fragmentada.

Existe evidencia de procesos geomorfológicos acumulativos y erosivos en el suelo. En la Tercera Sección los procesos dominantes son preferentemente de tipo fluvial concentrado, ocasionados por los torrentes que se presentan en los cauces principales de los barrancos, así como en sus paredes, durante la parte más intensa de la temporada de lluvias. También se presentan en las mismas paredes de barrancos, deslizamientos, caída de bloques y paquetes de estratos de material piroclásticos y en algunos casos flujo lento de suelos. (Cerquera, 2012).

3.3 RECONOCIMIENTO EN CAMPO DE LA ZONA DE ESTUDIO

El día 26 de enero de 2021 se realizó una visita a la zona de estudio donde se visitaron distintos puntos de interés para realizar el estudio hidrológico, entre ellos algunos sitios identificados con descargas de agua residual, así como el vaso y la cortina de la presa Dolores.

El recorrido inicio en las instalaciones de SACMEX en la parte alta de la cuenca. Para cumplir con los requerimientos de pandemia se nos tomó la temperatura y se proporcionó gel antibacterial, así como casco y chaleco para protección y seguridad.

Antes de iniciar el recorrido y decidir por dónde empezar se plantearon las necesidades del proyecto y se planteó que los lugares más importantes serian ver alguna de las descargas de aguas residuales a la barranca y la presa Dolores.

En esta zona solo se alcanza a ver el gran desnivel con el que se cuenta en la zona como se puede apreciar en las siguientes imágenes.



Figura 2.2 Fotografías de la visita de campo (26/01/2021).

También se comentó que dentro de los alcances del proyecto se necesitara hacer algunas remodelaciones o modificaciones en algunos lugares como se muestra en las imágenes.



Figura 2.3 Fotografías de la visita de campo en la zona del conejo (26/01/2021).

Un poco más adelante de las instalaciones de SACMEX, observamos la descarga de agua residual a la barranca.

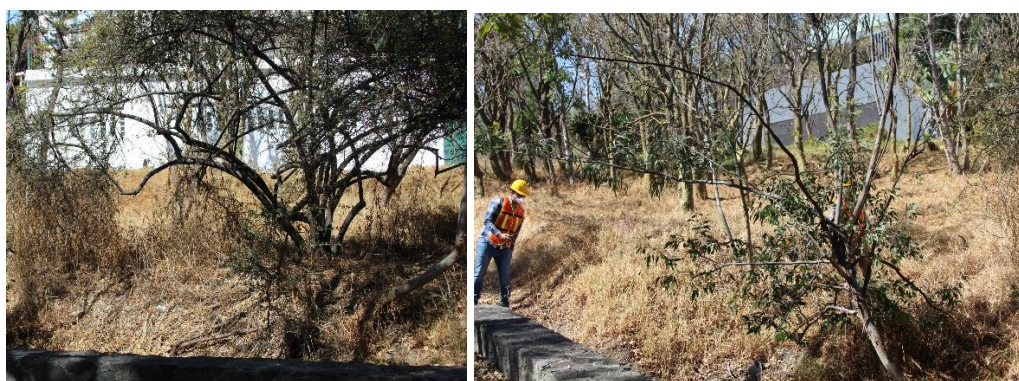


Figura 2.4 Casas que se cree que descargan a la barranca.



Figura 2.5 Alcantarilla que cruza la avenida y capta el agua de las casas.



Figura 2.6 Salida y caída a la barranca.

PRESA DOLORES

La presa está vacía, el vaso se observa con azolve, pero aun así conserva gran capacidad y cumple de manera satisfactoria como presa de regulación en la época de avenidas.



Figura 2.7 Vaso de la presa Dolores.



Figura 2.8 Manivela de compuerta de la obra de toma.



Figura 2.9 Rejillas de retención de basura de la obra de toma.



Figura 2.10 Vertedor de la presa Dolores.

A un costado del vaso llega un afluente el cual tiene una especie de represa como se aprecia en la figura.

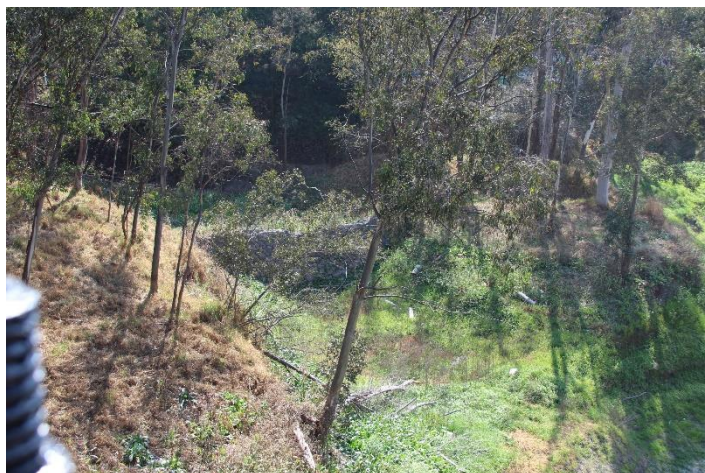


Figura 2.11 Represa de mampostería en el afluente proveniente del panteón de Dolores.

3.4 INFORMACION TOPOGRAFICA DISPONIBLE PARA EL ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para la delimitación de la cuenca, se utilizó un modelo digital de elevación LIDAR con resolución de 5 m disponible en el INEGI (ver figura 2.12). Esta resolución es suficiente para obtener el parteaguas y las características fisiográficas de la cuenca, así como la red de drenaje topográfica.

Sin embargo, para el análisis hidráulico de la presa y de los afluentes será necesario contar con información topográfica más detallada con el fin de obtener con mayor precisión la curva elevación-capacidad del vaso de Dolores al momento de realizar el tránsito de avenidas. Además de mejores resultados en el modelo hidráulico de la cuenca.

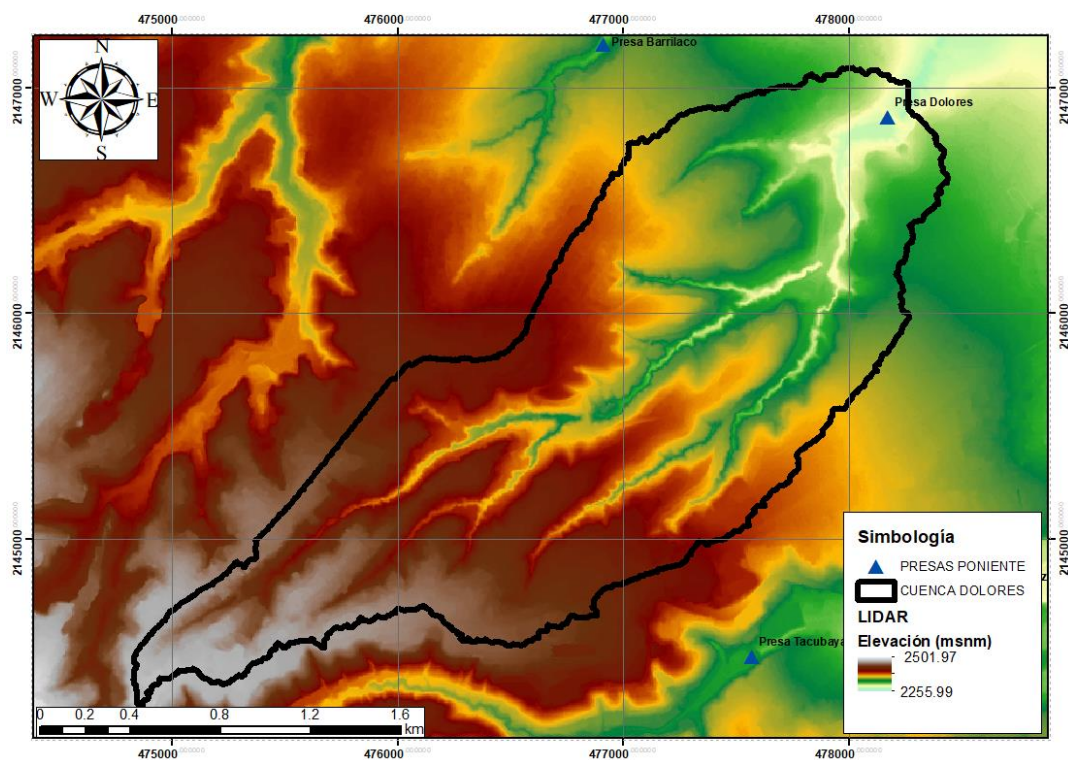


Figura 2.12 LIDAR con resolución de 5m de la cuenca de Dolores.

Con ayuda de un SIG se realizó el geo procesamiento correspondiente para obtener las curvas de nivel a cada 5 m a partir del LIDAR mostrado (figura 2.13).

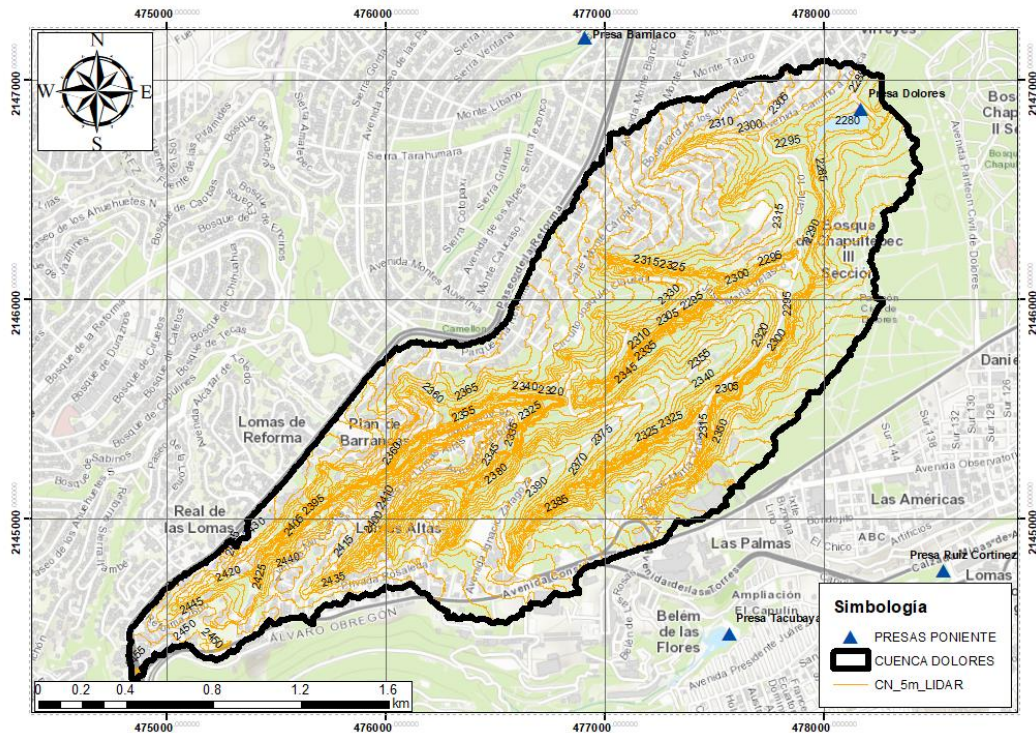


Figura 2.13 Curvas de nivel a cada 5m de la cuenca de Dolores.

3.5 INFORMACIÓN CLIMATOLÓGICA DISPONIBLE

Debido a la falta de información hidrométrica dentro de la cuenca de estudio, se propone analizar la información de lluvias disponible, en la CDMX existen estaciones pluviométricas que miden el acumulado de lluvia cada 24 horas y dentro de la cuenca del Valle de México el SACMEX cuenta con la información de 78 pluviógrafos que registran la lluvia cada 10 minutos (figura 2.14).

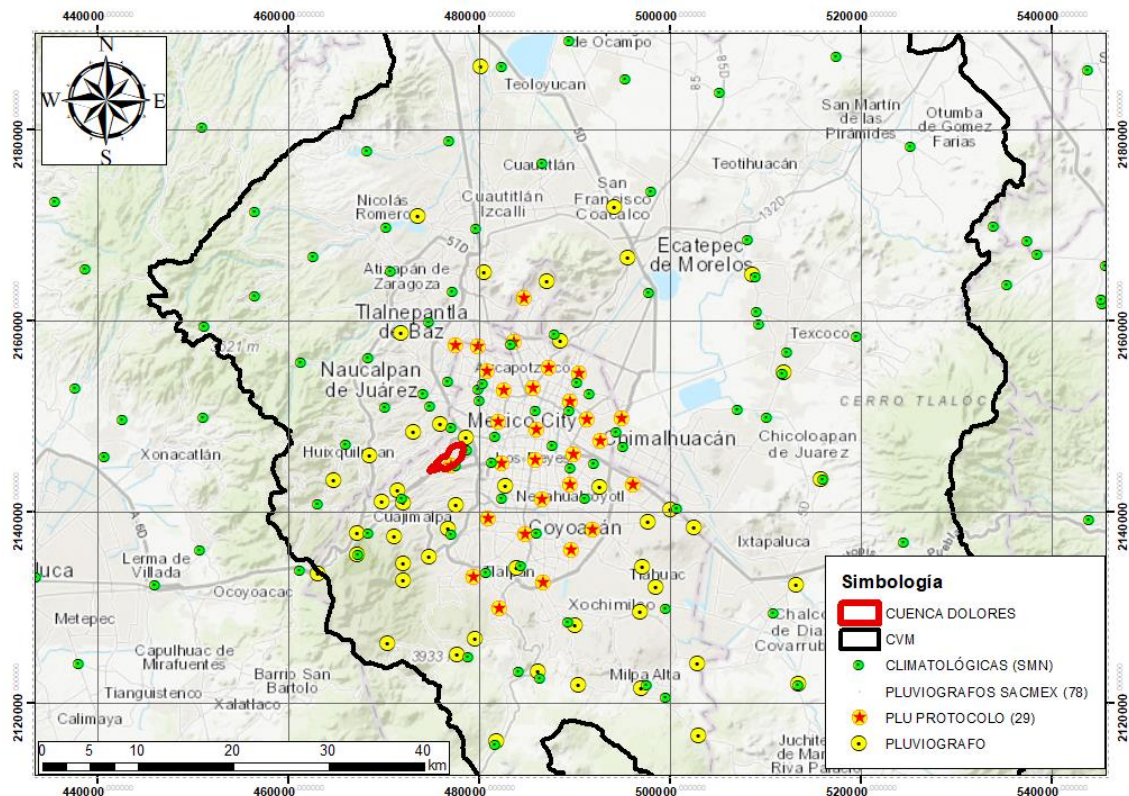


Figura 2.14 Estaciones pluviográficas y climatológicas disponibles en la Cuenca del Valle de México.

Se observa que no se cuenta con una estación dentro de la cuenca de estudio, pero sí muy cerca de esta, en este estudio se realizara un análisis regional con la información de lluvias de 24 horas de las estaciones que se encuentren dentro de un radio de 10 km a partir del centroide de la cuenca (Figura 2.15) para obtener las precipitaciones de diseño, además se analizara la información a cada 10 minutos de los pluviógrafos del SACMEX con el fin de conocer el comportamiento de una tormenta histórica medida.

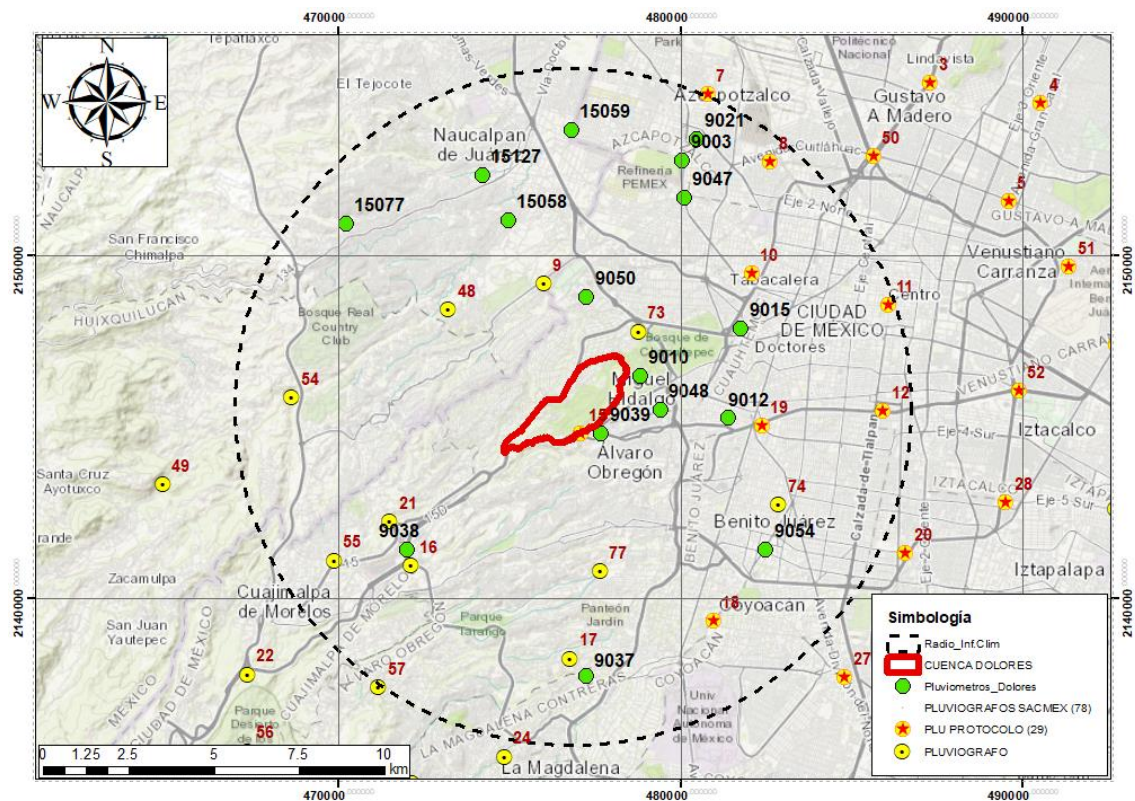


Figura 2.16 Estaciones climatológicas para el análisis regional de lluvias.

Las figuras 2.16 – 2.31 muestran gráficamente los años de registro de cada una de las estaciones pluviométricas a estudiar, estas se obtuvieron de la plataforma del CICESSE.

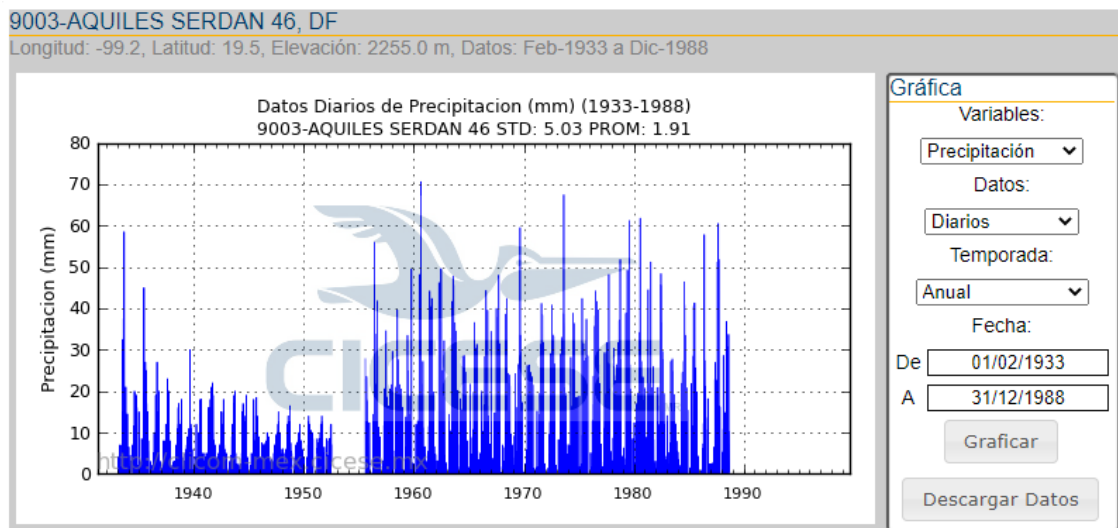


Figura 2.16. Registros diarios de la estación 9003 (1933-1988).

9010-COLONIA AMERICA, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.4, Elevación: 2271.0 m, Datos: Ago-1969 a Dic-2015

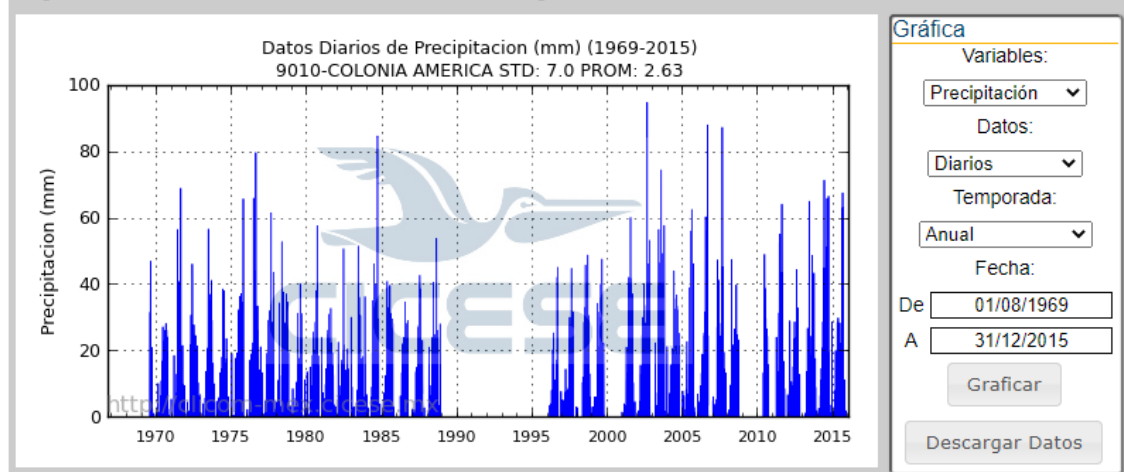


Figura 2.17. Registros diarios de la estación 9010 (1969-2015).

9012-COLONIA ESCANDON, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.4, Elevación: 2245.0 m, Datos: Ene-1951 a Sep-1988

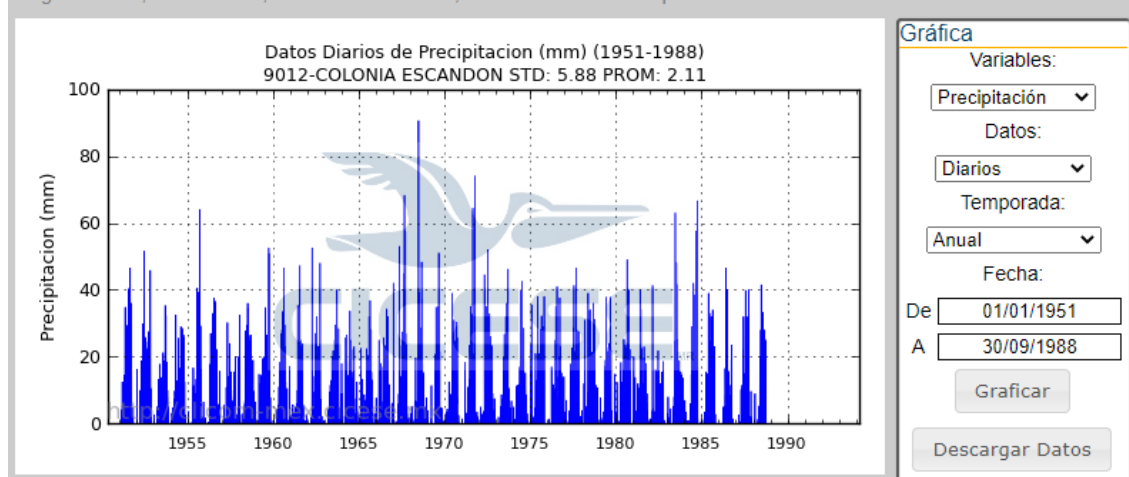


Figura 2.18. Registros diarios de la estación 9012 (1951-1988).

9015-RODANO 14 (CFE), DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.4, Elevación: 2250.0 m, Datos: Jun-1953 a Dic-1996

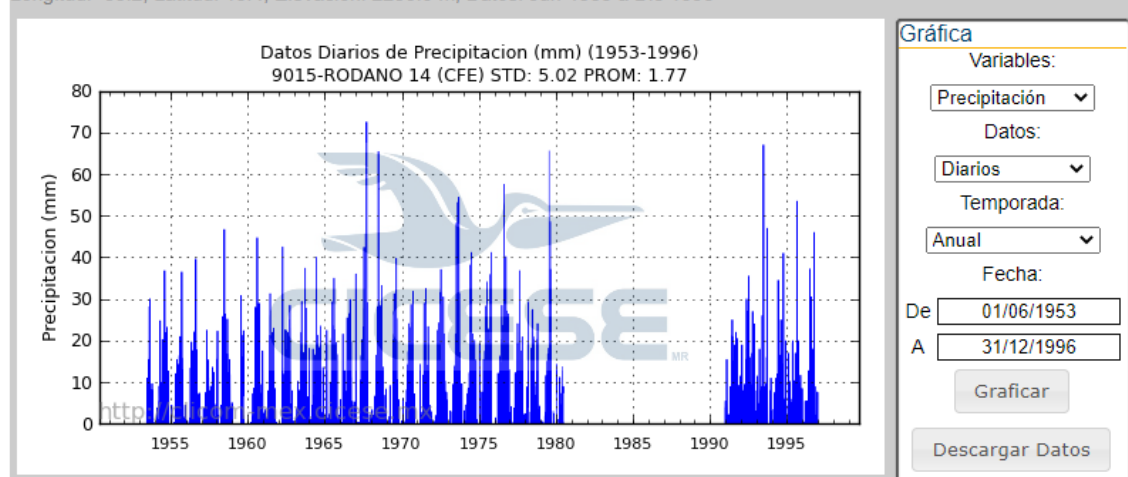


Figura 2.19. Registros diarios de la estación 9015 (1953-1996).

9021-EGIPTO 7, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.5, Elevación: 2248.0 m, Datos: Ene-1959 a Dic-1987

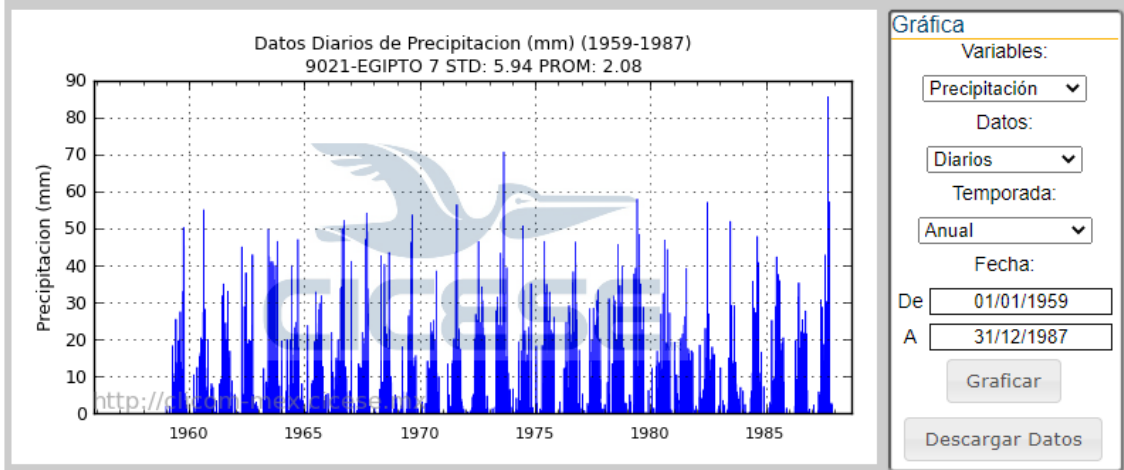


Figura 2.20. Registros diarios de la estación 9021 (1959-1987).

9037-PRESA ANSALDO, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.3, Elevación: 2363.0 m, Datos: Nov-1953 a Dic-1988

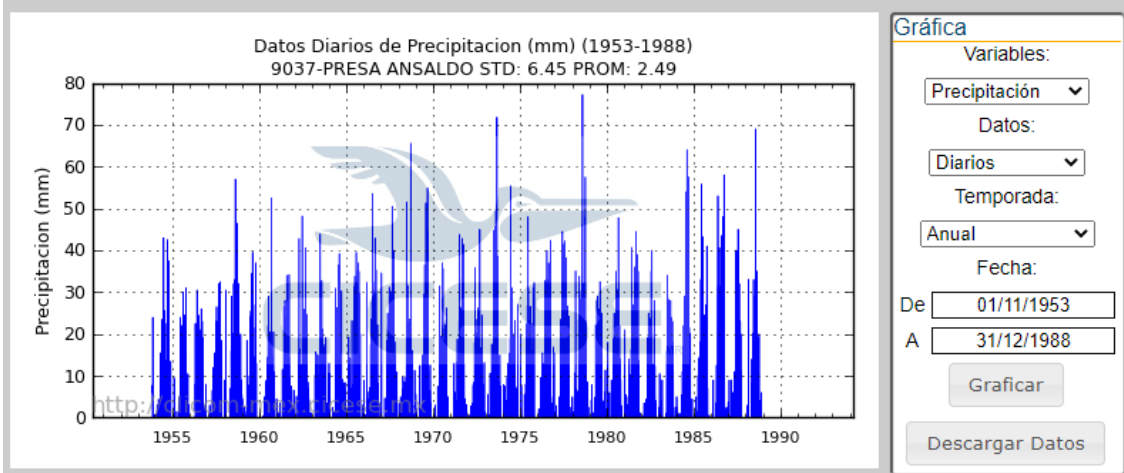


Figura 2.21. Registros diarios de la estación 9037 (1953-1988).

9038-PRESA MIXCOAC, DF

Longitud: -99.3, Latitud: 19.4, Elevación: 2576.0 m, Datos: Sep-1953 a Dic-1988

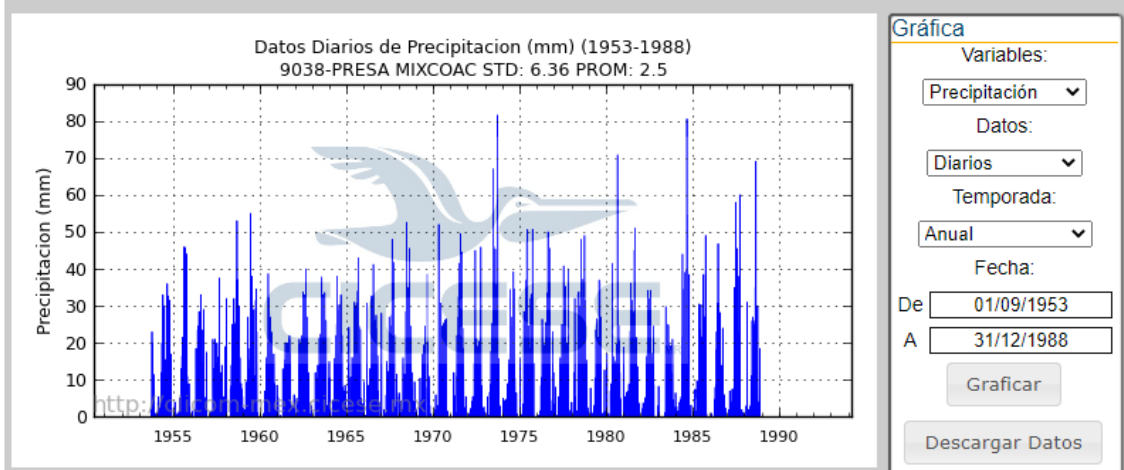


Figura 2.22. Registros diarios de la estación 9038 (1953-1988).

9039-PRESA TACUBAYA, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.4, Elevación: 2340.0 m, Datos: Oct-1953 a Dic-1988

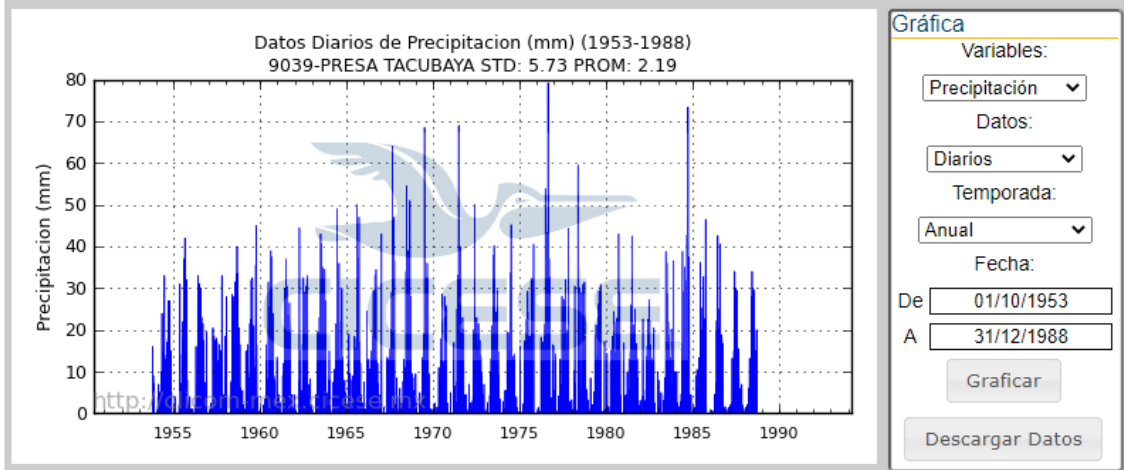


Figura 2.23. Registros diarios de la estación 9039 (1953-1988).

9047-COLONIA TACUBA, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.5, Elevación: 2255.0 m, Datos: Ene-1961 a Abr-1988

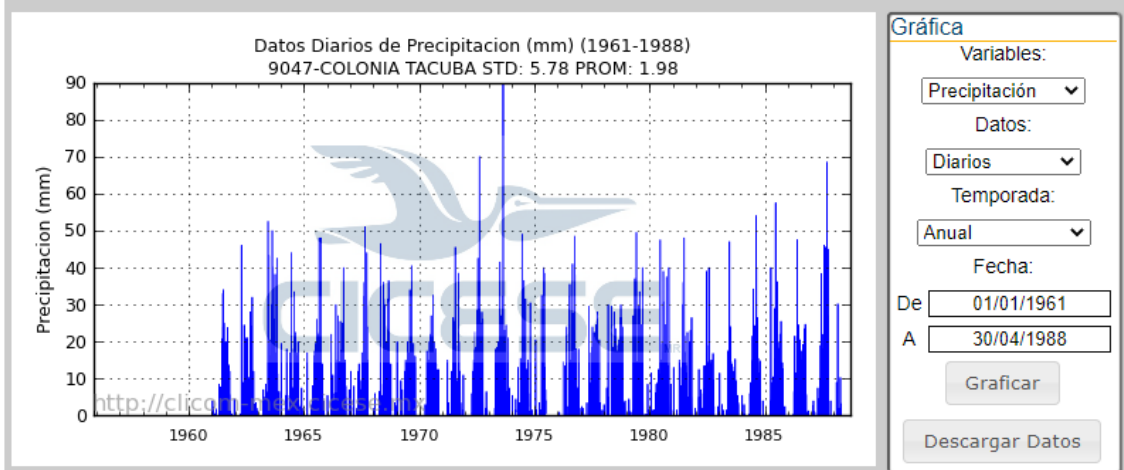


Figura 2.24. Registros diarios de la estación 9047 (1961-1988).

9048-TACUBAYA CENTRAL (OBS), DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.4, Elevación: 2308.6 m, Datos: Mar-1877 a Dic-2016

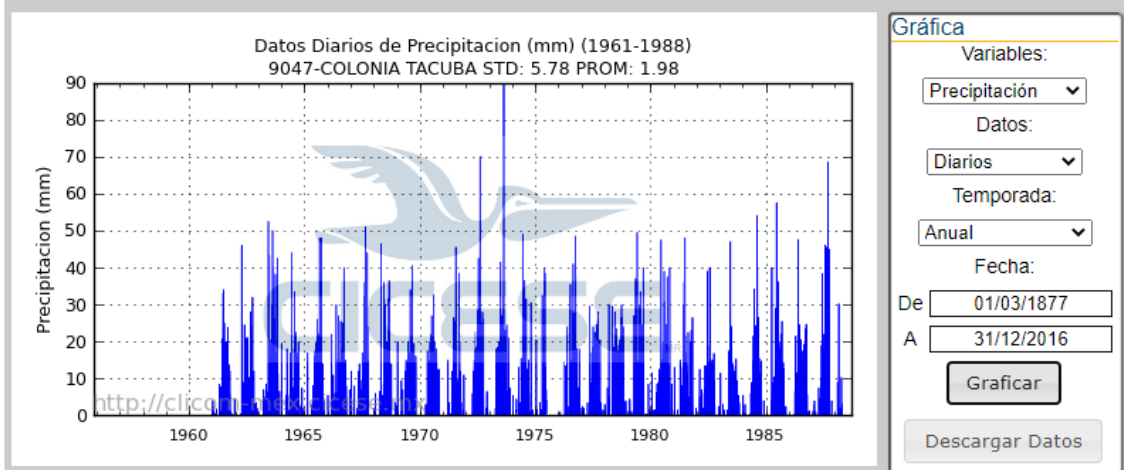


Figura 2.25. Registros diarios de la estación 9048 (1877-2016).

9050-LOMAS DE CHAPULTEPEC, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.4, Elevación: 2314.0 m, Datos: Jun-1955 a Oct-1975

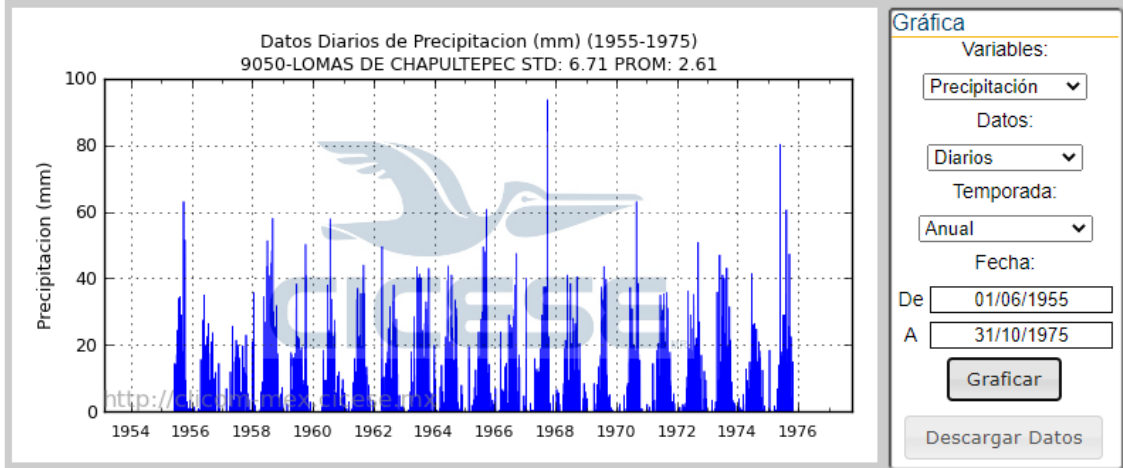


Figura 2.26. Registros diarios de la estación 9050 (1955-1975).

9054-GENERAL ANAYA, DF

Longitud: -99.2, Latitud: 19.4, Elevación: 2240.0 m, Datos: Ene-1952 a Oct-1988

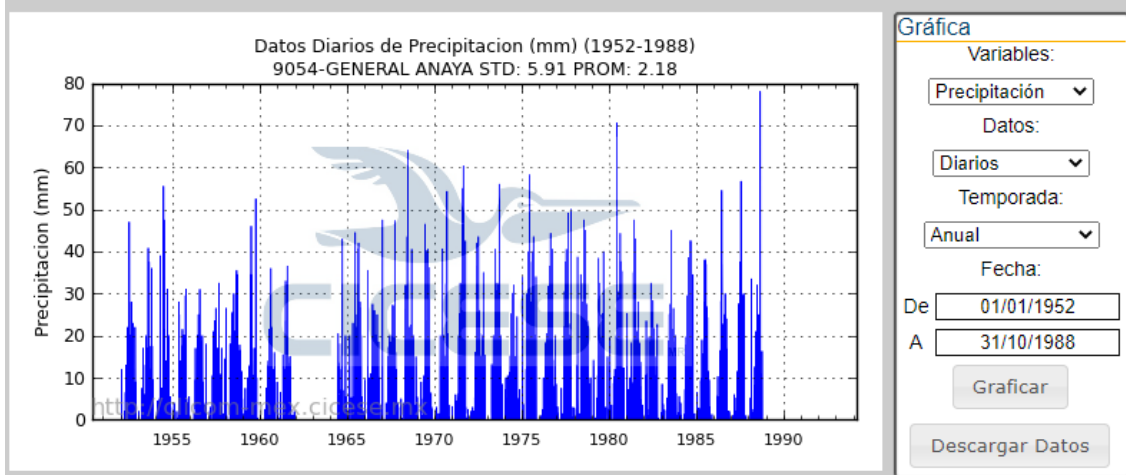


Figura 2.27. Registros diarios de la estación 9054 (1952-1988).

15058-MOLINITO, MEX

Longitud: -99.2, Latitud: 19.5, Elevación: 2289.0 m, Datos: Ene-1969 a Dic-2015

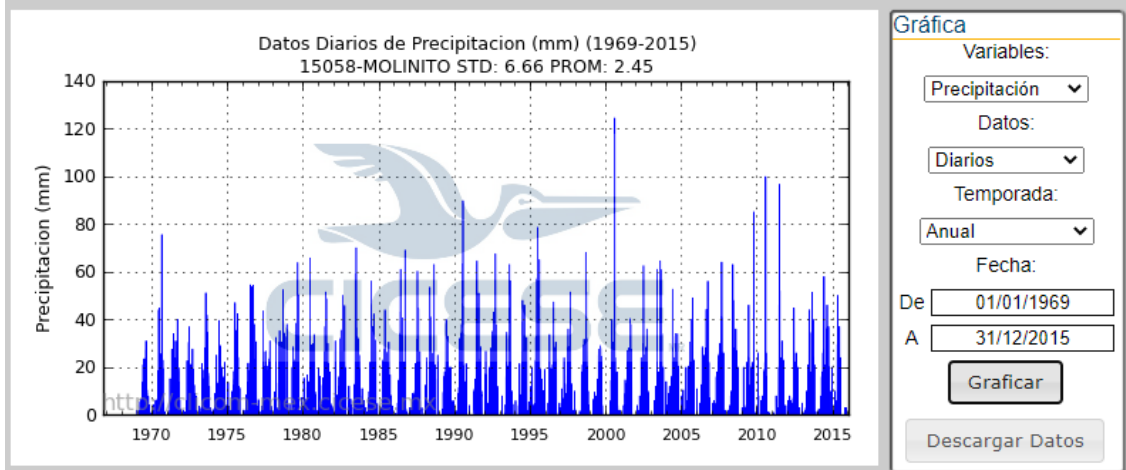


Figura 2.28. Registros diarios de la estación 15058 (1969-2015).

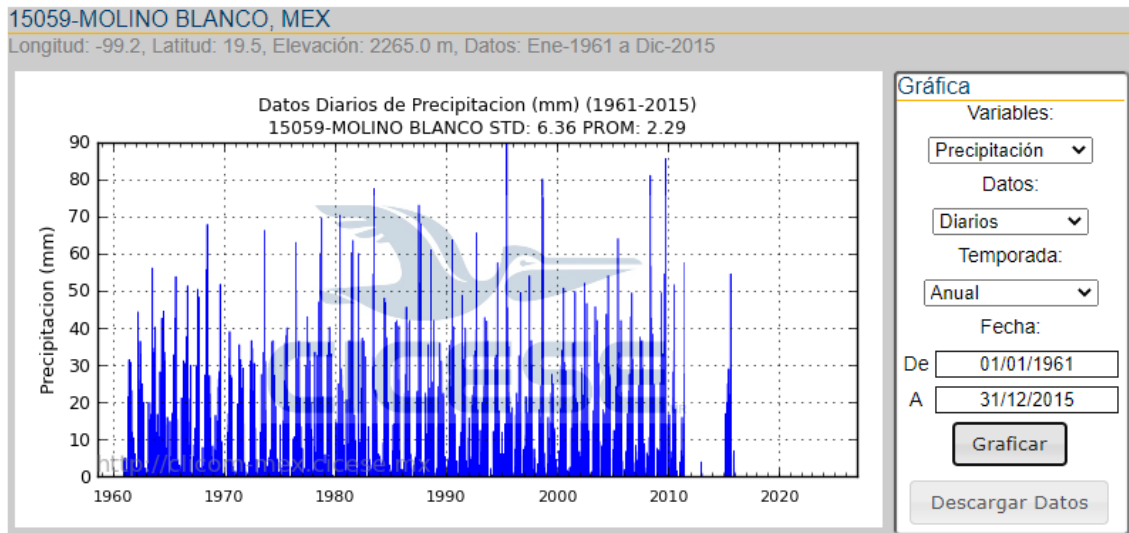


Figura 2.29. Registros diarios de la estación 15059 (1961-2015).

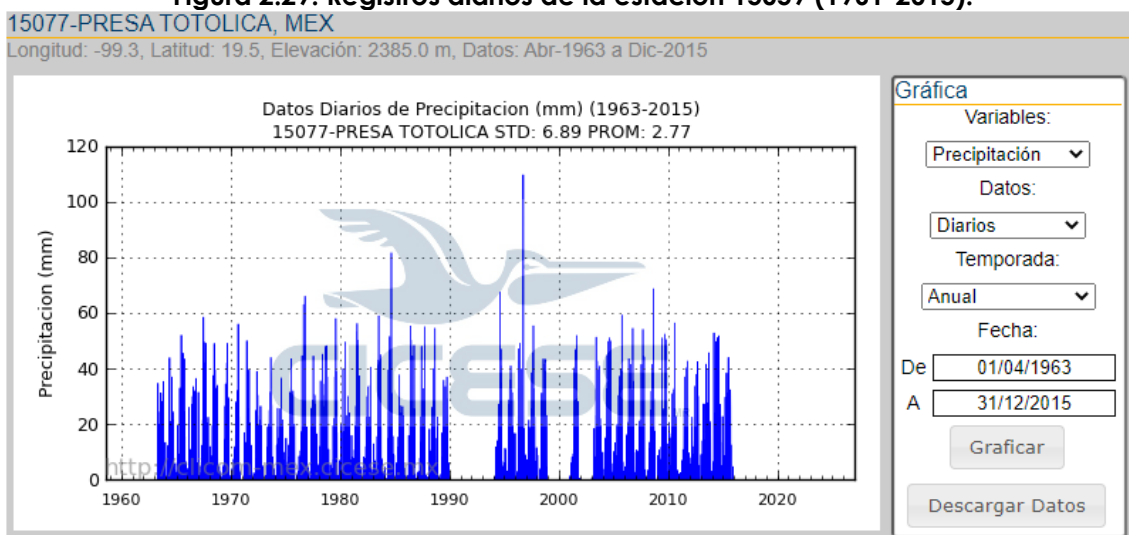


Figura 2.30. Registros diarios de la estación 15077 (1963-2015).

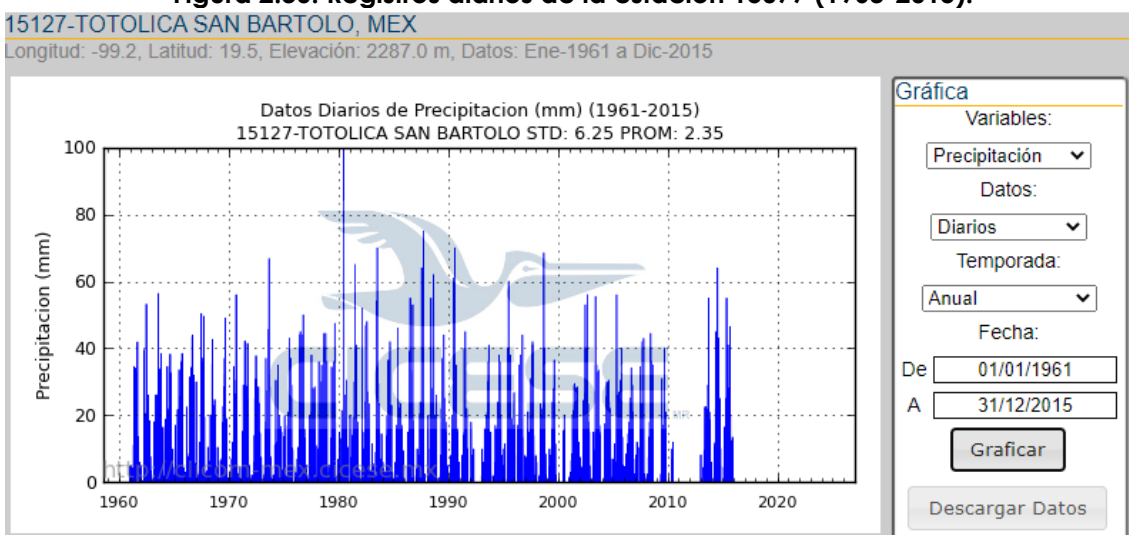


Figura 2.31. Registros diarios de la estación 15127 (1964-2015).

Se observa que todas las estaciones tienen por lo menos 20 años de registro. Para el estudio hidrológico se propone hacer un análisis regional de precipitaciones máximas anuales a partir de los registros diarios de las estaciones mencionadas y compararlo con el estudio regional realizado en el Instituto de Ingeniería en el año 2017.

3.5.1 Precipitación anual máxima

Para el cálculo de precipitaciones de diseño se debe trabajar con la precipitación anual máxima. Esta precipitación es la lluvia máxima acumulada en 24 horas en todo el año, es decir, es el máximo por año de las precipitaciones diarias mostradas en las figuras anteriores.

La tabla 2.1 muestra la precipitación máxima anual de las estaciones, así como, los estadísticos de la muestra para cada estación.

Tabla 2.1 Precipitaciones máximas anuales

NOMBRE/ESTACIÓN	AQUILES SERDAN 46	COLONIA AMERICA	COLONIA ESCANDON	RODANO 14 (CFE)	EGIPTO 7	PRESA ANSALDO	PRESA MIXCOAC	PRESA TACUBAYA	COLONIA TACUBA	TACUBAYA CENTRAL (OBS)	LOMAS DE CHAPULTEPEC	GENERAL ANAYA	MOLINITO	MOLINO BLANCO	PRESA TOTOLUCA	TOTOLUCA SAN BARTOLO
AÑO	9003	9010	9012	9015	9021	9037	9038	9039	9047	9048	9050	9054	15058	15059	15077	15127
1877										26.2						
1878										62.0						
1879										32.7						
1880										38.5						
1881										37.0						
1882										40.0						
1883										31.0						
1884										27.2						
1885										42.8						
1886										28.7						
1887										52.4						
1888										63.5						
1889										28.9						
1890										35.5						
1891										40.0						
1892										25.7						
1893										29.4						
1894										41.6						
1895										32.0						
1896										30.0						
1897										48.7						
1898										31.5						
1899										27.0						
1900										32.0						
1901										32.3						
1902										42.2						
1903										34.7						
1904										55.5						
1905										57.7						
1906										35.6						
1907										31.0						
1908										52.9						
1909										24.2						
1910										23.2						
1911										49.2						
1912										36.5						
1913										28.2						
1914										37.3						
1915										71.7						
1916										26.7						
1917										39.7						
1918										38.7						
1919										44.8						
1920										28.4						
1921										36.4						
1922										43.9						
1923										28.5						
1924										58.6						
1925										53.2						
1926										46.2						
1927										57.8						
1928										68.8						
1929										42.2						
1930										40.5						
1931										39.7						
1932										41.5						
1933	58.5									48.6						
1934	20.0									50.4						
1935	45.0									29.5						
1936	27.0									37.2						
1937	23.0									37.1						
1938	18.0									50.8						
1939	30.0									37.7						
1940	18.0									38.1						
1941	22.0									58.2						
1942	18.0									59.9						
1943	20.0									33.9						
1944	19.0									32.4						
1945	18.5									37.7						
1946										35.2						
1947	15.0									61.2						
1948	16.5									41.0						
1949										26.7						
1950										80.6						
1951			46.5							46.3						
1952			51.5							41.1		47.0				
1953			35.3							34.3		40.8				
1954			32.5	36.8		43.0	36.0	33.0		41.1		55.5				
1955			64.0	36.5		31.0	46.0	42.0		66.4		31.0				
1956	56.0		37.5	39.6		30.5	33.0	33.0		30.4	35.0	31.0				
1957	34.6		30.2	22.5		32.5	37.5	33.0		27.9	25.7	32.5				
1958	39.6		36.0			57.0	53.0	40.0		39.5	58.0	35.5				
1959	49.5		52.5		50.2	39.5	55.0	45.0		36.2	50.2	52.5				
1960	70.6		46.5	44.7	55.0	52.5	38.7	39.0		47.8	57.8	36.0				
1961	44.2		47.2	31.3	35.0	34.2	22.0	37.0	34.0	40.9	44.0	36.5		31.5		41.9

1962	49.6		52.5	42.5	45.0	48.2	40.0	44.5	46.0	53.5	49.5			44.3		53.2
1963	47.8		40.0	37.4	49.8	43.9	37.8	43.0	52.5	45.7	43.5			56.1		56.4
1964	28.6		33.7	40.0	47.0	39.2	38.0	49.0	44.0	67.0	43.7			44.5	43.9	38.3
1965	36.6		36.8	35.0	32.8	39.5	43.0	50.0	48.0	45.6	60.7	44.5		53.8	52.0	38.5
1966	44.3		34.3	29.9	52.1	53.6	41.2	34.5	40.0	40.1	47.5	35.5		51.3	36.5	44.0
1967	48.0		68.2	72.5	54.1	50.5	48.0	64.0	51.0	79.0	93.5	47.5		50.4	58.5	50.4
1968	42.4		90.5	65.4	43.5	65.6	52.5	54.5	46.5	77.0	41.0	64.0		67.8	49.0	42.7
1969	59.5		51.0	39.8		54.9		68.5	40.5	43.9	43.6	46.5	31.0	51.7		49.0
1970	26.3	28.1	39.0	31.8	38.5	37.0	52.0	28.6	32.5	39.3	63.0	54.3	75.5		56.0	56.0
1971	41.2	68.8	74.0		56.4	43.8	49.5	69.0	45.5	65.0	35.6	60.3	40.0	35.5	50.0	42.2
1972	40.8	46.0	52.0	37.1	46.5	45.0	45.9	50.0	70.0	53.4	50.8	43.5	36.9	36.6	39.0	37.8
1973	67.4	56.5	46.2	54.4	70.6	71.8	81.5	40.2	89.5	58.3	47.0	56.0	51.1	66.2	44.0	66.8
1974	38.8	38.5	42.5	41.2	50.6	55.4	39.2	45.2	49.0	46.3	41.5	32.0	39.6		36.6	35.0
1975	42.4	65.6	38.0	41.2	46.5	48.0	50.7	40.5		57.1	80.2	58.2	47.0	40.0	43.5	43.0
1976	44.2	79.5		57.5	46.3	42.4	50.0	79.2		64.2		44.3	54.5	63.0	66.0	50.0
1977	48.2	61.4	46.5	36.8	33.3	44.5	40.8	44.3	29.5	58.4			43.5	43.0	44.5	
1978	51.8	52.7	39.0		45.6	77.2	49.0		30.0	38.1		47.5	52.4		48.2	44.5
1979	61.2	40.0	37.8		57.9	32.5	37.0	30.9	49.5	48.4		40.0	63.8		58.0	47.5
1980	61.8	57.5	49.0		46.8	47.8	70.8	43.0	47.5	62.6		70.5	65.7	70.3	49.5	100.0
1981	51.2	32.7	40.0		39.2	44.5	51.0	42.5	48.0	33.7		47.5	51.5	63.5	56.2	65.0
1982	48.4	50.6	41.3		57.0		34.2	27.2	40.0	41.5		32.5	50.0	60.0	40.5	52.0
1983	27.8	51.4	63.0		51.9			38.8	47.0	55.3		45.0	70.0	77.4	59.0	70.0
1984	46.4	84.5			47.8	64.0	80.5	73.4	54.0	77.0		42.5	56.0	48.0	81.6	42.0
1985	41.3	40.8	39.0		42.3	55.8	49.0	46.5	57.5	60.8		38.0	44.0	42.0		46.0
1986		34.6			35.3	58.0	46.8	42.6	47.5	37.7		54.5	69.0	45.6	55.2	55.0
1987	60.5	42.6	40.0		85.5	45.0	60.0	34.0	68.5	53.9		56.7		73.0	55.0	75.0
1988	36.8	53.7				69.0	69.0	34.0		37.8		78.0	63.0	61.0		62.0
1989										41.6			40.0	36.0		44.0
1990										40.7				63.7		70.0
1991			25.0							60.1				48.8		
1992			35.5							63.0				65.5		
1993			67.0							46.5						
1994			41.0							46.0				57.5		38.0
1995			53.5							52.9				89.5		60.0
1996		45.0	46.0							40.1				49.5	109.6	44.0
1997		44.7								50.4				54.0		42.0
1998										59.8				80.0		68.5
1999										60.0		29.0	27.5			
2000										35.3		124.3	50.7			
2001	60.0									48.2		40.3	49.8	51.9		
2002	94.6									57.1		62.5				
2003	74.3									80.5		64.5	45.7	51.3		
2004	43.9									46.2		52.7	54.0	51.0		
2005	62.4											49.0	64.0	59.2		
2006										69.0			49.4	54.5	34.2	
2007	87.1									67.6		64.0	37.5	54.1	43.0	
2008	47.4									37.5		63.0	81.0	68.7		
2009										38.6		85.0	85.5	52.4	40.0	
2010	48.9									45.6		99.8	51.6	56.4		
2011	64.0									57.0		96.5		42.7		
2012	44.3									39.7		44.8		42.5		
2013	64.9									77.9		51.3		114.5	55.0	
2014										76.0						
2015										68.7						
2016										39.2						
2017										39.0						
2018										28.0						

Tabla 2.2 Estadísticos de la muestra para cada estación.

Estación	9003	9010	9012	9015	9021	9037	9038	9039
Media	39.50	55.22	46.29	42.29	48.66	48.40	47.84	44.70
Desv.Est	15.16	16.26	12.99	12.28	11.07	11.94	13.05	12.82
Coef.Var.	0.38	0.29	0.28	0.29	0.23	0.25	0.27	0.29
Máx	70.60	94.60	90.50	72.50	85.50	77.20	81.50	79.20
Mín	15.00	28.10	30.20	22.50	32.80	30.50	22.00	27.20
Máx/media	1.79	1.71	1.95	1.71	1.76	1.59	1.70	1.77
No. años	47.00	32.00	34.00	27.00	28.00	33.00	33.00	34.00

Estación	9047	9048	9050	9054	15058	15059	15077	15127
Media	48.32	45.62	50.59	46.59	57.98	54.95	55.19	51.13
Desv.Est	13.07	13.85	15.49	11.67	20.26	14.57	16.92	13.57
Coef.Var.	0.27	0.30	0.31	0.25	0.35	0.27	0.31	0.27
Máx	89.50	80.60	93.50	78.00	124.30	89.50	114.50	100.00
Mín	29.50	26.70	25.70	31.00	29.00	27.50	36.50	34.20
Máx/media	1.85	1.77	1.85	1.67	2.14	1.63	2.07	1.96
No años	25.00	141.00	20.00	33.00	34.00	44.00	35.00	38.00

3.5.2 Ajuste regional y extrapolación de los factores regionales

Para conocer la precipitación asociada a diferentes periodos de retorno es necesario ajustar una función de distribución de probabilidad. Debido a la poca información disponible, se hizo el ajuste regional a un solo registro homogeneizado estadísticamente que contempla en una sola muestra toda la información de cada muestra medida, esto aplicando la técnica de estimación regional Estaciones-Año (Dominguez,2017). Este ajuste regional se comparó con un ajuste individual de la estación 9048 (Estación central del SMN) ya que cuenta con un registro de 141 años, y con los ajustes obtenidos en el estudio de regionalización de precipitaciones realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM para el CENAPRED.

El ajuste con menor error estándar para la muestra individual fue el de la función Gamma de 2 parámetros, al tomar en cuenta un análisis regional se observa que el error estándar disminuye para la función Gumbel que es la que recomienda el estudio de regionalización del Instituto de Ingeniería de la UNAM para la región homogénea CDMX.

Resumen de errores estándar
Archivo analizado: 9048.AJU

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	2.803	-----	2.803	-----
Lognormal	2.114	2.012	2.501	3.139
Gumbel	2.317	-----	2.714	-----
Exponencial	4.159	-----	29.582	-----
Gamma	1.934	1.986	1.907	11111.000
Doble Gumbel	2.152			

Mínimo error estándar: 1.934

Calculado por la función: Gamma (momentos) 2 p.

Aceptar

Imprimir

Ayuda

Figura 2.32 Errores estándar de ajuste del ajuste de distintas funciones de probabilidad para la estación 9048.

Resumen de errores estándar Archivo analizado: CHAP.AJU				
Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	.062	-----	.062	-----
Lognormal	.023	.024	.024	1.031
Gumbel	.025	-----	.032	-----
Exponencial	.070	-----	.699	-----
Gamma	.031	.025	.032	11111.000
Doble Gumbel	.045			

Mínimo error estándar: .023

Calculado por la función: Lognormal (momentos) 2 p.

Figura 2.33 Errores estándar de ajuste del ajuste de distintas funciones de probabilidad para el análisis regional de precipitaciones en la zona de influencia de la cuenca Dolores.

Se ajustaron las funciones Gumbel como lo recomienda el estudio de regionalización del Instituto de Ingeniería y se compararon las precipitaciones de diseño obtenidas para una hpm de la cuenca de 48.31 obtenida con el método de Isoyetas.

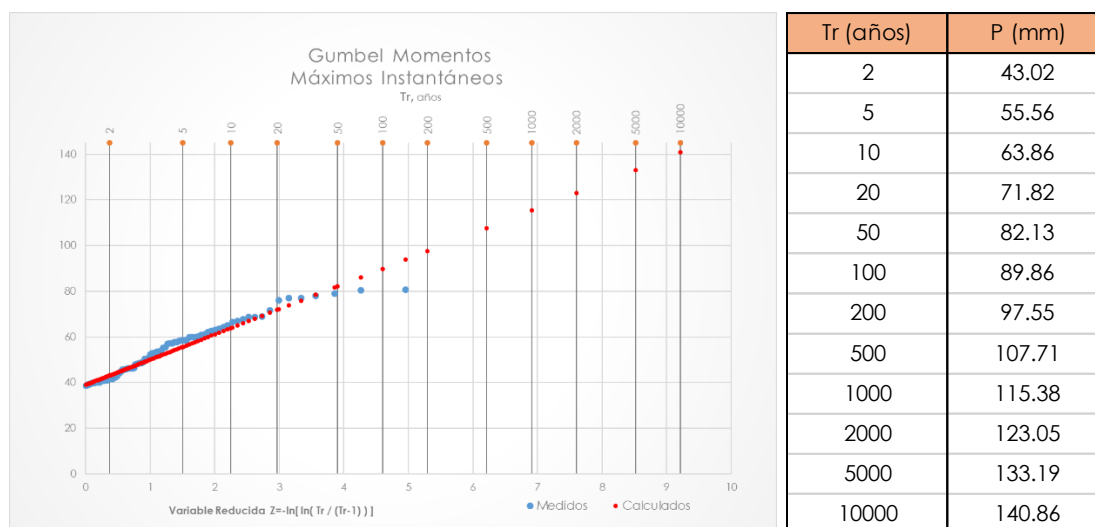


Figura 2.34 Ajuste de la función Gumbel y precipitaciones de diseño asociadas a diferentes Tr para el análisis individual de la estación 9048.

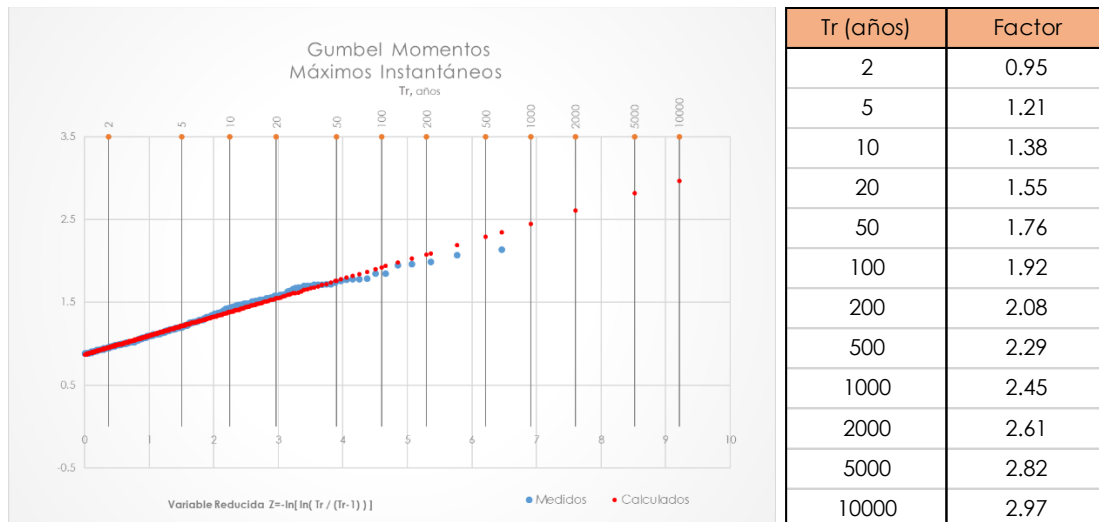


Figura 2.35 Ajuste de la función Gumbel y factores regionales asociados a diferentes Tr para el análisis regional de la zona de influencia de Dolores.

Por último, se presenta el ajuste regional Gumbel de la región CDMX propuesta por el Instituto de Ingeniería con sus respectivos factores regionales y la comparación de las lluvias de diseño estimadas tomando en cuenta los tres ajustes en la tabla 2.3.

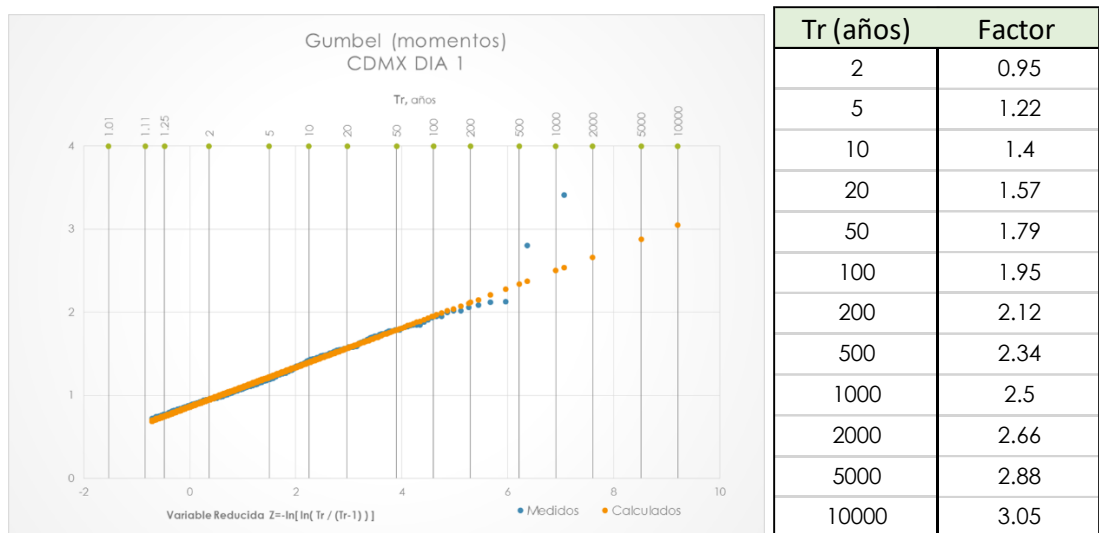


Figura 2.36 Ajuste de la función Gumbel y factores regionales asociados a diferentes Tr para el análisis regional de la región CDMX propuesta por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Tabla 2.3 Comparación de las precipitaciones de diseño tomando en cuenta los tres ajustes analizados.

Factores regionales			Precipitación de diseño:		
CENAPRED			Regional Dolores		
Tr	Factor	Factor	Individual (9048)	Regional Dolores	CENAPRED
2	0.95	0.95	43.02	45.89	45.89
5	1.22	1.21	55.56	58.45	58.94
10	1.4	1.38	63.86	66.66	67.63
20	1.57	1.55	71.82	74.88	75.84
50	1.79	1.76	82.13	85.02	86.47
100	1.95	1.92	89.86	92.75	94.20
200	2.12	2.08	97.55	100.48	102.41
500	2.34	2.29	107.71	110.63	113.04
1000	2.5	2.45	115.38	118.35	120.77
2000	2.66	2.61	123.05	126.08	128.50
5000	2.88	2.82	133.19	136.23	139.13
10000	3.05	2.97	140.86	143.47	147.34

Se puso especial cuidado en el análisis de la estación 9048 (Tacubaya Central) ya que, aunque cuenta con datos desde 1877 su ubicación ha cambiado a lo largo de la historia del Sistema Meteorológico Nacional, el cual se creó en 1877 y su observatorio hidrológico se instaló en la azotea del Castillo de Chapultepec, por el año de 1880, el observatorio se trasladó a Palacio Nacional y por último se colocó en el edificio del Ex-Arzobispado en Tacubaya entre los años 1910 y 1911. Por lo anterior no se puede tomar en cuenta el análisis individual de la estación ya que los datos fueron registrados en diferentes ubicaciones.

Para tomar en cuenta los registros disponibles, las técnicas de regionalización ayudan a homogeneizar la muestra estadísticamente para ajustar una función de distribución de probabilidad a un solo registro de longitud igual a la suma de cada muestra por separado. Al estar situadas las tres ubicaciones de la estación 9048 dentro del radio de influencia de 10 km propuestos se espera que con la técnica de estimación regional se corrija el error asociado al traslado de la misma a lo largo de su historia. Al comparar los factores regionales con los obtenidos por el Instituto de Ingeniería para el CENAPRED se observó que son muy parecidos para periodos de retorno de hasta 200 años. Los factores regionales del estudio del CENAPRED son un poco más altos para periodos de retorno de 500 a 10000 pero la diferencia no es significativa. También se hizo un análisis y depuración de las precipitaciones máximas anuales, las estaciones donde las medias salen un poco de rango como la 9003 y 9010 se compararon con las obtenidas para la misma estación en el estudio regional de CENAPRED donde los registros atípicos fueron revisados y confirmados por la GASIR.

Tomando en cuenta todo lo anterior se propone utilizar la regionalización, los factores regionales y las precipitaciones de diseño asociadas al estudio regional de la Cuenca Dolores (figura 2.35 y tabla 2.3) para obtener los hietogramas de diseño de la cuenca.

4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO PARA TERCERA SECCIÓN DE CHAPULTEPEC

Los estudios hidrológicos nos permiten conocer mediante el análisis de lluvias y gastos medidos el agua que va a escurrir por una zona de interés y con la modelación de los escurrimientos determinar niveles y las áreas de inundación, así como también dimensionar obras de aprovechamiento, distribución y protección.

El presente estudio hidrológico de la tercera sección de Chapultepec tiene como objetivo calcular las cuencas de aportación al vaso de regulación de la presa Dolores, obtener las lluvias y escurrimientos asociados a distintos periodos de retorno y con ello diagnosticar, evaluar y definir las cotas de inundación alcanzadas para diferentes periodos de retorno.

A partir de los resultados obtenidos en el análisis hidrológico se realizará el análisis hidráulico tanto del vaso de Dolores como de los afluentes de la cuenca para tomar decisiones de construcción de obras que ayuden a un manejo integral de la cuenca, mejorando la función principal de la presa Dolores que es regular las avenidas en época de lluvias.

4.1 CARACTERÍSTICAS FISIGRÁFICAS DE LA CUENCA DE APORTACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO

Utilizando el Modelo Digital de Elevación LIDAR a 5m de la zona de estudio, (figura 3.1), se realizó el análisis de terreno en un Sistema de Información Geográfica (SIG), con el cual se obtuvieron las curvas de nivel, la red de drenaje, y la cuenca de la presa dolores, así como, las características fisiográficas más importantes, como el área de las cuencas, longitud y pendiente de los cauces principales.

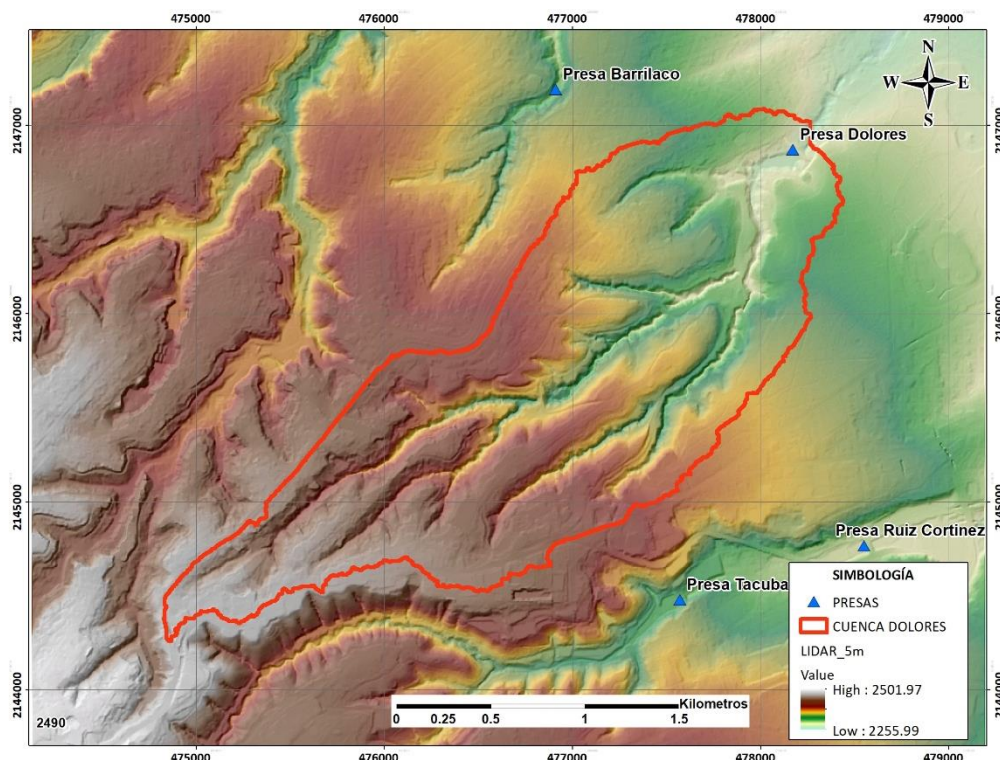


Figura 3.1 Cuenca de aportación a la presa Dolores, obtenida del LIDAR de 5m

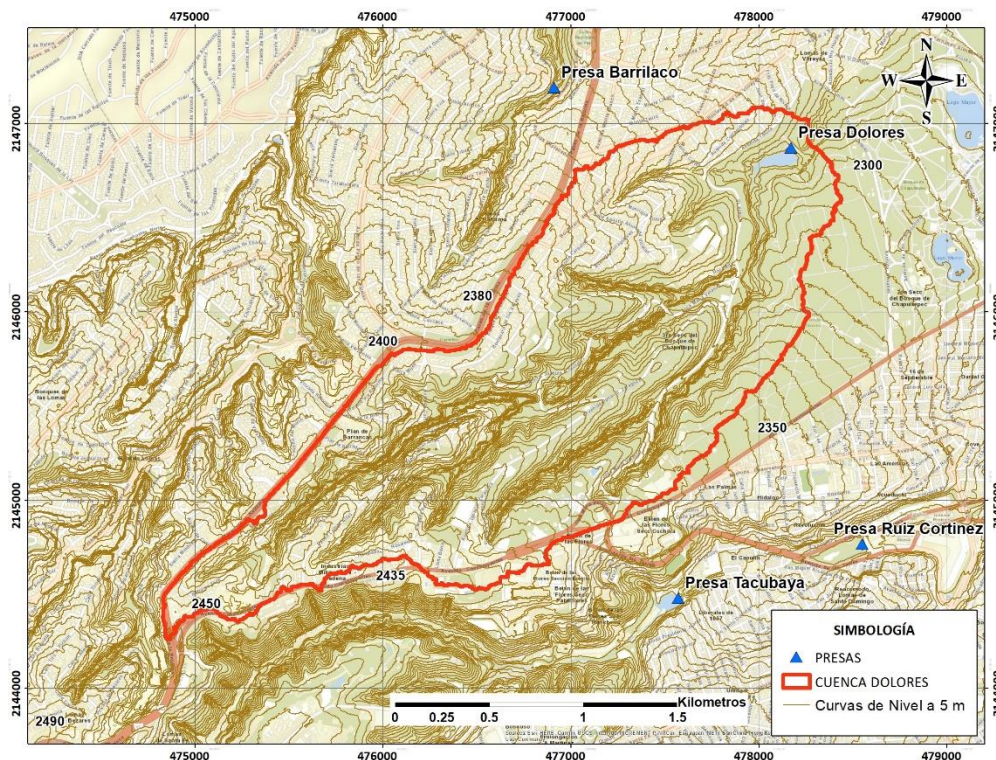


Figura 3.2 Curvas de Nivel de la zona de estudio, obtenidas del LIDAR de 5m

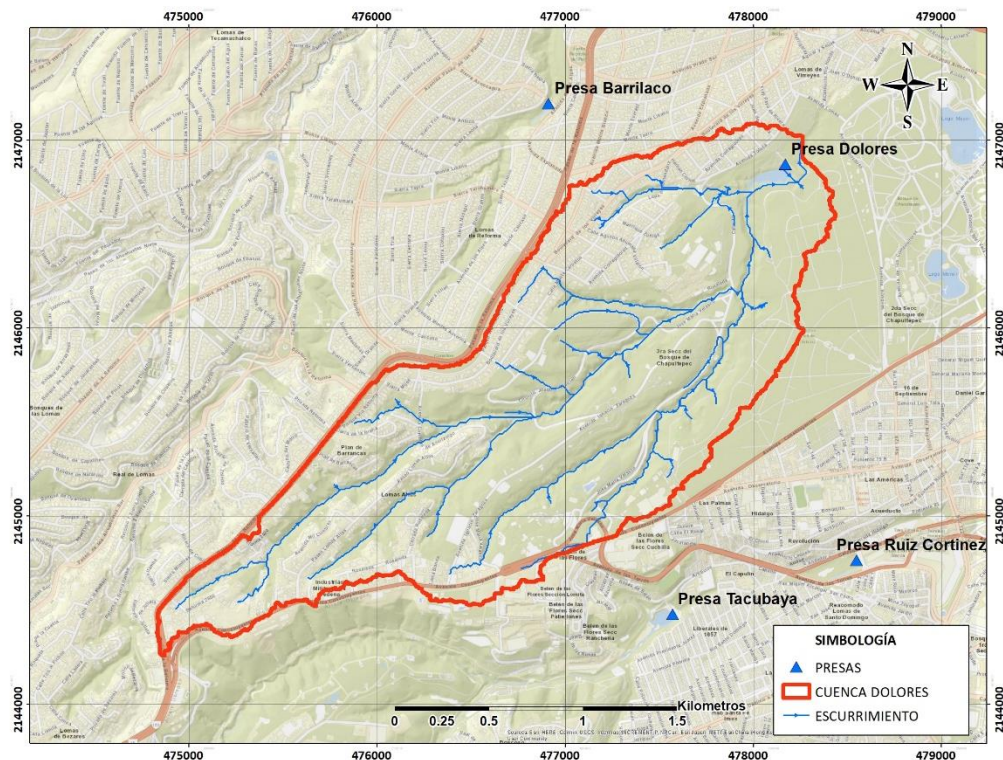


Figura 3.3 Flujo de aportación a la zona de estudio

Las características fisiográficas de las Cuencas se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.1 Características fisiográficas de las Cuencas

Cuenca	Área	Cauce Principal	
	km ²	Longitud, km	Pendiente
DOLORES	4.294	5.382	0.035

4.2 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

El coeficiente de escurrimiento de la zona se obtuvo con base en el método del Instituto de Ingeniería, el cual engloba componentes tanto del área urbana como de la no urbana, la fórmula que se utilizó para el cálculo de esta es la que se muestra a continuación:

$$C_{ep} = 0.45 \frac{A_u}{A_T} I_u + C_{nu} \frac{A_{nu}}{A_T} \quad 3.1$$

Donde:

- C_{ep} = Coeficiente de escurrimiento ponderado
- A_u = Área urbana de la cuenca, km²
- A_T = Área total de la cuenca, km²
- A_{nu} = Área no urbana de la cuenca, km²
- I_u = Índice de urbanización
- C_{nu} = Coeficiente de escurrimiento no urbano

Para el empleo de la fórmula anterior fue necesario obtener los índices de urbanización y coeficiente de escurrimiento no urbano de acuerdo con las características de la cuenca.

Índice de urbanización

El índice de urbanización es un parámetro que determina la densidad del área urbana de una cuenca; es decir, en ocasiones los desarrollos urbanos tienen cierta dispersión o cuentan con una gran cantidad de áreas verdes. Conforme estos parámetros aumentan, el índice de urbanización disminuye; por el contrario, cuando la mancha urbana es muy concentrada y las áreas destinadas a jardines son muy escasas, su valor es más alto. El rango en el que se puede encontrar este valor es de 0.6 a 1, figura 3.4.

El procedimiento con el cual se obtuvo el índice de urbanización se expone a continuación:

- Una vez determinada el parteaguas de la cuenca, se colocó sobre fotografías aéreas de la zona, de manera que se pudiera observar la urbanización existente y las áreas que no cuentan con ella.
- Una vez identificadas las áreas urbanas sobre la fotografía aérea, se observó su concentración y se asignó el valor correspondiente al índice de urbanización dentro del rango antes mencionado.

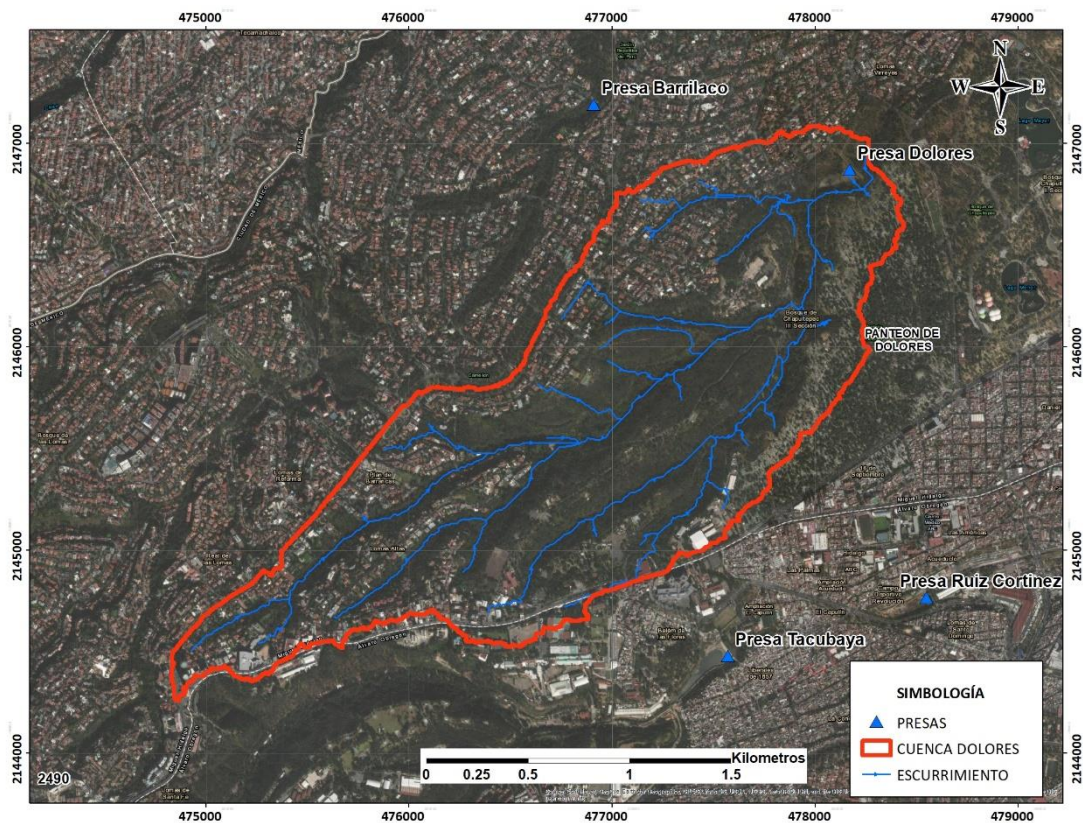


Figura 3.4 Imagen satelital de la zona del estudio donde se puede apreciar el índice de urbanización.

Determinación del coeficiente de escurrimiento no urbano

Otro de los parámetros importantes para el cálculo del coeficiente de escurrimiento es el coeficiente de escurrimiento no urbano que depende del tipo y uso del suelo. Los valores de CNU puede observarse en la Figura 3.5.

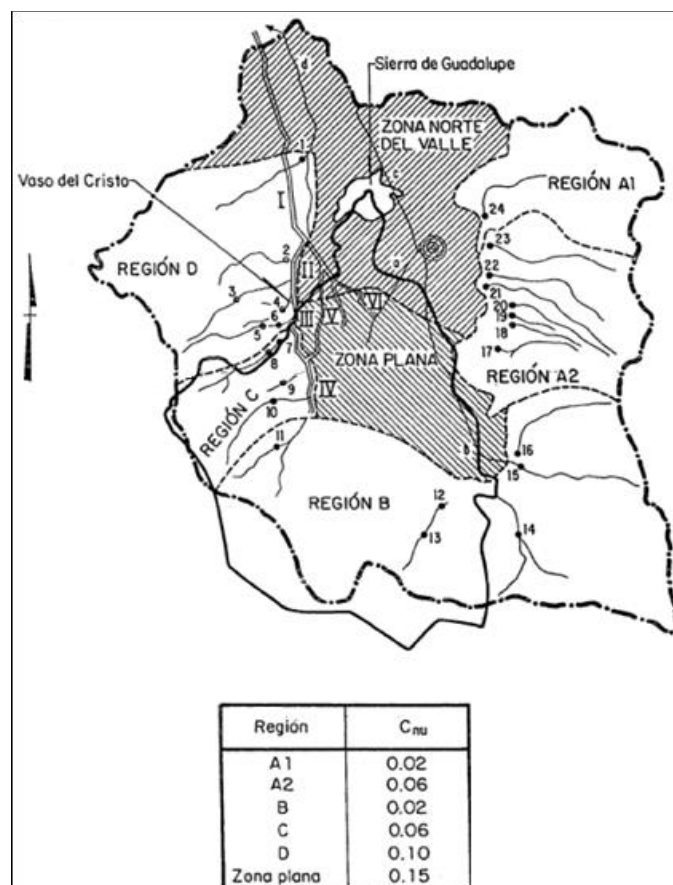


Figura 3.5. Regionalización del coeficiente de escurrimiento no urbano.

Una vez conocidos los valores, tanto del índice de urbanización como del coeficiente de escurrimiento no urbano, se aplicó la ecuación 3.1, ver tabla 3.2.

Tabla 3.2 Coeficiente de escurrimiento ponderado para cada cuenca

Cuenc a	Área (m ²)			Índice de Urbanizaci ón	Coeficientes de Escurrimiento		
	Urbana	No Urbana	Total		Urban o	No Urbano	Ponderad o
DOLOR ES	1,833,28 2	2,460,81 8	4,294,10 0	0.85	0.38	0.15	0.25

El coeficiente de escurrimiento servirá de referencia para calibrar el modelo lluvia-escurrimiento, en el capítulo **AVENIDAS DE DISEÑO**.

4.3 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo de concentración T_c se define como el tiempo que le toma a la precipitación excedente alcanzar la salida de la cuenca desde su punto hidráulicamente más remoto. Esta es una medida de retraso puro, sin tomar en cuenta el efecto de almacenamiento. En la literatura existen varias ecuaciones

para el cálculo del tiempo de concentración, para este estudio se utilizó la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0.000325 \times \left(\frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \right) \quad 3.2$$

Donde:

T_c , tiempo de concentración, hrs

L , longitud del cauce principal, m

S , pendiente del cauce principal

Tabla 3.3. Tiempo de Concentración de las cuencas de aportación.

Cuenca	Area	Cauce Principal		Tc	Tc
	km ²	Longitud, km	Pendiente	hr	min
DOLORES	4.294	5.382	0.035	1.00	60

El tiempo de la cuenca es de aproximadamente 60 minutos. El tiempo de concentración, servirá de referencia para calibrar el modelo lluvia-escurrimiento, en el capítulo **AVENIDAS DE DISEÑO**.

4.4 PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA CUENCA

A partir de la información climatológica disponible, presentada en el capítulo 2.5 se calculó la precipitación media de la cuenca utilizando los métodos de Isoyetas, Thiessen y el método aritmético.

Se trazaron los polígonos de Thiessen con el fin de obtener las áreas de influencia de cada estación y con ello la Hpm de la cuenca.

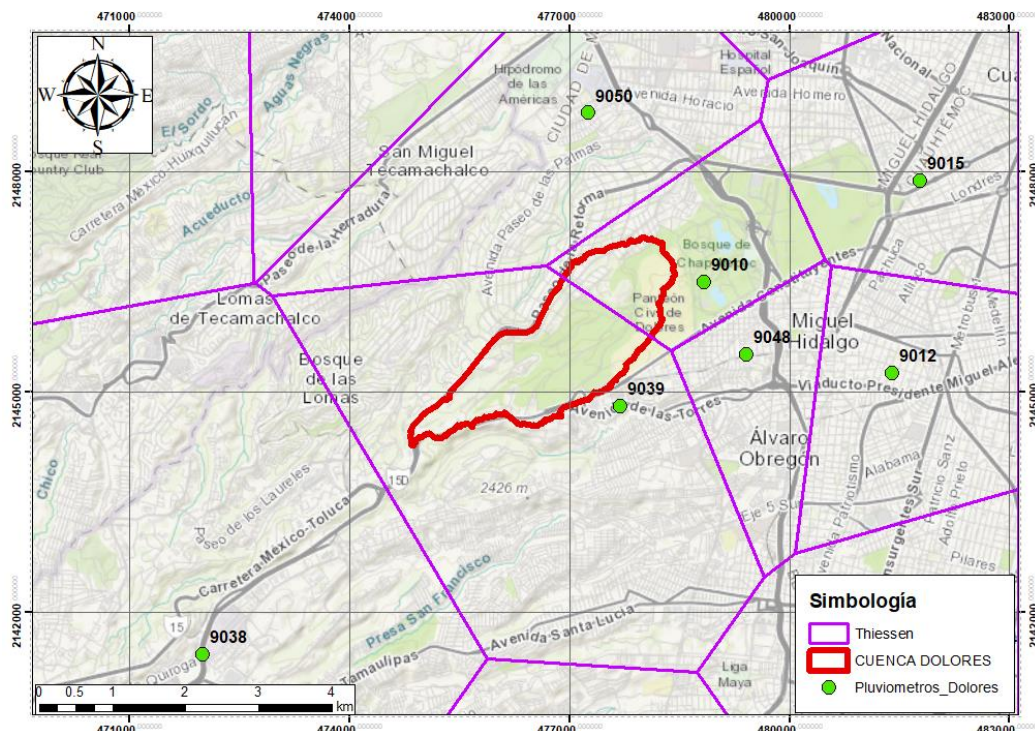


Figura 3.6 Polígonos de Thiessen en la cuenca de Dolores.

Conociendo los estadísticos de la tabla 2.2 se interpolaron espacialmente el promedio de las precipitaciones máximas anuales de las estaciones de influencia con el fin de conocer las isoyetas de precipitación como se muestra en la figura 3.7.

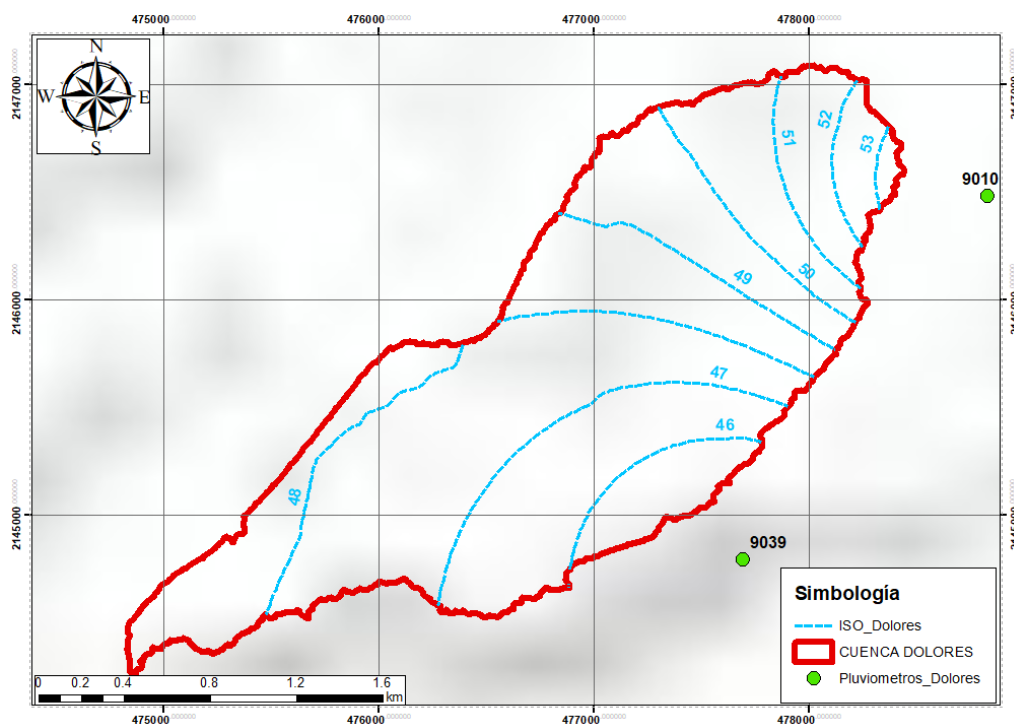


Figura 3.7 Isoyetas del promedio de las precipitaciones máximas anuales.

La tabla 3.4 muestra los resultados obtenidos de Hpm de la cuenca Dolores.

Tabla 3.4 Hpm de la cuenca Dolores.

Hpm (Dolores)	
Thiessen	47.54
Isoyetas	48.31
Aritmético	48.95

4.5 TORMENTAS DE DISEÑO

Debido a la falta de información hidrométrica disponible, se propone realizar un análisis de precipitaciones con enfoque regional, para a partir de estas lluvias, estimar el volumen de escurrimiento superficial

En el año 2017, el Instituto de Ingeniería realizó un estudio para el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) donde se propone un análisis regional de lluvias en la república mexicana para delimitar regiones homogéneas (Figura 3.8), y donde a partir del ajuste regional de una función de distribución de probabilidades (Figura 3.9) se puedan extrapolar los factores regionales que permiten estimar la precipitación de diseño de 24 horas para cualquier periodo de retorno en la región homogénea CDMX propuesta (Figura 3.10). Para la obtención del ajuste regional y los factores regionales de la región homogénea CDMX se analizó la información pluviométrica de **34** estaciones que cuentan con registros desde el año 1921 hasta el 2015.

En el mismo estudio se generaron mapas que permiten estimar la media de las precipitaciones máximas anuales en cualquier punto de la república. La figura 3.11 compara el mapa de isoyetas que interpola la información climatológica de las 66 regiones homogéneas con la obtenida para el caso específico de la cuenca de Dolores.

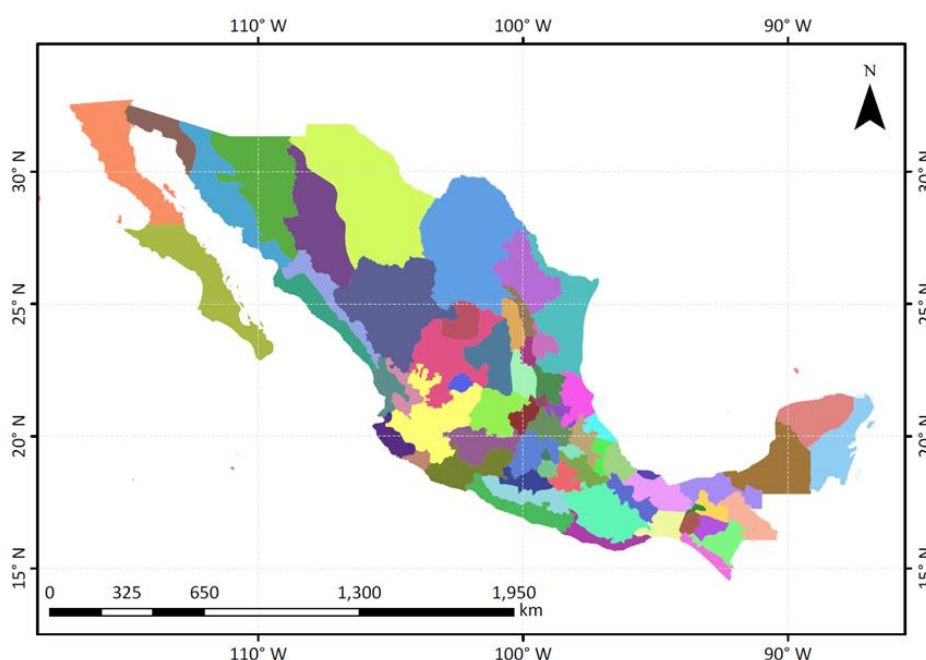


Figura 3.8 Delimitación de las 66 regiones homogéneas en la república mexicana. (Domínguez et al, 2017)

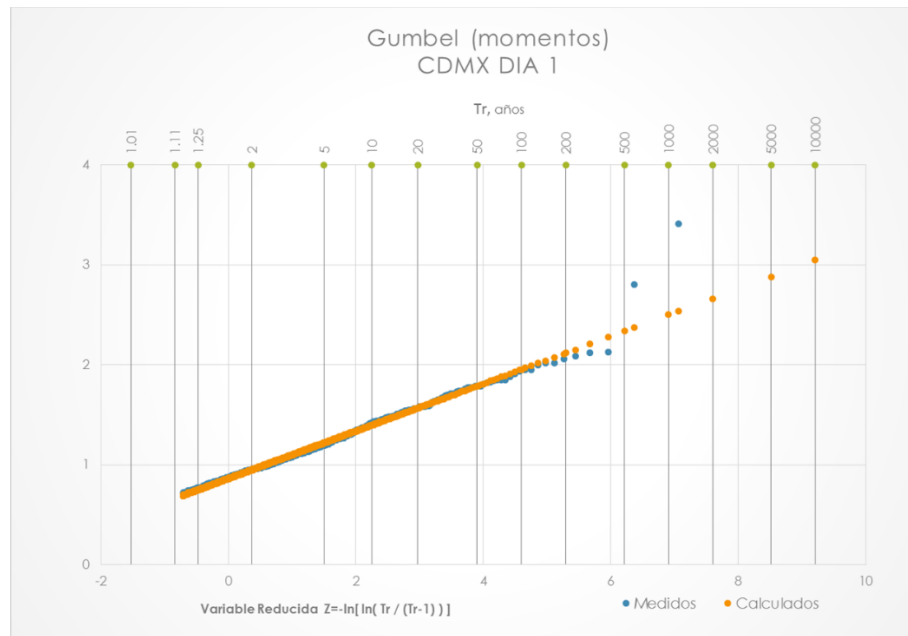
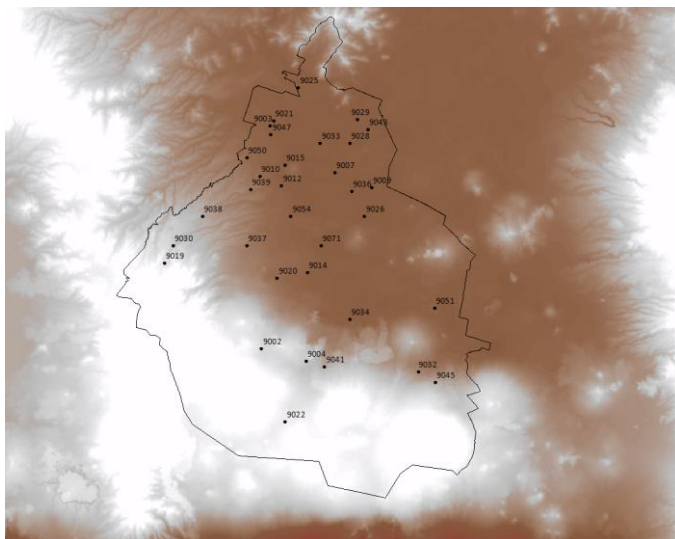


Figura 3.9. Ajuste de la función Gumbel y factores regionales asociados a diferentes Tr para el análisis regional de la región CDMX propuesta por el Instituto de Ingeniería en el estudio del CENAPRED.



Tr (años)	Factor
2	0.95
5	1.22
10	1.4
20	1.57
50	1.79
100	1.95
200	2.12
500	2.34
1000	2.5
2000	2.66
5000	2.88
10000	3.05

Figura 3.10 Región homogénea CDMX y factores regionales para diferentes periodos de retorno. (Domínguez et al, 2017)

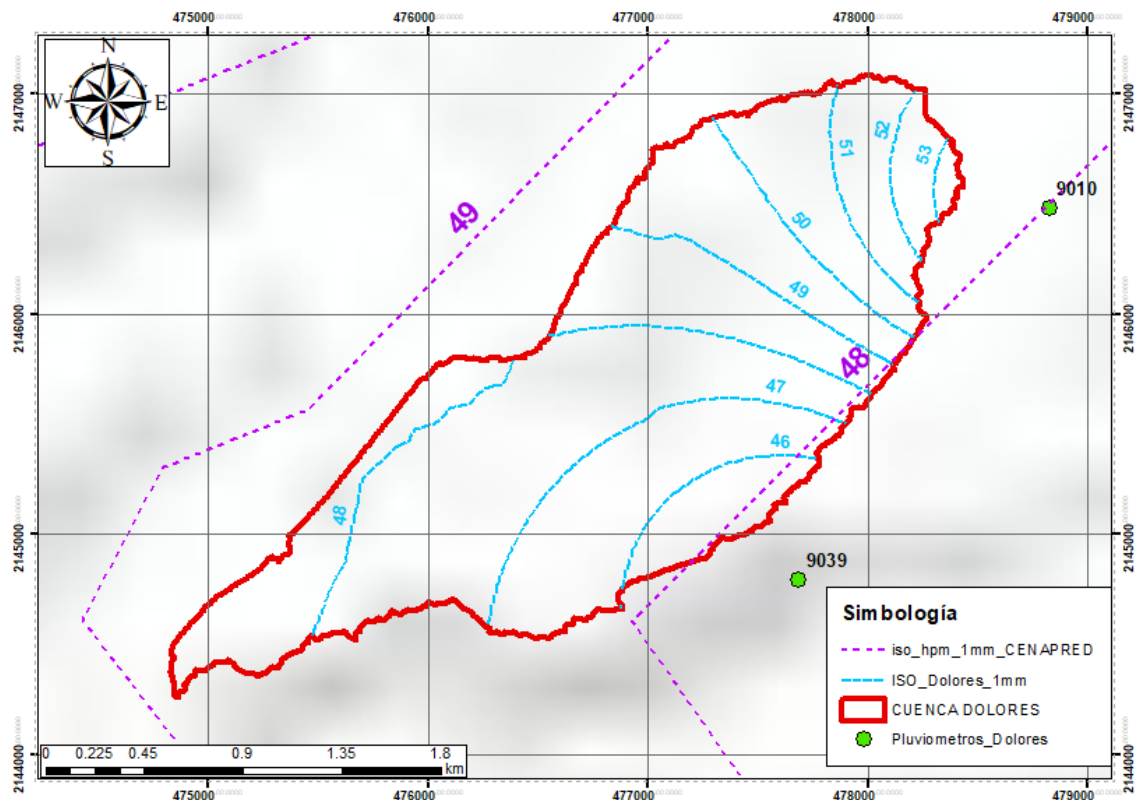


Figura 3.11 Comparación de los mapas de isoyetas de la media de precipitaciones máximas anuales para la cuenca de Dolores. (Domínguez et al, 2017)

Debido a que la distribución de lluvia no es uniforme durante 24 horas seguidas, se consideraron los factores de convectividad (Baeza, 2007) que relacionan la lluvia de 24 horas con la de una hora, así como, los factores de Chen que en función del factor de convectividad relaciona la lluvia de una hora con duraciones menores. La ciudad de México se caracteriza por tener lluvias convectivas, intensidades altas, en otras palabras, llueve mucho en poco tiempo. La figura 3.12 muestra que para la ciudad de México este factor de convectividad es de 0.65, esto significa que el 65% de la lluvia acumulada en 24 horas se precipita en una hora. La tabla 3.5 muestra los factores de Chen asociados a un factor de convectividad R de 0.65.

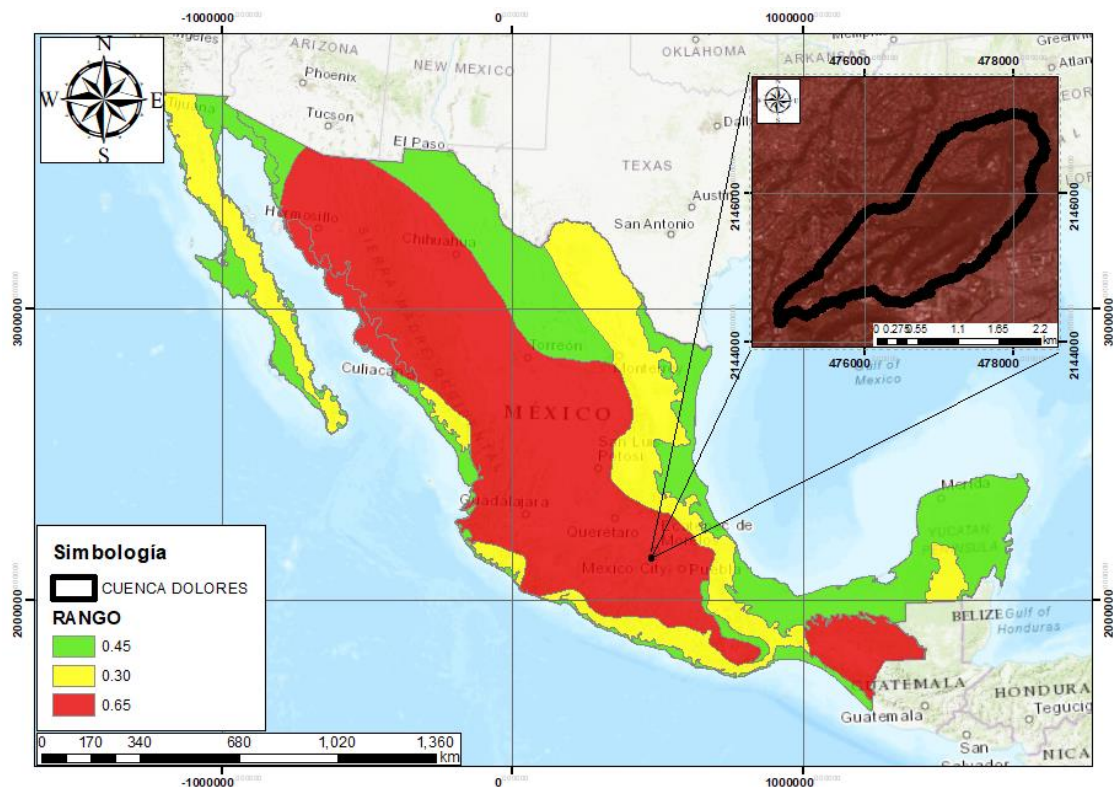


Figura 3.12 Mapa de factores de conectividad para la República Mexicana. (Baeza, 2007)

Tabla 3.5 Relación $K = (P_d^t) / (P_1^t)$ en función de $R=0.65$ y la duración d .

d [min]	d [hrs]	Ken función de d y el factor de conectividad R=0.65	d [min]	d [hrs]	Ken función de d y el factor de conectividad R=0.65	d [min]	d [hrs]	Ken función de d y el factor de conectividad R=0.65	d [min]	d [hrs]	Ken función de d y el factor de conectividad R=0.65
10	0.17	0.487	360	6	1.339	720	12	1.441	1080	18	1.499
15	0.25	0.608	390	6.5	1.351	750	12.5	1.447	1110	18.5	1.502
30	0.5	0.816	420	7	1.362	780	13	1.452	1140	19	1.506
60	1	1	450	7.5	1.373	810	13.5	1.458	1170	19.5	1.51
120	2	1.151	480	8	1.382	840	14	1.463	1200	20	1.513
150	2.5	1.193	510	8.5	1.391	870	14.5	1.468	1230	20.5	1.517
180	3	1.226	540	9	1.399	900	15	1.473	1260	21	1.52
210	3.5	1.253	570	9.5	1.407	930	15.5	1.477	1290	21.5	1.524
240	4	1.275	600	10	1.415	960	16	1.482	1320	22	1.527
270	4.5	1.294	630	10.5	1.422	990	16.5	1.486	1350	22.5	1.53
300	5	1.311	660	11	1.429	1020	17	1.49	1380	23	1.533
330	5.5	1.326	690	11.5	1.435	1050	17.5	1.495	1410	23.5	1.536
									1440	24	1.539

Para tomar en cuenta la espacialidad de las lluvias y convertir las precipitaciones de diseño de puntuales a areales, se tomó en cuenta el factor de reducción por área (Sánchez, 2017). Este factor toma en cuenta la simultaneidad de los eventos y permite no sobreestimar las tormentas de diseño para áreas muy grandes. La ecuación para obtener el FRA en el valle de México se muestra a continuación:

$$FRA = -0.052 \ln(A) + 0.9782 \quad 3.3$$

Donde:

- FRA es el factor de reducción por área
- A es el área total de la cuenca en km²

Para el caso de la cuenca de Dolores:

$$FRA = -0.052 \ln(4.29) + 0.9782 = 0.90 \quad 3.4$$

Por último, tomando en cuenta la precipitación del promedio de las lluvias máximas anuales en la figura 3.11 de 48.3 mm aplicando los factores regionales asociados a distintos periodos de retorno obtenidos en el análisis regional para la zona de Dolores (figura 2.34), un factor de convectividad de 0.65 mostrado en la figura 3.12, los factores de Chen asociados a dicho factor de convectividad de la tabla 3.5 y un factor de reducción por área (FRA) de 0.90 se obtuvieron los hietogramas de diseño sintéticos para una duración de un día con un Δt de 10 minutos asociados a diferentes periodos de retorno, aplicando la metodología de bloques alternos (figuras 3.13-3.21)

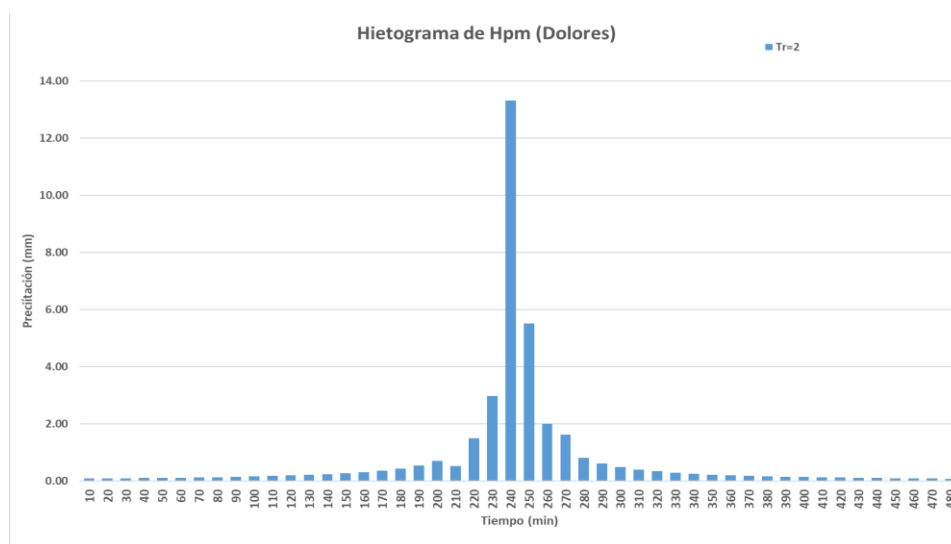


Figura 3.13. Hietograma de diseño para Tr=2 años

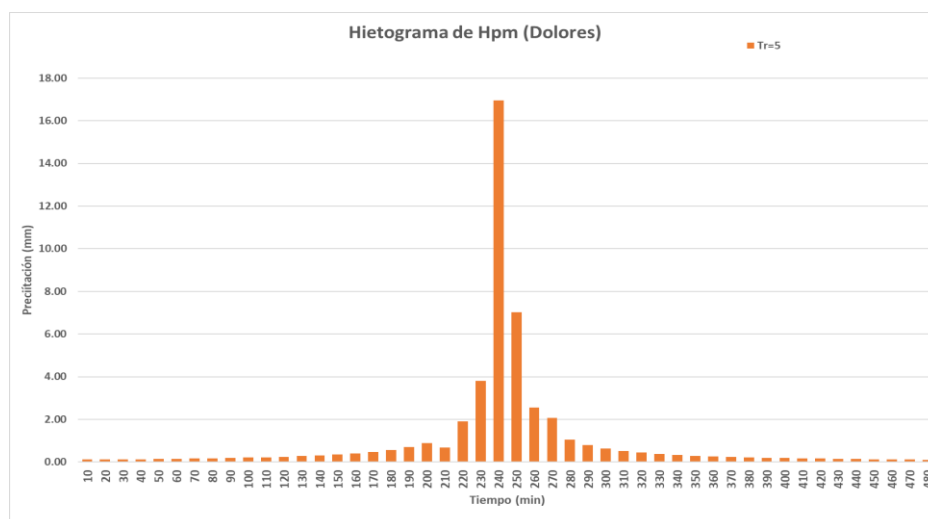


Figura 3.14. Hietograma de diseño para Tr=5 años.

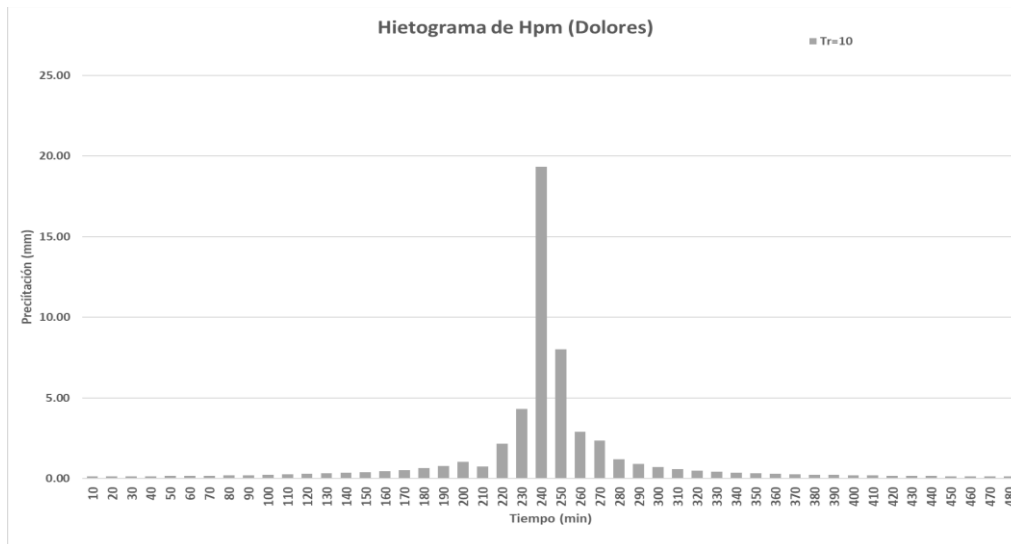


Figura 3.15. Hietograma de diseño para Tr=10 años.

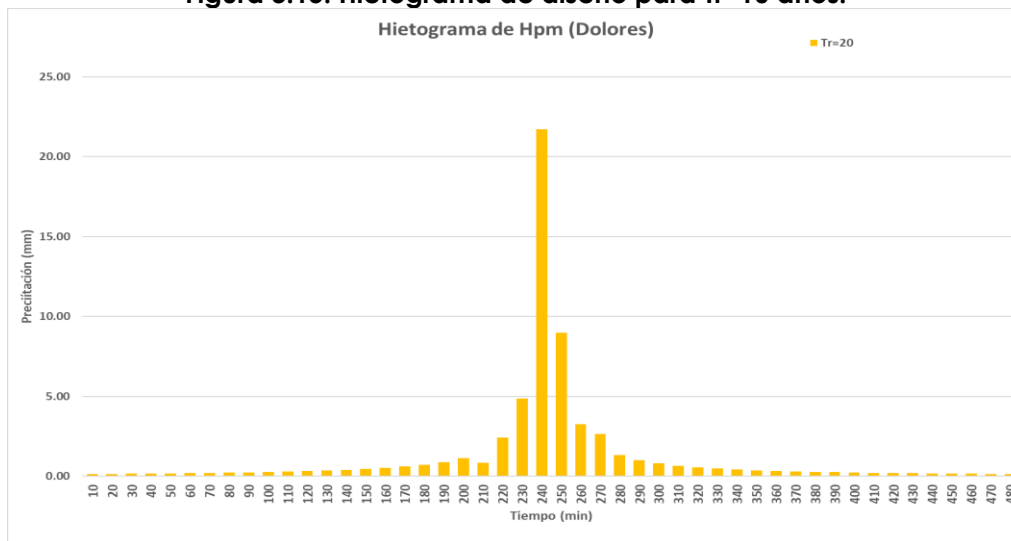


Figura 3.16. Hietograma de diseño para Tr=20 años.

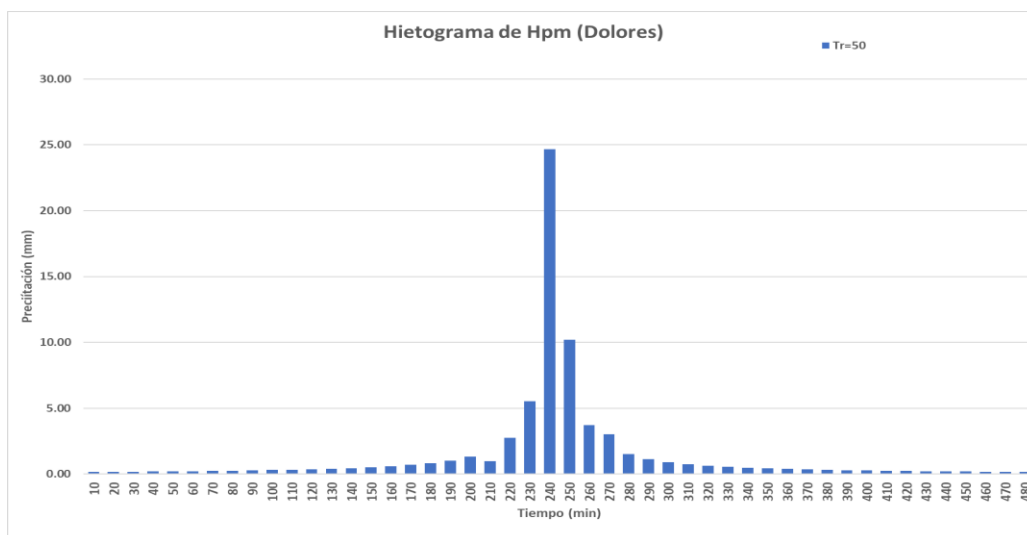


Figura 3.17. Hietograma de diseño para Tr=50 años.

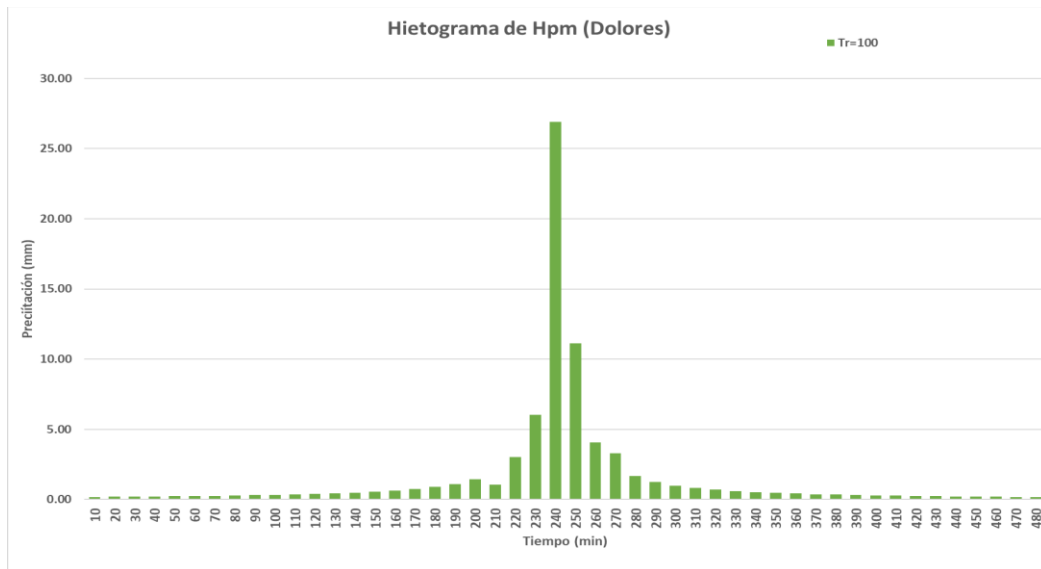


Figura 3.18. Hietograma de diseño para Tr=100 años.

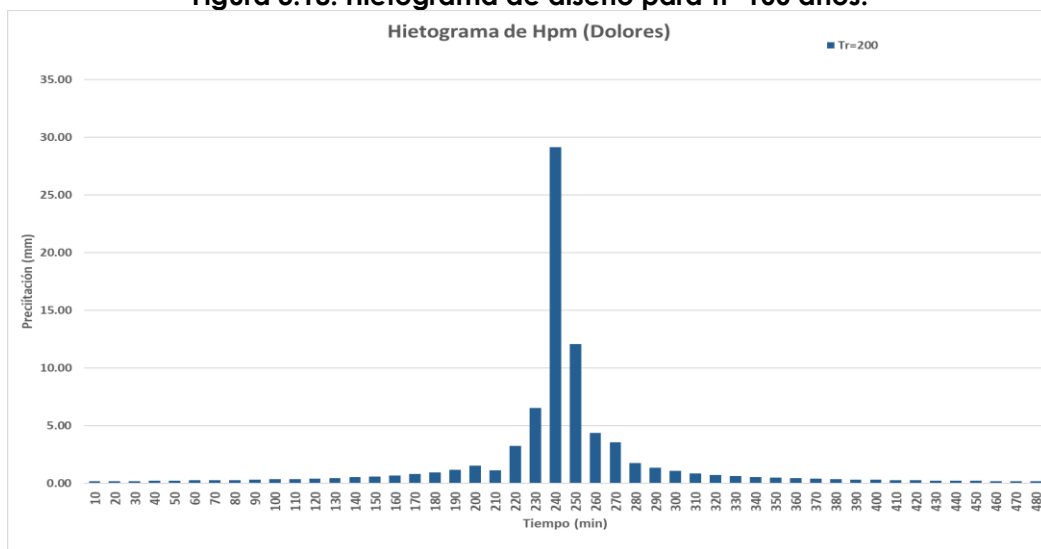


Figura 3.19. Hietograma de diseño para Tr=200 años.

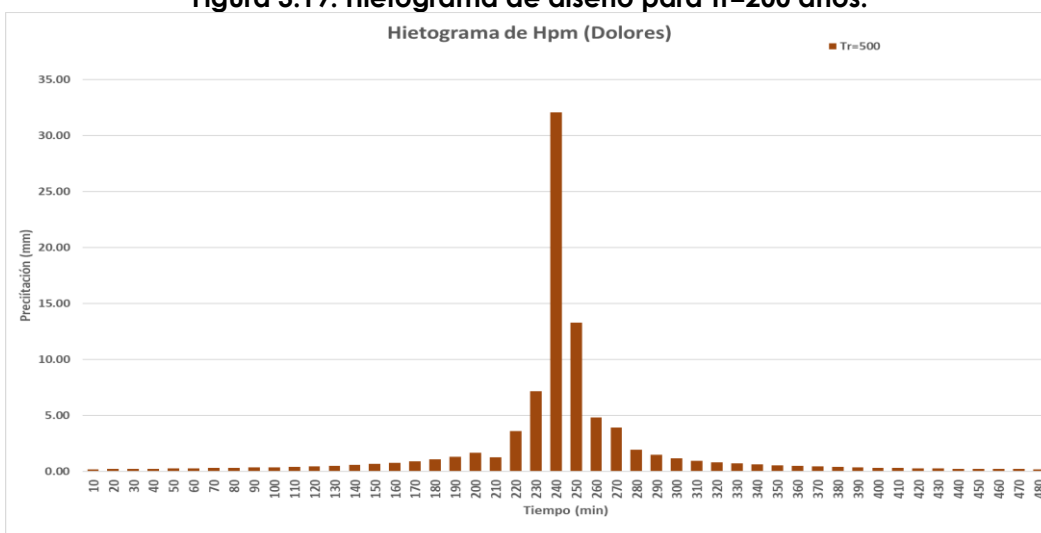


Figura 3.20. Hietograma de diseño para Tr=500 años.

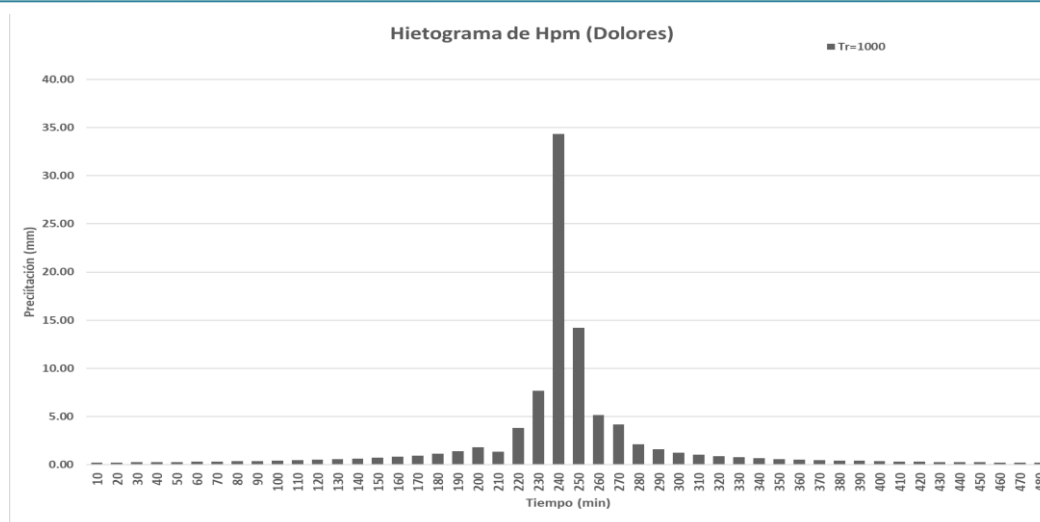


Figura 3.21. Hietograma de diseño para Tr=1000 años.

4.6 OBTENCIÓN DE AVENIDAS DE DISEÑO PARA LA PRESA DOLORES

El objetivo principal del estudio hidrológico es calcular las avenidas de diseño que podrían llegar hasta el vaso de Dolores asociados a diferentes periodos de retorno. Debido a la nula información hidrométrica en la cuenca de estudio, se debe conocer la relación lluvia-escurrimiento a partir de la cual se podrán calcular los gastos máximos de aportación, así como, los volúmenes de aportación a la laguna. Para lo anterior se han desarrollado distintos métodos y modelos dentro los cuales destacan el método racional americano, los hidrogramas sintéticos y los modelos lluvia-escurrimiento de parámetros distribuidos.

4.6.1 Método Racional Americano.

El método racional americano es el más conocido y se recomienda su utilización para conocer los gastos máximos de aportación de cuencas con áreas menores a 8 km². El método supone un solo coeficiente de escurrimiento como parámetro concentrado para toda la cuenca obtenido a partir del uso de suelo de esta y requiere conocer el área y la intensidad de lluvia asociada a una cierta duración.

$$Q = 0.278 * Ce * i * A \quad 3.5$$

Donde;

Q es el gasto calculado asociado a Tr.

Ce es el coeficiente de escurrimiento asociado al uso y tipo de suelo.

i es la intensidad en mm/h para el tiempo de concentración de la cuenca y un determinado Tr.

A es el área de aportación en Km².

El método sugiere que la duración sea igual al tiempo de concentración y solo es posible conocer el gasto máximo, pero no el volumen de aportación. Para poder aplicar el método racional fue necesario calcular las curvas h_p - d - T_r e i - d - T_r , siguiendo la metodología de regionalización, Baeza y Chen presentada en el capítulo 3.4 de tormentas de diseño (figuras 3.15 y 3.16).

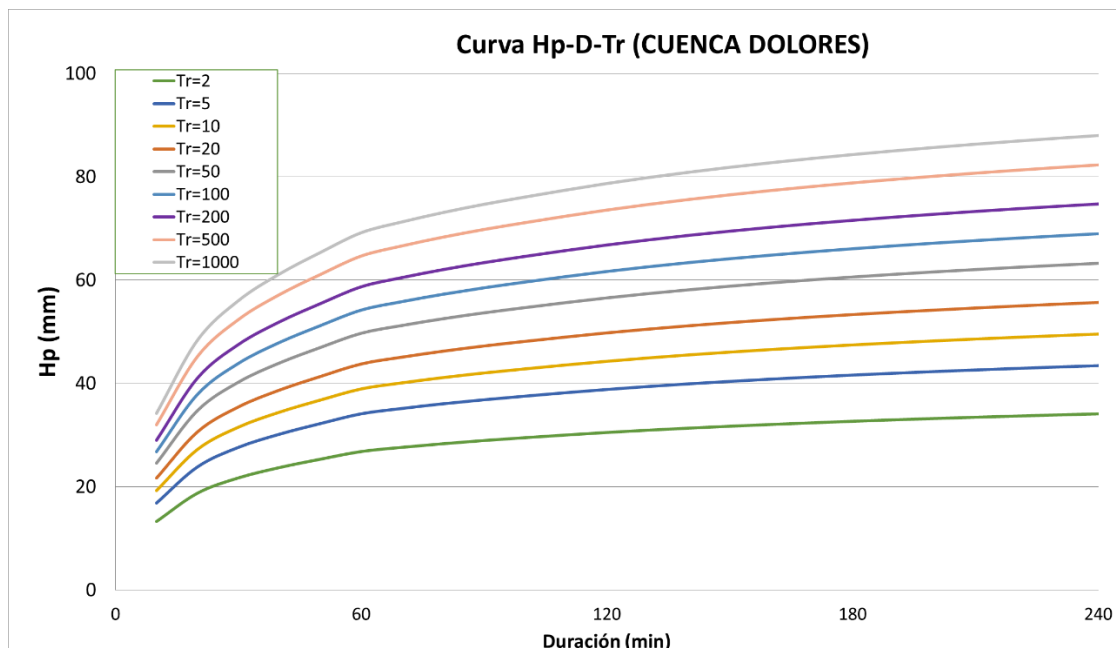


Figura 3.22. Curvas H_p - d - T_r de la Cuenca Dolores.

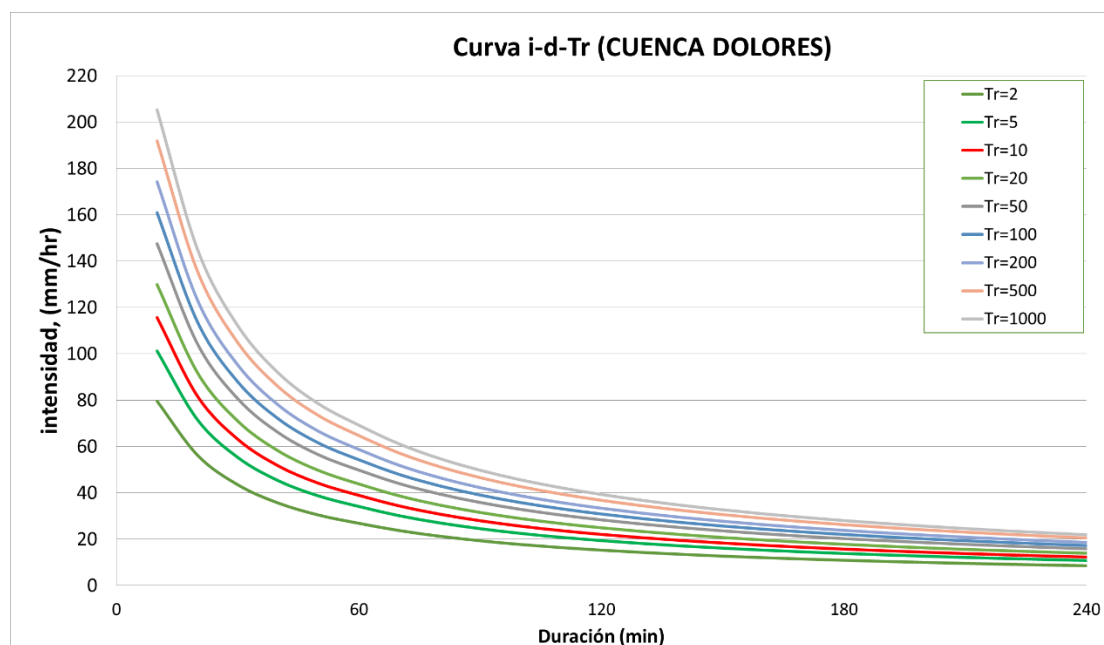


Figura 3.23. Curvas i - d - T_r de la Cuenca Dolores.

La tabla 3.6 muestra los resultados obtenidos para las cuencas analizadas.

Tabla 3.6 Gastos de aportación calculados a partir del método racional americano.

Área, km ²	Tr (años)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
4.294	i, mm/hr	26.83	34.15	38.96	43.77	49.71	54.23	58.73	64.68	69.19
	Ce	0.21	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.37
	Q _{máx} , m ³ /s	6.82	10.42	12.79	15.24	18.52	20.91	23.33	26.81	30.15

4.6.2 Hidrogramas Sintéticos Triangulares

Los métodos que se basan en hidrogramas unitarios sintéticos permiten obtener hidrogramas unitarios a partir de las características generales de la cuenca. Uno de estos métodos es el hidrograma unitario triangular, desarrollado por Mockus (1957, en Aparicio, 2007). La siguiente figura esquematiza este tipo de hidrograma.

En un hidrograma triangular, el gasto pico se calcula:

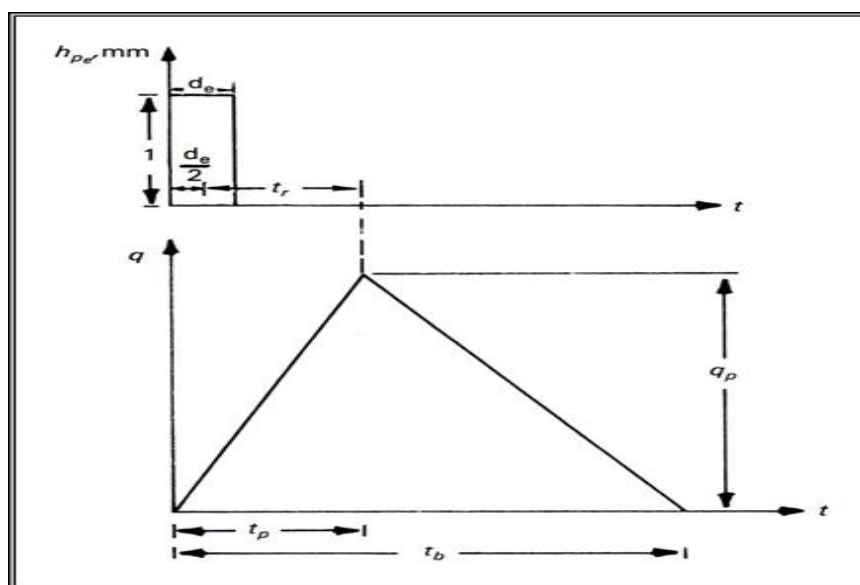
$$q_p = 0.208 \frac{A}{t_p} \quad 3.6$$

Donde:

q_p , gasto pico unitario, en m³/s / mm

A, área de la cuenca, en km²

t_p , tiempo pico, en h

**Figura 3.24 Hidrograma unitario triangular**

$$t_b = 2.67 t_p \quad 3.7$$

El tiempo pico es:

$$t_p = d_e/2 + 0.6 t_c \quad 3.8$$

Donde:

de, duración efectiva, en h (en este caso debe ser igual al ΔT de las lluvias que es de 10 minutos)

t_c , tiempo de concentración, en h

t_p , tiempo pico, en h

El hidrograma de escurrimiento directo se calcula multiplicando cada una de las ordenadas del H.U. triangular por la lluvia efectiva, P_e , expresada en mm.

El hidrograma unitario triangular tiene la virtud de ser el hidrograma representativo para una precipitación efectiva de 1 mm. Debido a lo anterior es posible estimar un hidrograma para un hietograma dado, basta con multiplicar el HUT por cada una las barras de los hietogramas obtenidos. Para obtener la convolución del hidrograma se desfasa el HUT multiplicado por su correspondiente barra de precipitación un ΔT igual al ΔT del hietograma.

Haciendo lo anterior, se obtienen los hidrogramas producidos por cada barra, la suma total de la convolución de los hidrogramas para cada intervalo de tiempo dará como resultado el hidrograma de escurrimiento directo.

Los gastos máximos y los hidrogramas de las cuencas para diferentes T_r se muestran en las siguientes figuras y en la tabla 3.7.

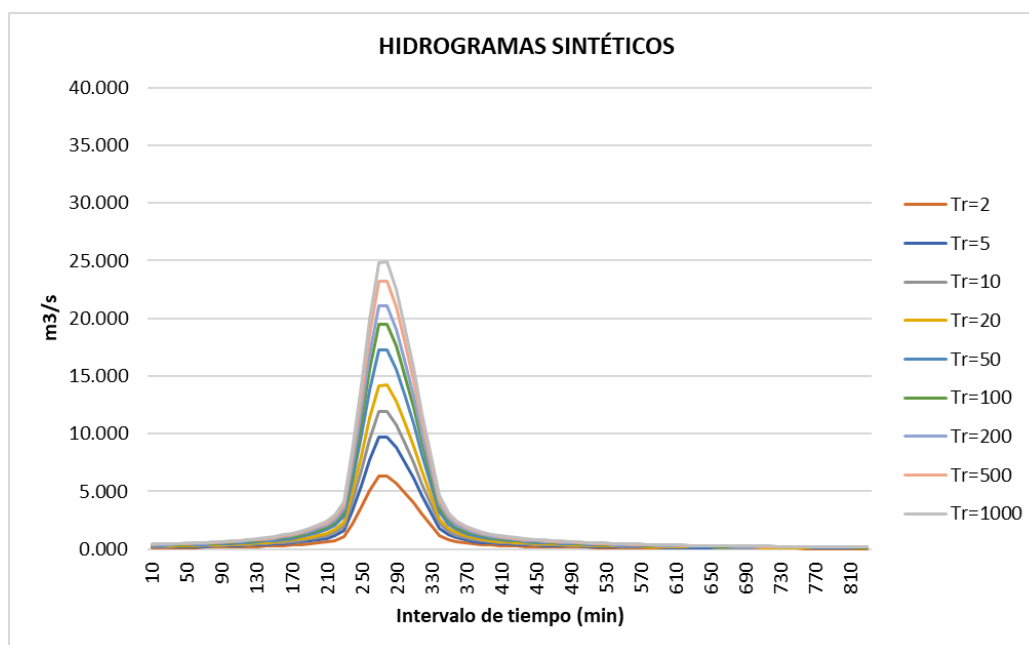


Figura 3.25 Hidrogramas sintéticos triangulares calculados para la cuenca.

Tabla 3.7 Resumen del cálculo de hidrogramas sintéticos triangulares.

TR/Cuenca	Cuenca DOLORES	
	Q máx. (m³/s)	Vol. (miles m³)
Tr=2	6.35	37.35
Tr=5	9.71	57.16
Tr=10	11.91	70.15

TR/Cuenca	Cuenca DOLORES	
	Q máx. (m³/s)	Vol. (miles m³)
Tr=20	14.20	83.58
Tr=50	17.25	101.57
Tr=100	19.49	114.71
Tr=200	21.10	124.26
Tr=500	23.24	136.86
Tr=1000	24.86	146.30

4.6.3 Modelo lluvia-escorrentía de parámetros distribuidos MPE

Una vez calculados los hietogramas de diseño para la cuenca de la laguna, se utilizó el modelo de parámetros distribuidos MPE desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM (Domínguez, 2008) para convertir la lluvia en escurrimiento y a partir de éste estimar una avenida que indique tanto el gasto de diseño como el volumen a transitar para cada periodo de retorno.

El método que emplea el MPE para el cálculo de la Precipitación Distribuida en la cuenca se obtiene interpolando con el método de Shepard, Engeln (1996), la lluvia registrada en la red de estaciones pluviográficas. El método empleado para la producción del escurrimiento está basado en el del Número de Curva o SCS del Soil Conservation Service, Chow (1994), con una modificación que permite considerar el secado del suelo después de presentarse una lluvia, para ello se agregó en el cálculo de la precipitación un parámetro, al que se denominó factor de olvido, el cual hace que la importancia de las lluvias antecedentes vaya disminuyendo conforme pasa el tiempo. Con este parámetro se consideran las pérdidas por evapotranspiración. La transferencia del escurrimiento se hace con el método de Clark Modificado, Méndez (2005).

El método Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS-CN) se basa en la ecuación de balance hídrico y en dos hipótesis fundamentales. La primera hipótesis establece que la razón entre el volumen de escurrimiento directo y el escurrimiento potencial máximo es igual a la razón entre la infiltración real y la infiltración potencial máxima. La segunda hipótesis establece que la infiltración inicial es una fracción de la retención potencial.

$$Pe = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}; I_a \leq P, 0 \quad 3.9$$

$$S = \frac{2540 - (25.4 \times NC)}{NC} \quad 3.10$$

$$Pe = \frac{\left(P - \frac{508}{NC} + 5.08\right)^2}{P + \frac{2032}{NC} - 20.32} \quad 3.11$$

Donde;

P , precipitación total

I_a , infiltración inicial

F_a , infiltración acumulada

P_e , precipitación efectiva

S , infiltración potencial máxima

NC, número de curva

En la literatura se recomiendan $I_a = 0.2$

El número de curva, o número de escurrimiento, es un parámetro que en función del uso y tipo de suelo define la permeabilidad de un área determinada, toma valores de 0 a 100 siendo el valor de 0 aquel donde todo se infiltra y 100 donde todo escurre.

Para determinar el valor de NC se empleó la información de edafología y uso de suelo y vegetación de la cuenca arriba citadas. Los suelos Litosoles y Feozem son asignados al grupo hidrológico B con permeabilidad buena, se usaron los valores de NC por el tipo de suelo del Soil Conservation Service (SCS) de Estados Unidos (tabla 3.8).

El número NC de la cuenca considerando condición hidrológica regular o aceptable, se muestra en la siguiente figura, estos NC se calibrarán en el modelo MPE.

Tabla 3.8 Número de escurrimiento según uso de suelo y vegetación y grupo hidrológico

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN (INEGI)	NC			
	GRUPO HIDROLOGICO			
	A	B	C	D
ASENTAMIENTO HUMANO	82	88	91	93
Residencial 50% o más área impermeable	77	85	90	92
Residencial 50% o menos área impermeable	61	75	83	87
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	98	98	98	98
Calles y carreteras (Pavimentados con cunetas y alcantarillas)	98	98	98	98
Calles y carreteras de Grava	76	85	89	91
Calles y carreteras De Tierra	72	82	87	89
ÁREAS ABIERTAS (césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.)				
condiciones pobres: cubierta de pasto menos del 50	68	79	86	89
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75 %	49	69	79	84
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75 % o más	39	61	74	80
BOSQUE (Cultivado, De Encino, De Encino-Pino, De Oyamel, De Pino, De Tascate, Mesofilo de Montaña)				
Condición hidrológica mala	45	66	77	83
Condición hidrológica regular	36	60	73	79
Condición hidrológica buena	25	55	70	77
PASTIZAL (Cultivado, Halofilo, Inducido, Natural, Naturao-Huizachal)				
Condición hidrológica mala	68	79	86	89

Condición hidrológica regular	49	69	79	84
Condición hidrológica buena	39	61	74	80

DEFINICIÓN DE "CONDICIÓN HIDROLÓGICA"

Para suelos agrícolas:

- Mala: tiene menos del 25% del terreno cubierto.
- Regular: tiene entre 25 y 50% del terreno cubierto.
- Buena: tiene más del 50% del terreno cubierto.

Para uso forestal:

- Mala: tiene menos del 30% del terreno cubierto.
- Regular: tiene entre 30 y 70% del terreno cubierto.
- Buena: tiene más del 70% del terreno cubierto.

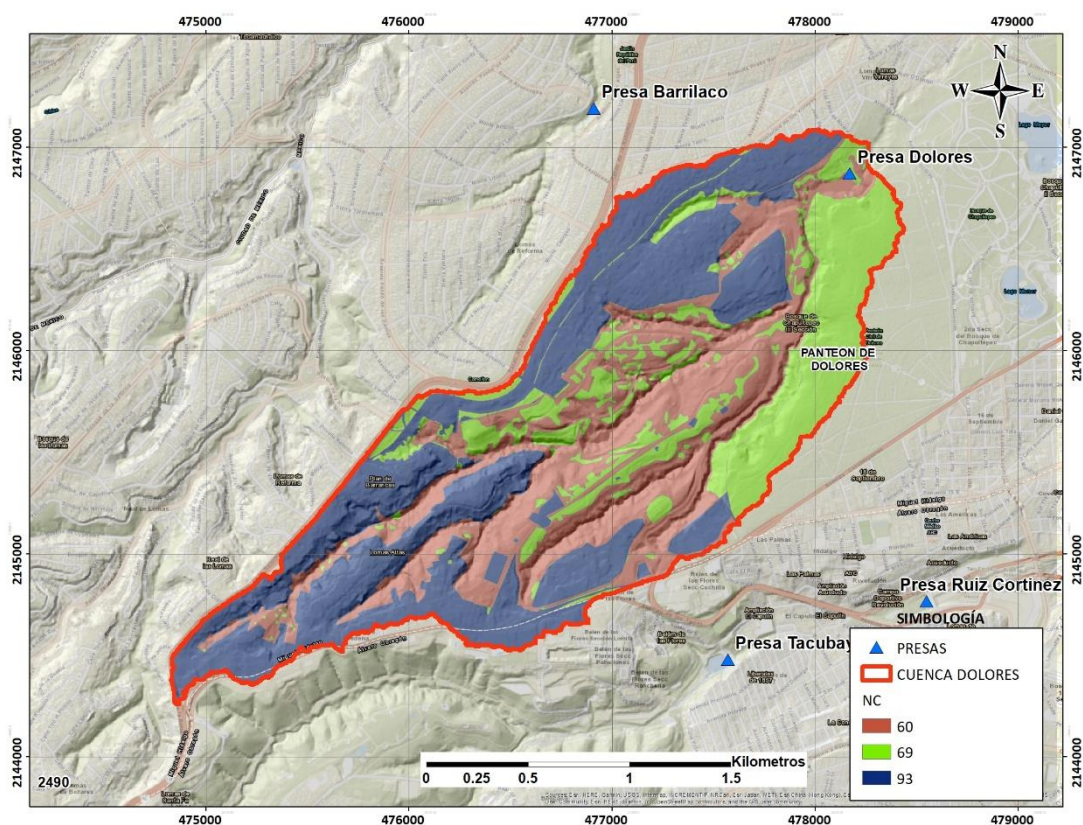


Figura 3.26 Números de escurrimiento en la cuenca considerando Condición Hidrológica Regular

Se trazó una malla de 50 x 50 metros (Figura 3.27) para obtener píxeles a los cuales se les asignó un número de curva en función del uso y tipo de suelo de la zona, así como otras características hidrológicas que necesita el modelo de parámetros distribuidos MPE. Ver referencia (Domínguez et al, 2008).

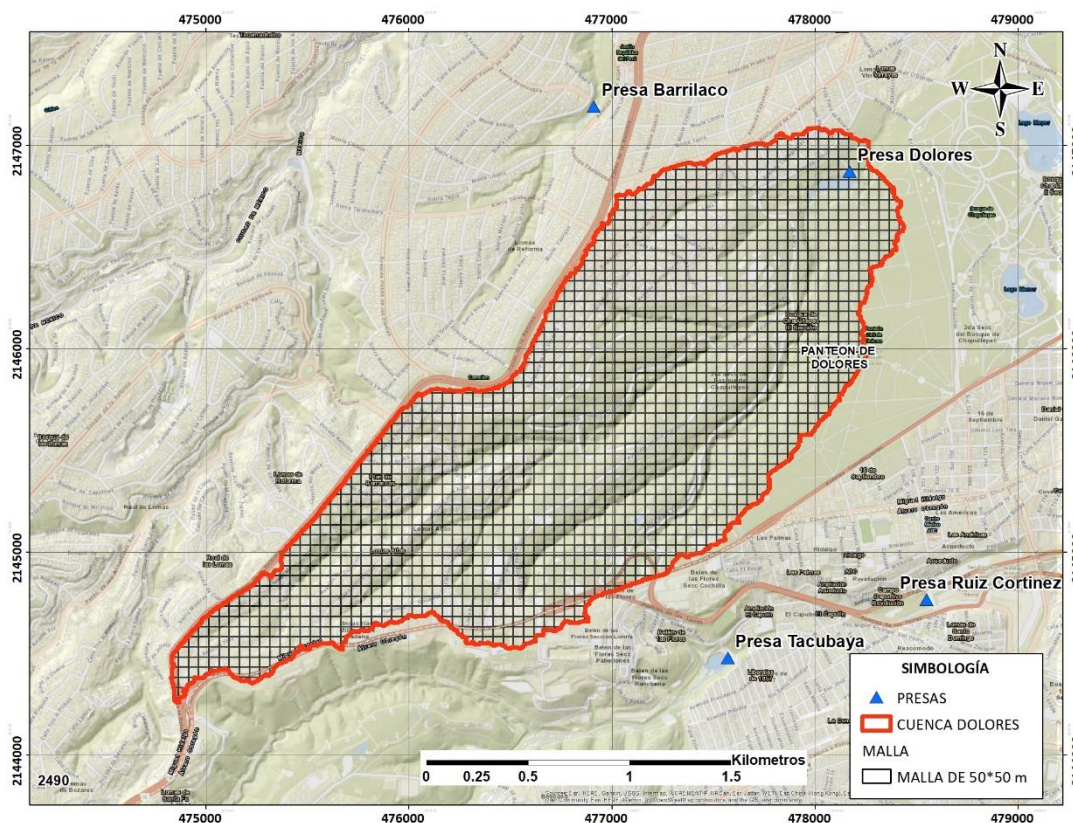


Figura 3.27 Malla de la cuenca de 50 x 50 metros de la cuenca Dolores.

Debido a falta de información hidrométrica medida para calibrar y comparar el modelo MPE, se utilizaron los valores descritos en la literatura y se calibró tomando en cuenta el coeficiente de escurrimiento C_e calculado con el método del Instituto de Ingeniería buscando que fuera cercano a 0.25 para un T_r de 5 años. La tabla 3.9 muestra los parámetros de calibración del modelo MPE.

Uno de los parámetros del modelo MPE es el tiempo de concentración, este se refiere al tiempo que tarda en llegar una gota desde el punto más lejano de la cuenca hasta la salida de la misma. Debido los grandes desniveles en las curvas de nivel trazadas con el LIDAR a cada 5 m, se obtuvo un tiempo de concentración aproximado de 1 hora con el método de Kirpich para la pendiente de 3.5%.

Tabla 3.9 Parámetros de calibración de la cuenca Dolores en el MPE para diferentes T_r

Parámetros de Calibración	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR200	TR500	TR1000
ΔT (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
λ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
F_s	0.90	0.95	1.00	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.25
F_o	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
T_c (hrs)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K (hrs)	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
C_e	0.21	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.37

En la siguiente tabla se muestran los gastos máximos y volúmenes en la cuenca Dolores para diferentes periodos de retorno, obtenidos en el MPE, así como en la Figura 3.28 los hidrogramas resultantes, para la condición hidrológica actual.

Tabla 3.10 Gastos y Volúmenes máximos para diferentes Tr

Parámetros de Calibración	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR200	TR500	TR1000
Área (km ²)	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294
Lluvia(mm)	41.05	52.291	59.64	66.98	76.06	82.98	89.88	98.96	105.87
Lluvia en exceso (mm)	8.737	13.362	16.395	19.534	23.734	26.802	29.907	34.359	38.65
VII(Miles m ³)	176.28	224.54	256.08	287.62	326.60	356.29	385.96	424.91	454.62
Vexceso(Miles m ³)	37.52	57.38	70.40	83.88	101.91	115.09	128.42	147.54	165.96
Qmáx (m ³ /s)	6.27	9.71	11.98	14.33	17.49	19.80	22.14	25.50	28.77
Ce	0.21	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.37

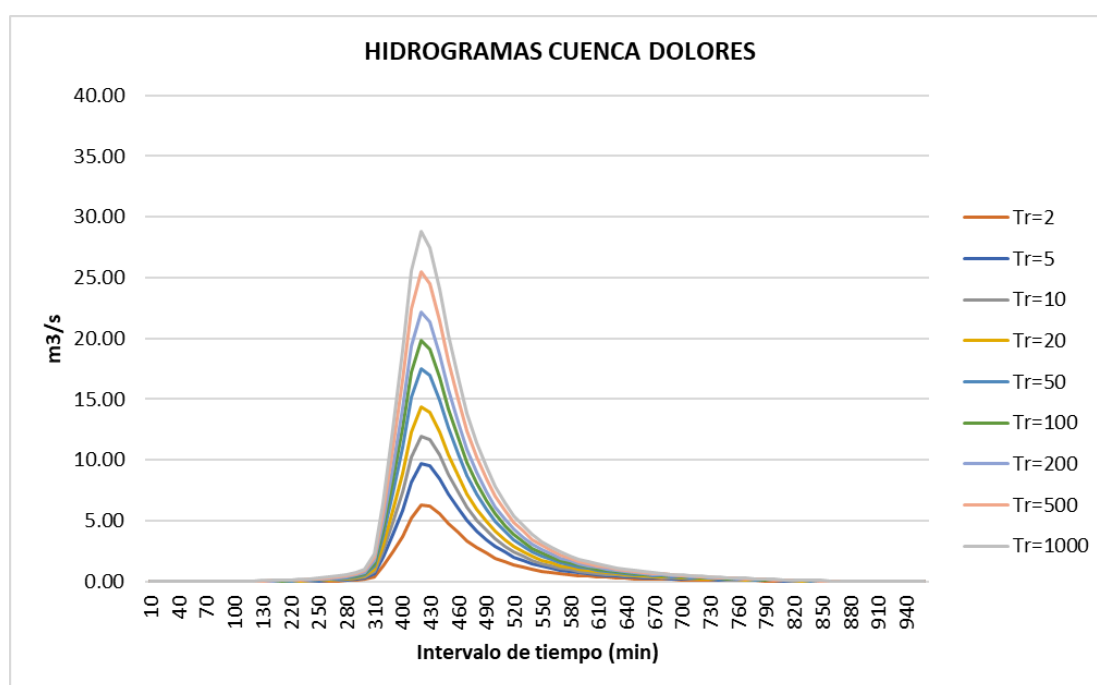


Figura 3.28 Hidrogramas de diseño para diferentes Tr de la cuenca Dolores para condiciones actuales

Considerando los mismos parámetros de calibración para los NC con condición Hidrológica Buena y Mala de la cuenca se obtienen dos escenarios futuros, si se interviniera en la cuenca para mejorar su condición hidrológica o por contrario si no se hiciera nada para mejorar su condición actual.

En las siguientes tablas y figuras se muestran los hidrogramas para estos dos escenarios futuros.

Tabla 3.11 Escenario futuro para una Buena Condición Hidrológica de la cuenca

Parámetros de Calibración	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR200	TR500	TR1000
Área (km ²)	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294
Lluvia(mm)	41.05	52.291	59.64	66.98	76.06	82.98	89.88	98.96	105.87
Lluvia en exceso (mm)	7.508	11.368	13.939	16.618	20.23	22.876	25.562	29.437	33.222
VII(Miles m ³)	176.28	224.54	256.08	287.62	326.60	356.29	385.96	424.91	454.62
Vexceso(Miles m ³)	32.24	48.81	59.85	71.36	86.87	98.23	109.76	126.40	142.66
Qmáx (m ³ /s)	5.40	8.20	10.08	12.06	14.74	16.71	18.71	21.61	24.46
Ce	0.18	0.22	0.23	0.25	0.27	0.28	0.28	0.30	0.31

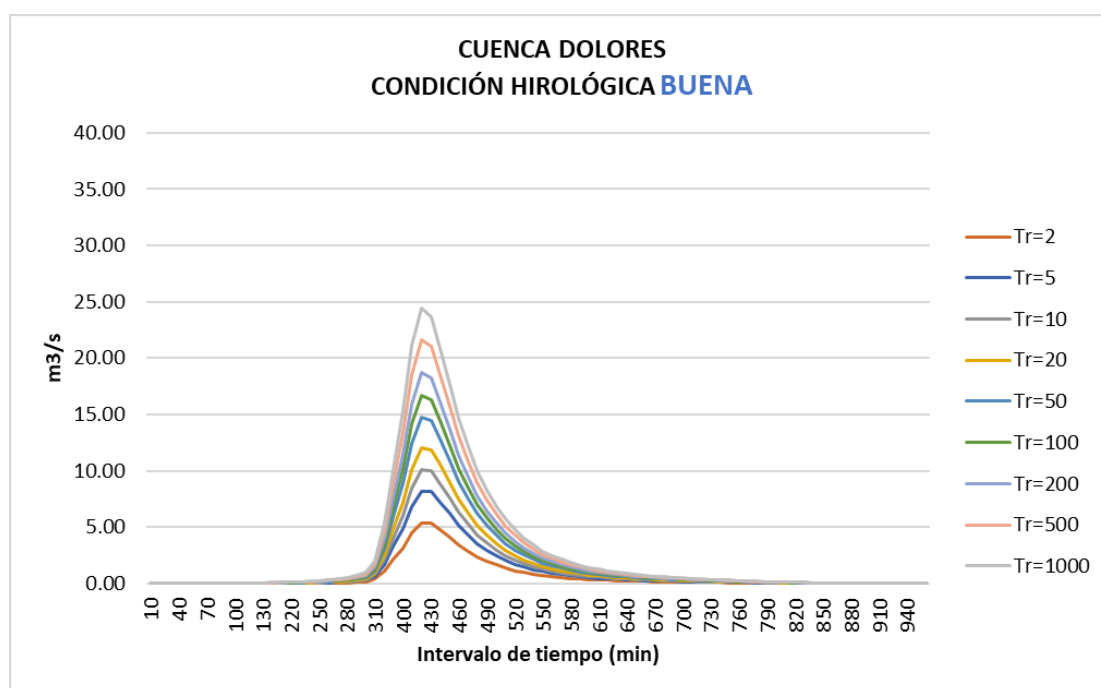


Figura 3.29 Hidrogramas Futuros considerando condición hidrológica Buena en la cuenca

Tabla 3.12 Escenario futuro para una Mala Condición Hidrológica de la cuenca

Parámetros de Calibración	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR200	TR500	TR1000
Área (km ²)	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294	4.294
Lluvia(mm)	41.05	52.291	59.64	66.98	76.06	82.98	89.88	98.96	105.87
Lluvia en exceso (mm)	11.124	16.799	20.471	24.239	29.223	32.862	36.532	41.737	46.629
VII(Miles m ³)	176.28	224.54	256.08	287.62	326.60	356.29	385.96	424.91	454.62
Vexceso(Miles m ³)	47.77	72.13	87.90	104.08	125.48	141.11	156.87	179.22	200.22
Qmáx (m ³ /s)	8.10	12.40	15.18	18.04	21.83	24.59	27.38	31.33	35.07
Ce	0.27	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.42	0.44

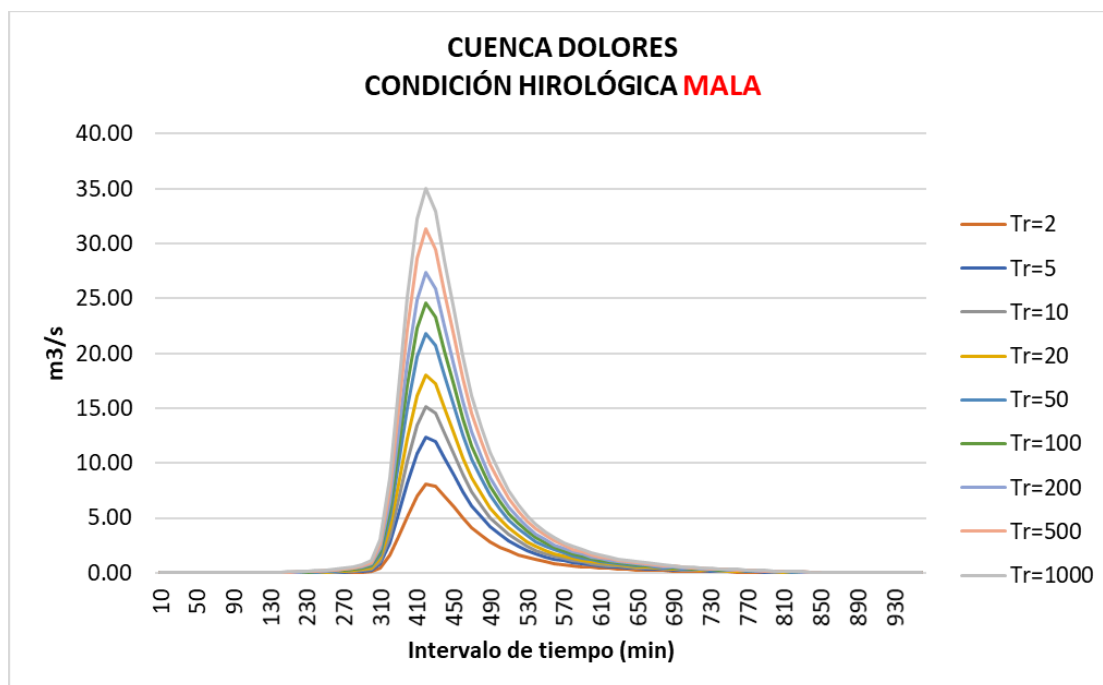


Figura 3.30 Hidrogramas Futuros considerando condición hidrológica Mala en la cuenca

4.6.4 Análisis de gastos y volúmenes obtenidos por distintos métodos

La siguiente tabla muestra en resumen los resultados de volumen y gastos pico obtenidos a partir del método racional americano, hidrogramas sintéticos triangulares y el modelo lluvia escurrimiento de parámetros distribuidos MPE desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Tabla 3.13 Tabla resumen de Gastos Máximos para la cuenca Dolores, obtenidos en m³/s por diferentes métodos asociados a distintos periodos de retorno.

Método	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100	Tr=200	Tr=500	Tr=1000
Fórmula Racional	6.82	10.42	12.79	15.24	18.52	20.91	23.33	26.81	30.15
HUT	6.35	9.71	11.91	14.20	17.25	19.49	21.10	23.24	24.86
MPE	6.27	9.71	11.98	14.33	17.49	19.80	22.14	25.50	28.77

Tabla 3.14 Tabla resumen de Volúmenes de Escorrimento Directo de la cuenca Dolores, obtenidos en miles de m³ por diferentes métodos asociados a distintos periodos de retorno.

Método	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100	Tr=200	Tr=500	Tr=1000
HUT	37.35	57.16	70.15	83.58	101.57	114.71	124.26	136.86	146.30
MPE	37.52	57.38	70.40	83.88	101.91	115.09	128.42	147.54	165.96

Se observa que los gastos máximos y los volúmenes de escurrimiento directo son parecidos entre sí por los tres métodos considerados. Por lo general el método racional sobre estima el gasto máximo mientras que el triangular tiende a

subestimarlo. Por lo anterior, se recomienda utilizar los gastos y volúmenes obtenidos a partir del modelo lluvia-escurrimiento, MPE.

4.7 OBTENCIÓN DE AVENIDAS DE DISEÑO PARA LA CUENCA TACUBAYA

Para el análisis de la presa Tacubaya se propone utilizar la misma metodología y debido a la cercanía espacial con la cuenca Dolores, se utilizaron los mismos hietogramas de diseño para obtener las avenidas de diseño asociadas a diferentes periodos de retorno.

La cuenca del río Tacubaya es una cuenca urbana casi en su totalidad y se encuentra regulada por tres presas, Totolapa, Tacubaya y Ruiz Cortines, además la presa Tacubaya puede recibir el agua proveniente de la presa Becerra C por medio de un túnel de interconexión y a su vez está conectada con la presa Tecamachalco por medio de otro túnel (Ver figura 3.31). Para efectos del presente estudio se analizará y se obtendrán las avenidas de diseño asociadas únicamente a la cuenca propia de la presa Tacubaya sin tomar en el funcionamiento hidráulico del sistema de interconexión en serie y paralelo del sistema de interconexión.

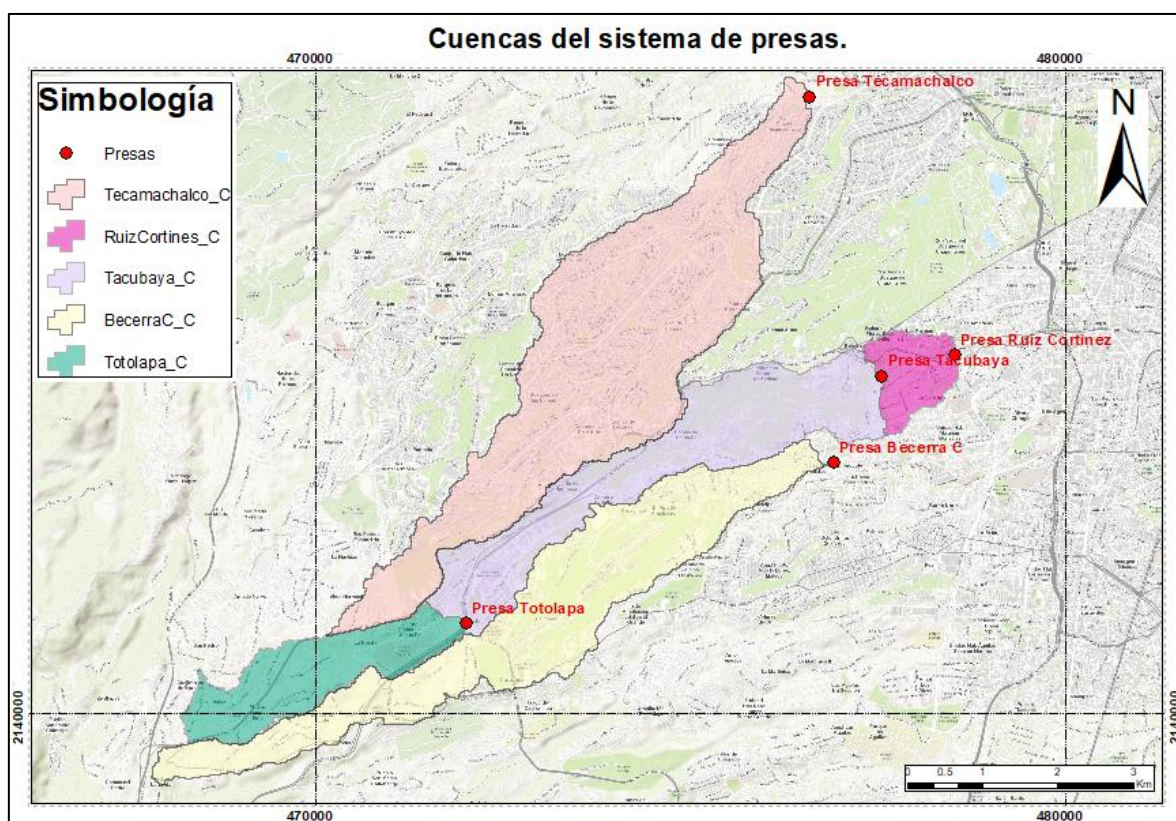


Figura 3.31 Cuencas de las presas conectadas con la presa Tacubaya.

Al igual que con la cuenca de Dolores, se utilizó el modelo digital de elevación LIDAR con una resolución de 5m para obtener el parteaguas de la cuenca y las curvas de nivel a cada 5m (Figura 3.32).

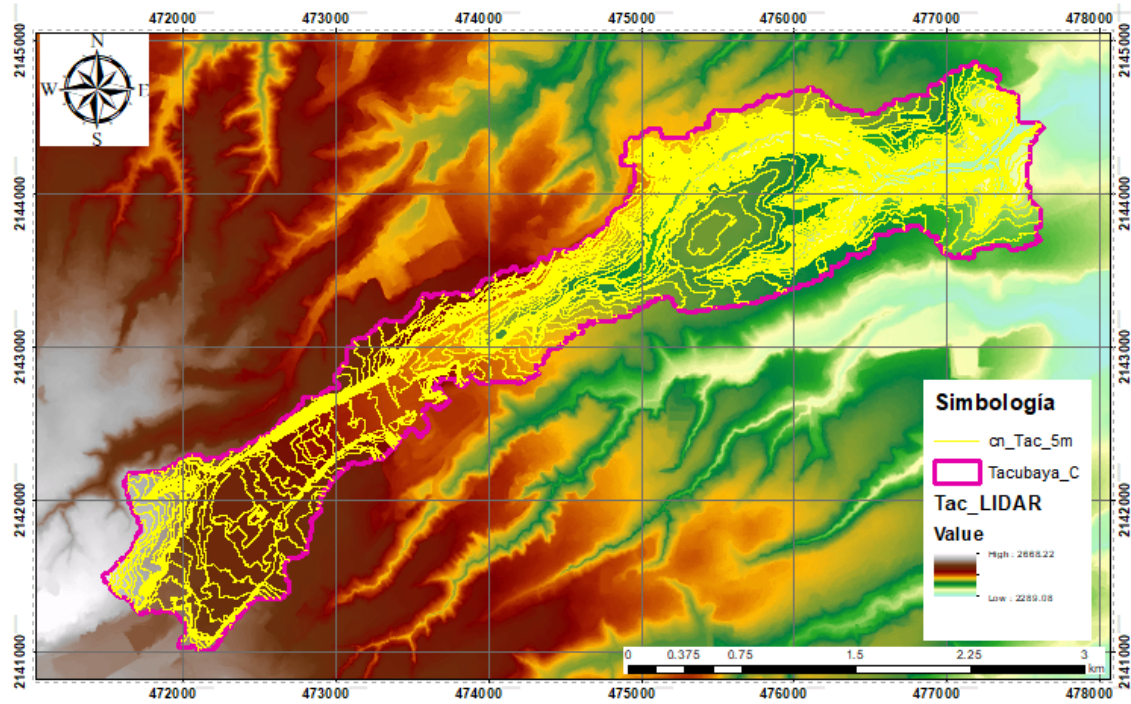


Figura 3.32 Cuenca Tacubaya, LIDAR y curvas de nivel a cada 5m.

En función de la edafología del sitio y el uso de suelo de la cuenca mostrado en la Figura 3.33 se obtuvieron los números de curva mostrados en la Figura 3.34.

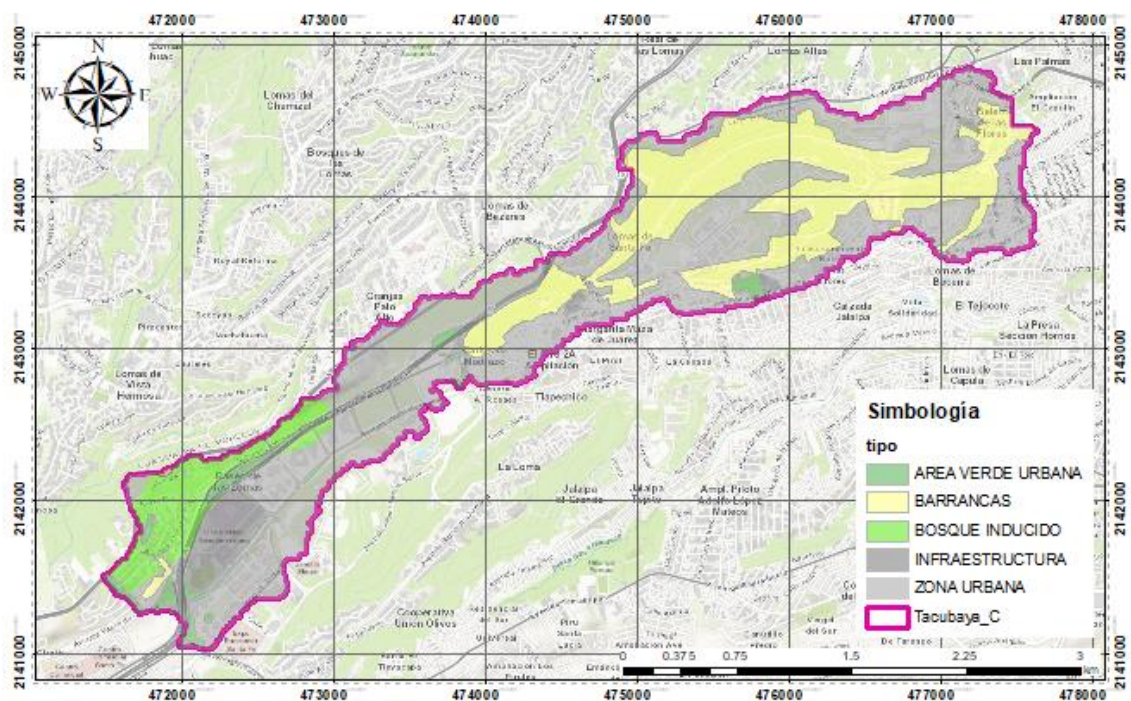


Figura 3.33 Uso de suelo en la cuenca de Tacubaya.

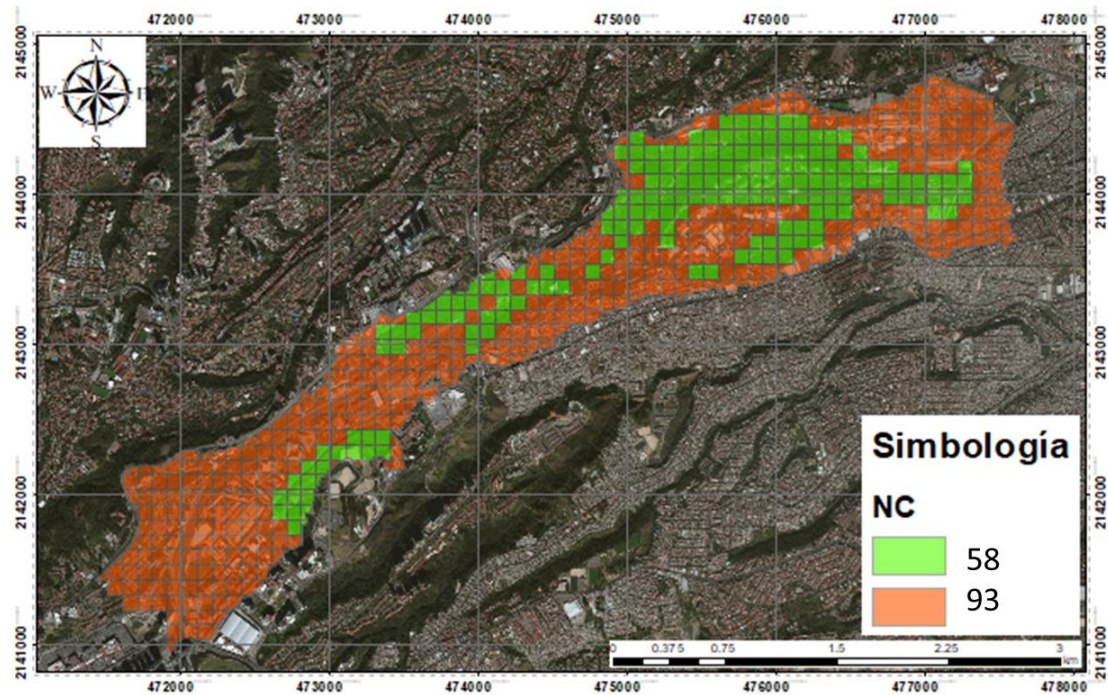


Figura 3.34 Números de curva asociados a la malla de 100 x 100 m de la cuenca propia de la presa Tacubaya.

Se interpoló el promedio de las precipitaciones máximas de 24 horas para obtener el mapa de isoyetas mostrado en la figura 3.35.

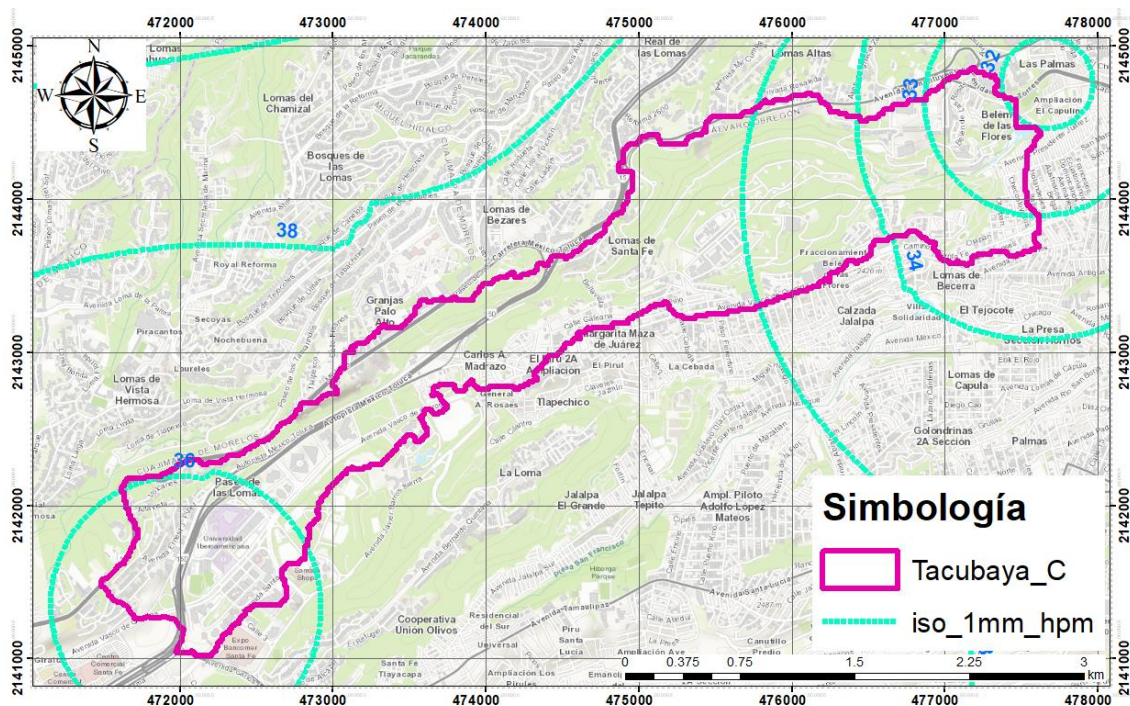


Figura 3.35 Mapa de Isoyetas del promedio de las precipitaciones máximas anuales de 24 horas.

La tabla 3.15 muestra las características fisiográficas de la cuenca, así como el Ce obtenido a partir de la ecuación 3.1 desarrollada en el Instituto de Ingeniería.

Tabla 3.15 Características fisiográficas de la cuenca de la presa Tacubaya.

Presa	Área total [km ²]	Área [km ²]		Porcentaje de área [%]		Características fisiográficas			
		No urbana	Urbana	No urbana	Urbana	Lcp [m]	Scp [l]	tc [hr]	Ce
Tacubaya	5.59	1.75	3.83	31	69	8,548	0.04	1.23	0.36

Para el caso de la cuenca de Tacubaya se obtuvieron las avenidas de diseño utilizando el método racional americano, los hidrogramas sintéticos triangulares, y el modelo de parámetros distribuidos MPE.

- Método Racional Americano:

Cuenca		
TACUBAYA	Área km ²	5.590
	Tc (hrs)	1.23
	d (min)	74

Tabla 3.16 Obtención de Q max de la cuenca Tcubaya. Aplicando el Método Racional Americano.

Tr (años)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
i, mm/hr	21.71	27.64	31.53	35.41	40.20	43.87	47.53	52.32	55.98
Ce	0.33	0.36	0.38	0.39	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45
Q máx, m ³ /s	11.15	15.48	18.64	21.48	25.64	28.66	31.79	35.82	39.19

- Hidrogramas Unitarios Triangulares:

Tabla 3.17 Q máx y volumen asociado a cada Tr para el HUT de la cuenca Tacubaya.

Tr (años)	Tr=2	Tr=5	Tr=10	Tr=20	Tr=50	Tr=100	Tr=200	Tr=500	Tr=1000
Q máximo, (m ³ /s)	11.10	15.38	18.37	21.42	25.38	28.36	30.73	33.83	36.19
Volumen total, (miles m ³)	73.55	101.99	121.75	142.10	168.31	188.05	203.81	224.36	239.88

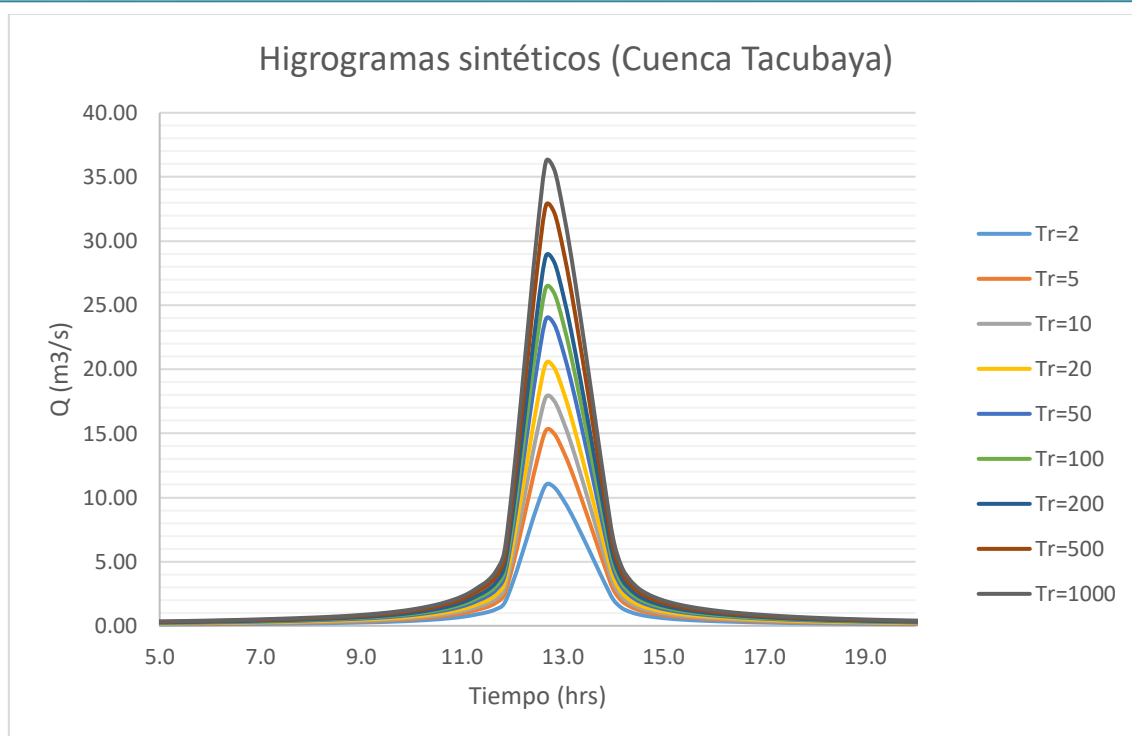


Figura 3.36 HUT de la presa Tacubaya.

- Modelo lluvia-escorrentamiento MPE.

Tabla 3.18 Parámetros de calibración del modelo MPE y resultados obtenidos para Q máx, Volumen, lluvias y Ce.

Parámetros de Calibración	TR2	TR5	TR10	TR20	TR50	TR100	TR200	TR500	TR1000
ΔT (min)	10	10	10	10	10	10	10	10	10
λ	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Fs	1.10	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50	1.55
Fo	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998
Tc (hrs)	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23	1.23
K(hrs)	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Área (km²)	5.596	5.596	5.596	5.596	5.596	5.596	5.596	5.596	5.596
Lluvia(mm)	39.65	50.50	57.59	64.69	73.45	80.13	86.81	95.57	102.24
Lluvia en exceso (mm)	13.17	18.252	21.796	25.432	30.14	33.662	37.225	42.136	45.77
Vll(Miles m³)	221.85	282.58	322.27	361.99	411.03	448.39	485.77	534.79	572.16
Vexceso(Miles m³)	73.70	102.14	121.97	142.32	168.66	188.37	208.31	235.79	256.13
Qmáx (m³/s)	10.97	15.19	18.10	21.07	24.91	27.79	30.69	35.68	38.70
Ce	0.33	0.36	0.38	0.39	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45

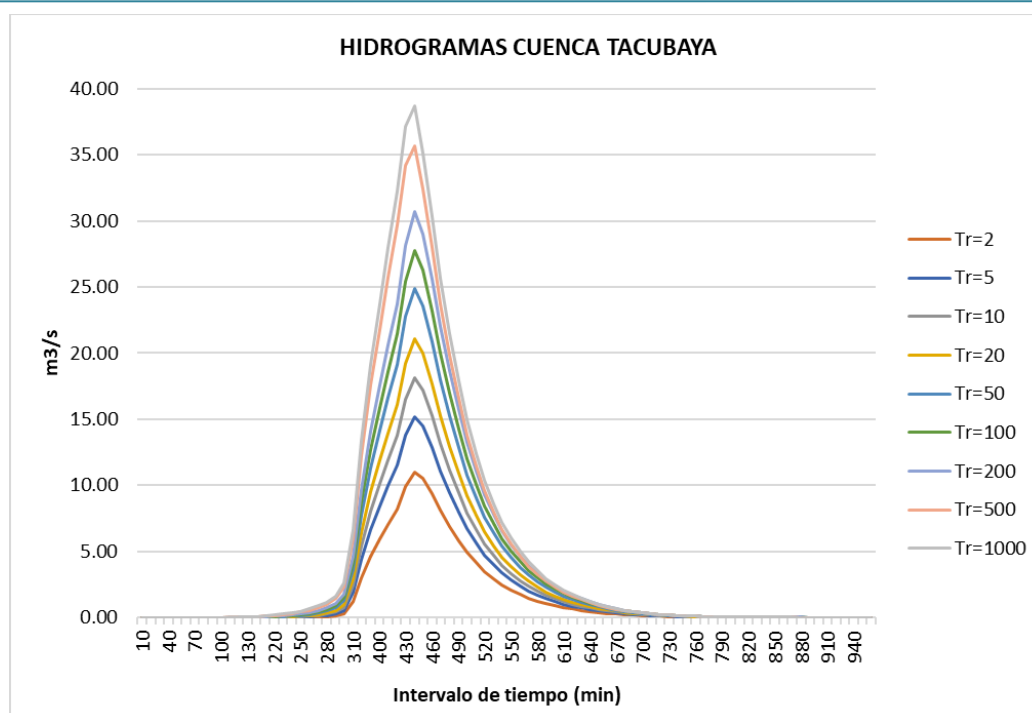


Figura 3.37 Hidrogramas de diseño para diferentes Tr de la cuenca Tacubaya
Las siguientes tablas muestran la comparación de los resultados obtenidos por los tres métodos aplicados:

Tabla 3.19 Comparación de Q máx para la cuenca propia de Tacubaya aplicando 3 diferentes métodos.

TACUBAYA	Tr								
Qmáx (m³/s)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
MRA	11.15	15.48	18.64	21.48	25.64	28.66	31.79	35.82	39.19
HUT	11.10	15.38	18.37	21.42	25.38	28.36	30.73	33.83	36.19
MPE	10.97	15.19	18.10	21.07	24.91	27.79	30.69	35.68	38.70

Tabla 3.20 Comparación de Volumen de exceso para la cuenca propia de Tacubaya aplicando el HUT y el MPE.

TACUBAYA	Tr								
Vexceso(Miles m³)	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
HUT	73.55	101.99	121.75	142.10	168.31	188.05	203.81	224.36	239.88
MPE	73.70	102.14	121.97	142.32	168.66	188.37	208.31	235.79	256.13

Se observa que los Qmáx y los volúmenes obtenidos por el HUT y el MPE son muy parecidos, se recomienda utilizar los gastos y volúmenes obtenidos por el modelo de parámetros distribuidos MPE.

5 ANÁLISIS DE UNA TORMENTA HISTÓRICA EN LA CUENCA DE DOLORES

A continuación, se presenta el análisis de la afectación de una tormenta medida en la cuenca del Valle de México que tuvo una gran influencia en la zona poniente de la ciudad donde se encuentra ubicada la cuenca de Dolores.

Debido a la necesidad de tener monitoreadas las lluvias para poder anticipar las políticas de operación en el protocolo de operación del Sistema Principal de Drenaje, el SACMEX cuenta con una red de estaciones pluviográficas que registran la lluvia acumulada cada 10 minutos durante una tormenta en el Valle de México.

A finales de agosto del año 2017 tuvo lugar una tormenta en la Ciudad de México que causó problemas de inundaciones severos en la zona sur y poniente de la CDMX. Dicha lluvia quedó registrada en los pluviómetros de SACMEX por lo que se puede hacer un estudio de la influencia que tuvo específicamente en la cuenca de Dolores y a partir de esta estimar un periodo de retorno asociado a la tormenta en la zona.

Con el análisis de la tormenta se busca estimar la magnitud del gasto y volumen de las avenidas provocadas por la lluvia en la cuenca de Dolores para después conocer el comportamiento hidráulico que se pudo haber presentado en el vaso de la presa.

La red de pluviómetros del SACMEX cuenta con 78 pluviómetros distribuidos a lo largo y ancho de la cuenca del Valle de México. De estos 78 pluviómetros 29 son de vital importancia para determinar la lámina de lluvia a partir de la cual se activa la fase dos del protocolo de operación del Sistema Principal de Drenaje (figura 4.2).

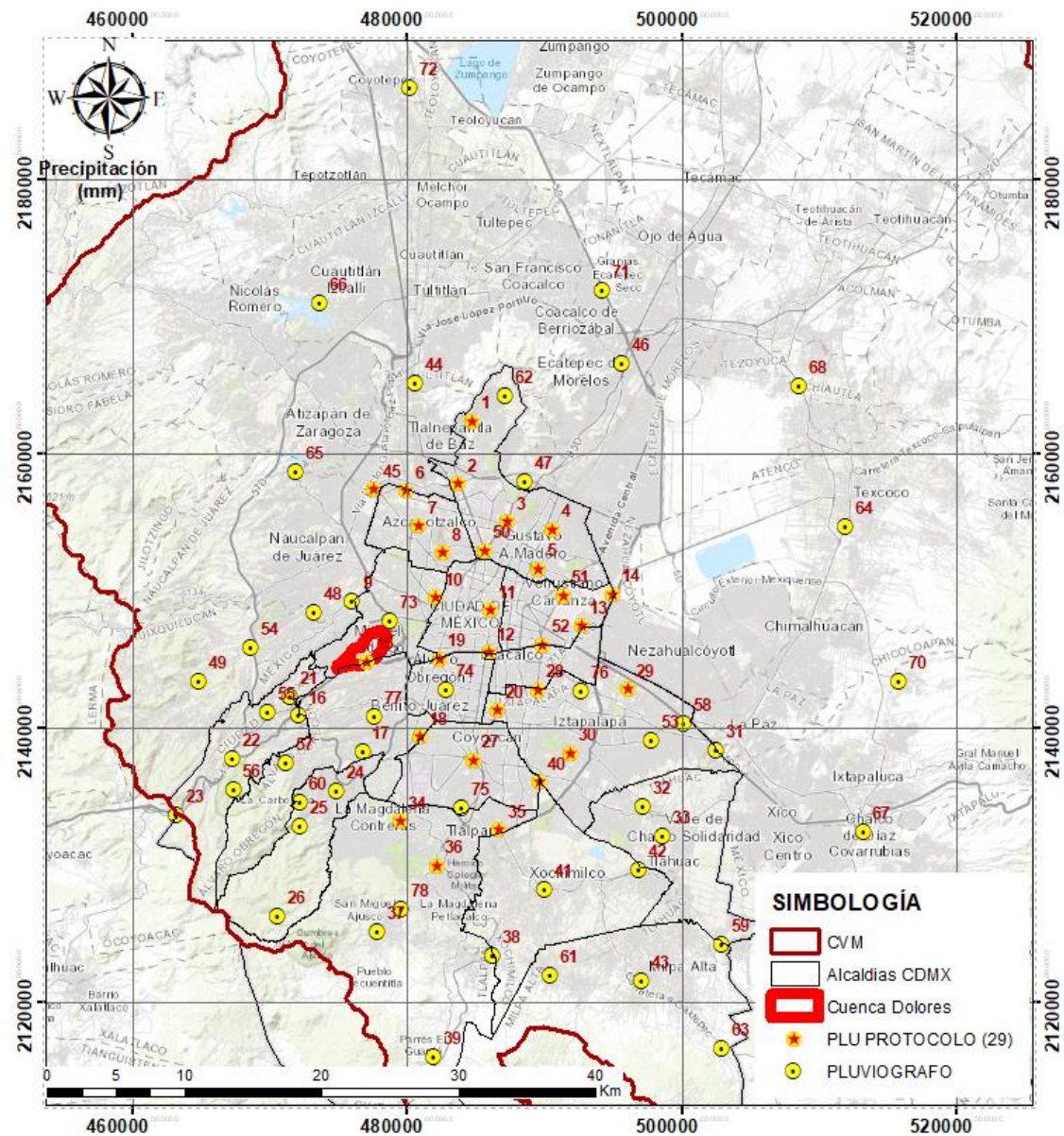


Figura 4.2 Pluviógrafos de SACMEX para el monitoreo de lluvia a cada 10 min que determina la lámina de activación de la fase 2 del protocolo de operación del Sistema Principal de Drenaje.

A partir de la información registrada en los archivos .plu a cada 10 minutos se construyeron las curvas masa para cada día de la tormenta (figura 4.3).

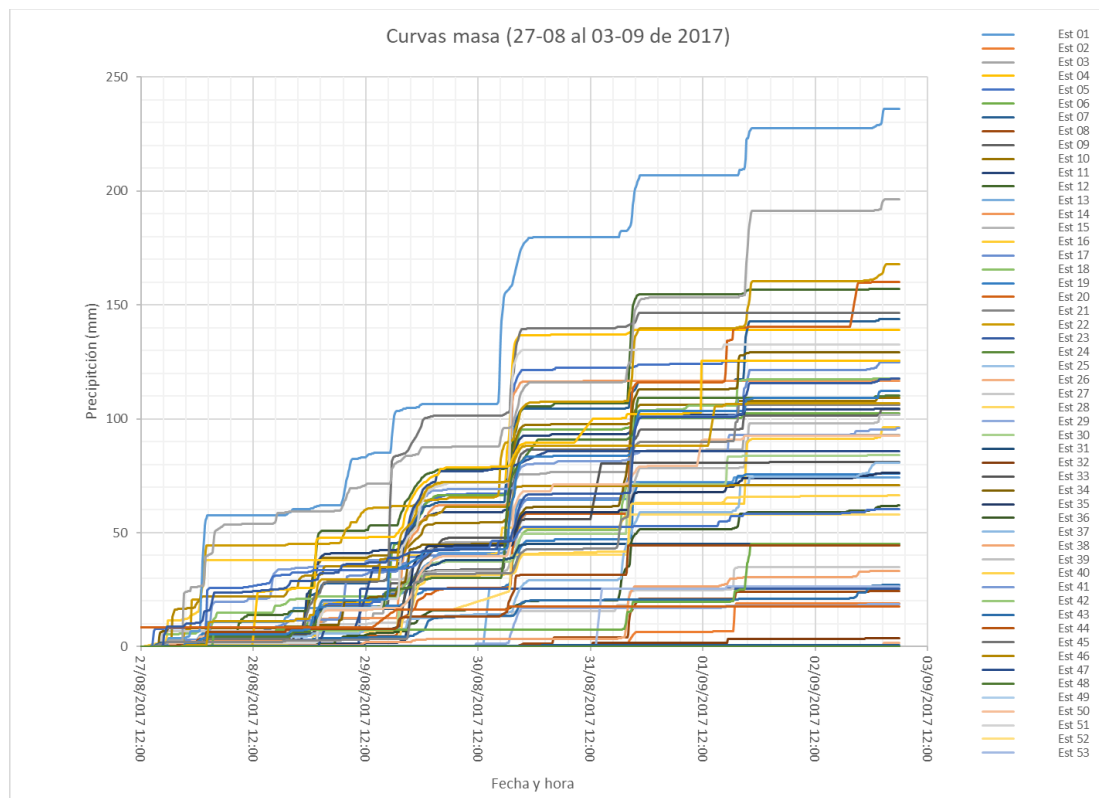


Figura 4.3 Curvas masa de los pluviógrafos del SACMEX para la tormenta del 27-08 al 03-09 de 2017.

La información obtenida fue depurada ya que, por falta de mantenimiento en las estaciones, los registros no son del todo confiables excepto en los 29 que se usan para la activación del protocolo. Se observa que cerca de la cuenca se cuenta con las estaciones 15 y 73 donde la 15 es una de las 29 utilizadas para el protocolo (figura 4.4 y 4.5).

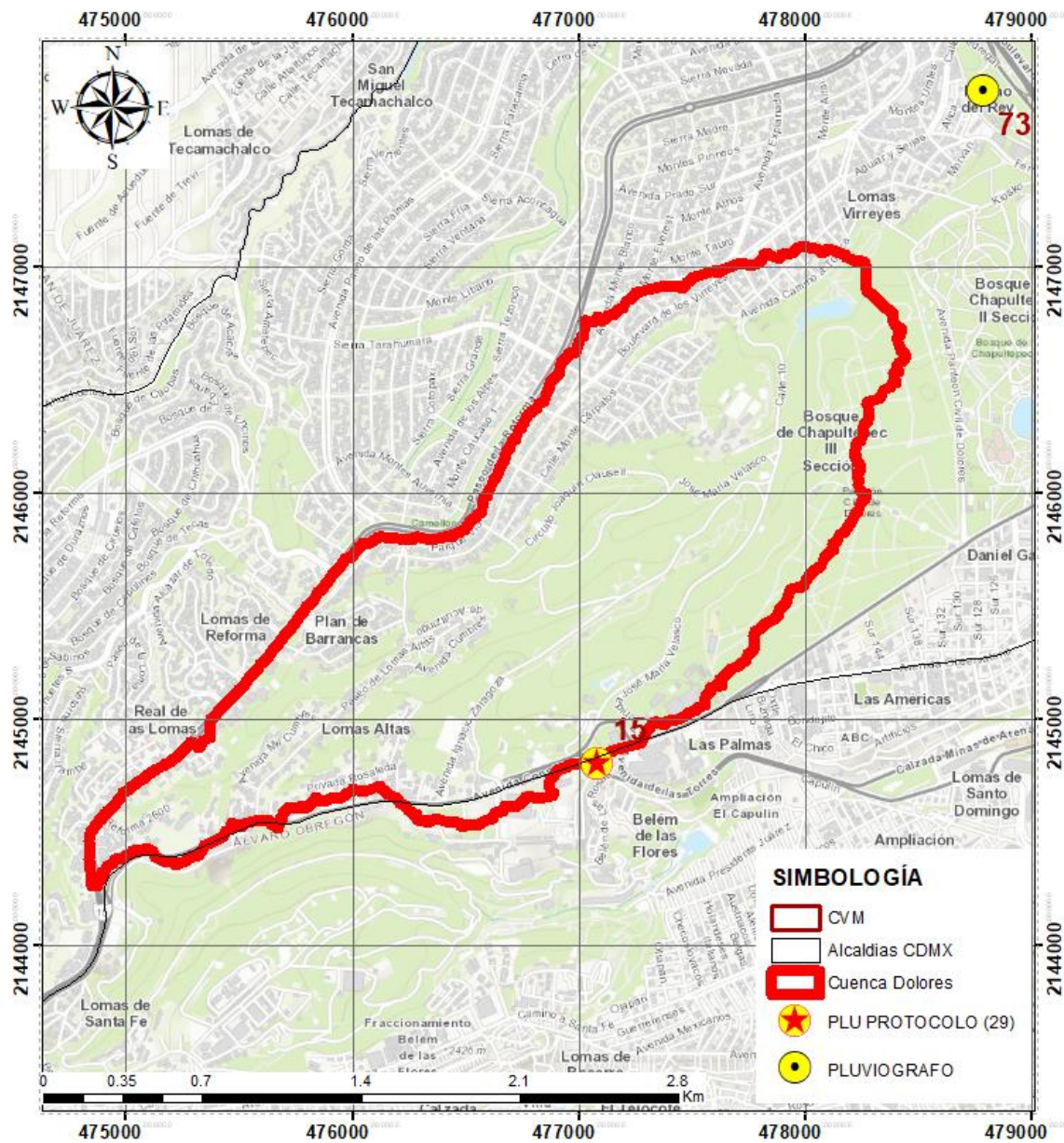


Figura 4.4 Ubicación de las estaciones 15 y 73 del SACMEX cercanas a la cuena Dolores.

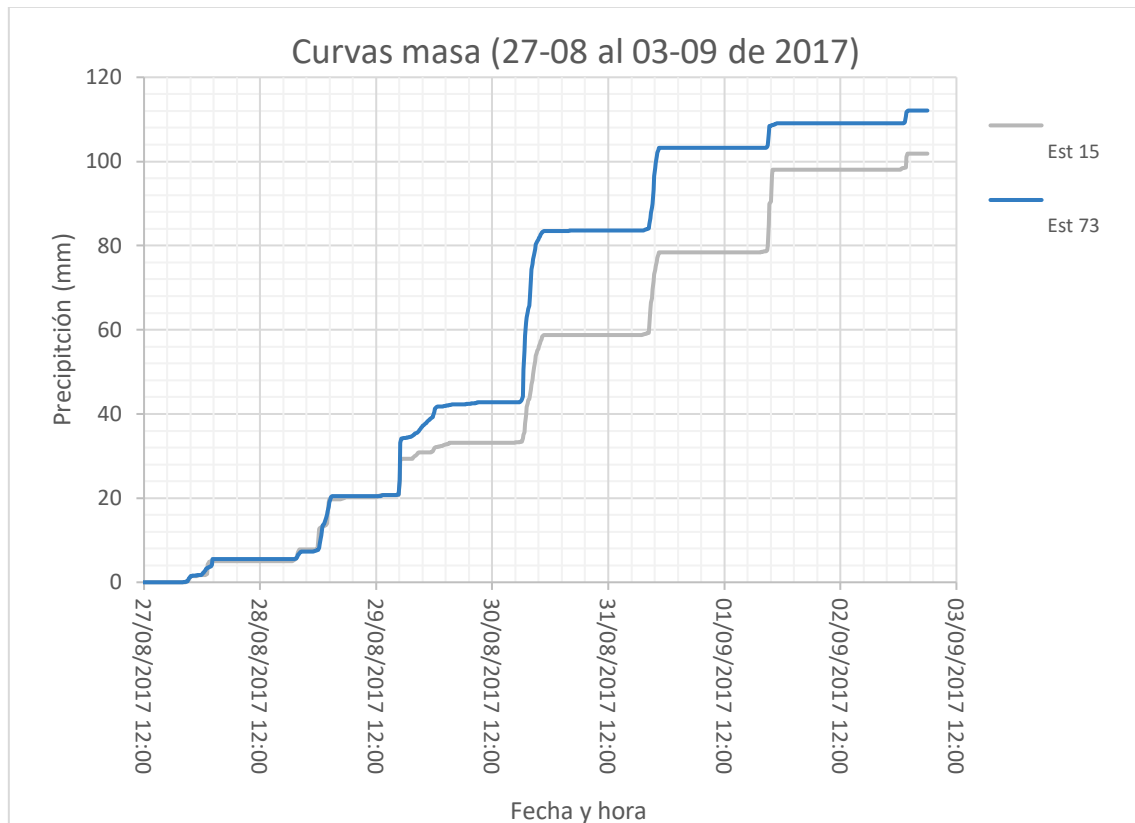


Figura 4.5 Curvas masa de las estaciones 15 y 73 del SACMEX cercanas a la cuenca Dolores.

Conociendo la ubicación de las estaciones se extrapolaron espacialmente el valor de la precipitación acumulada para construir los mapas de Isoyetas de la tormenta dentro de la cuenca para cada día de duración las figuras 4.6 y 4.7 muestran la interpolación espacial para la cuenca del Valle de México y las Isoyetas de precipitación para el día que más afectó la cuenca de Dolores.

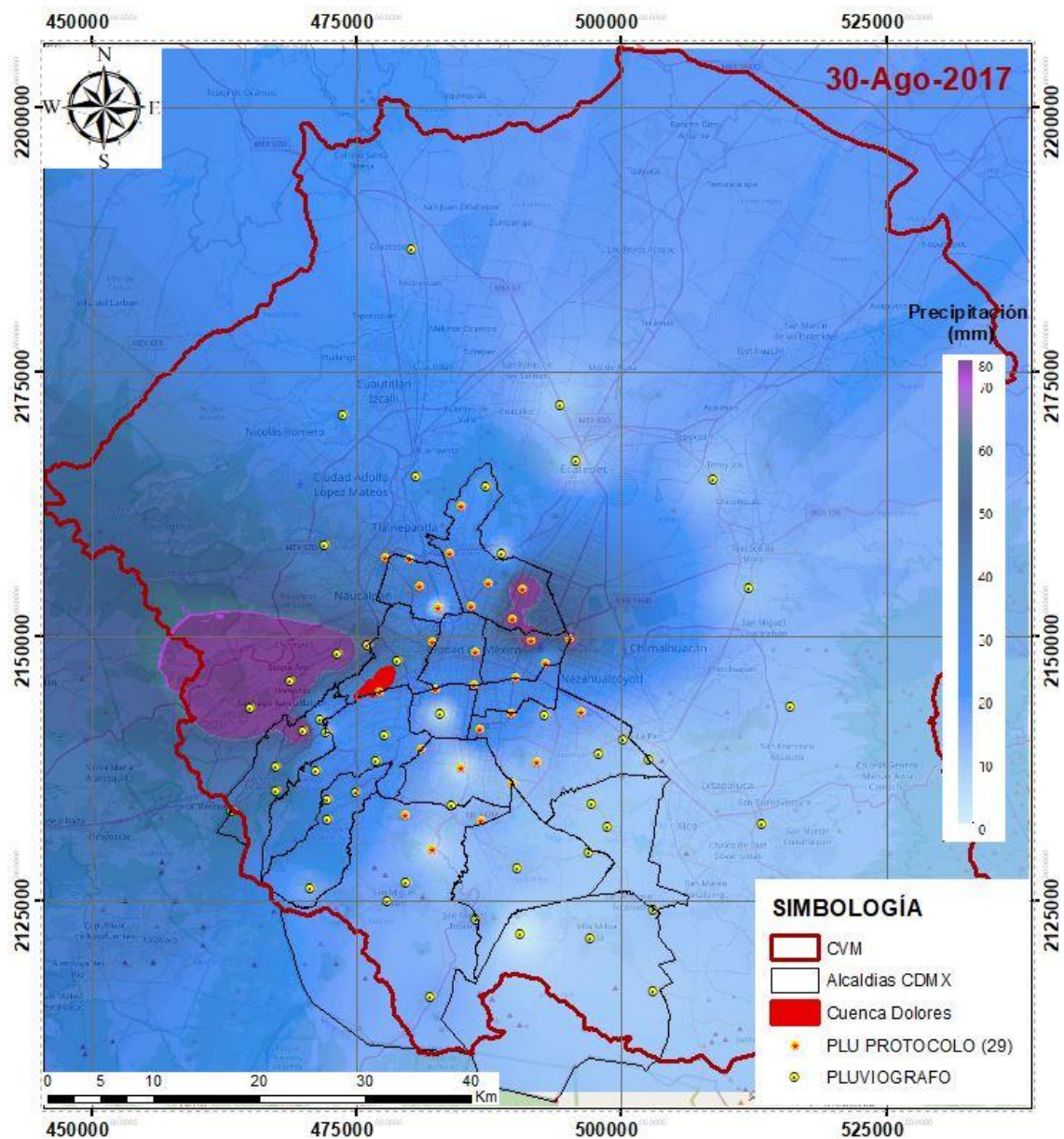


Figura 4.6 Interpolación espacial de lluvia para la cuenca del Valle de México el 30 de agosto de 2017.

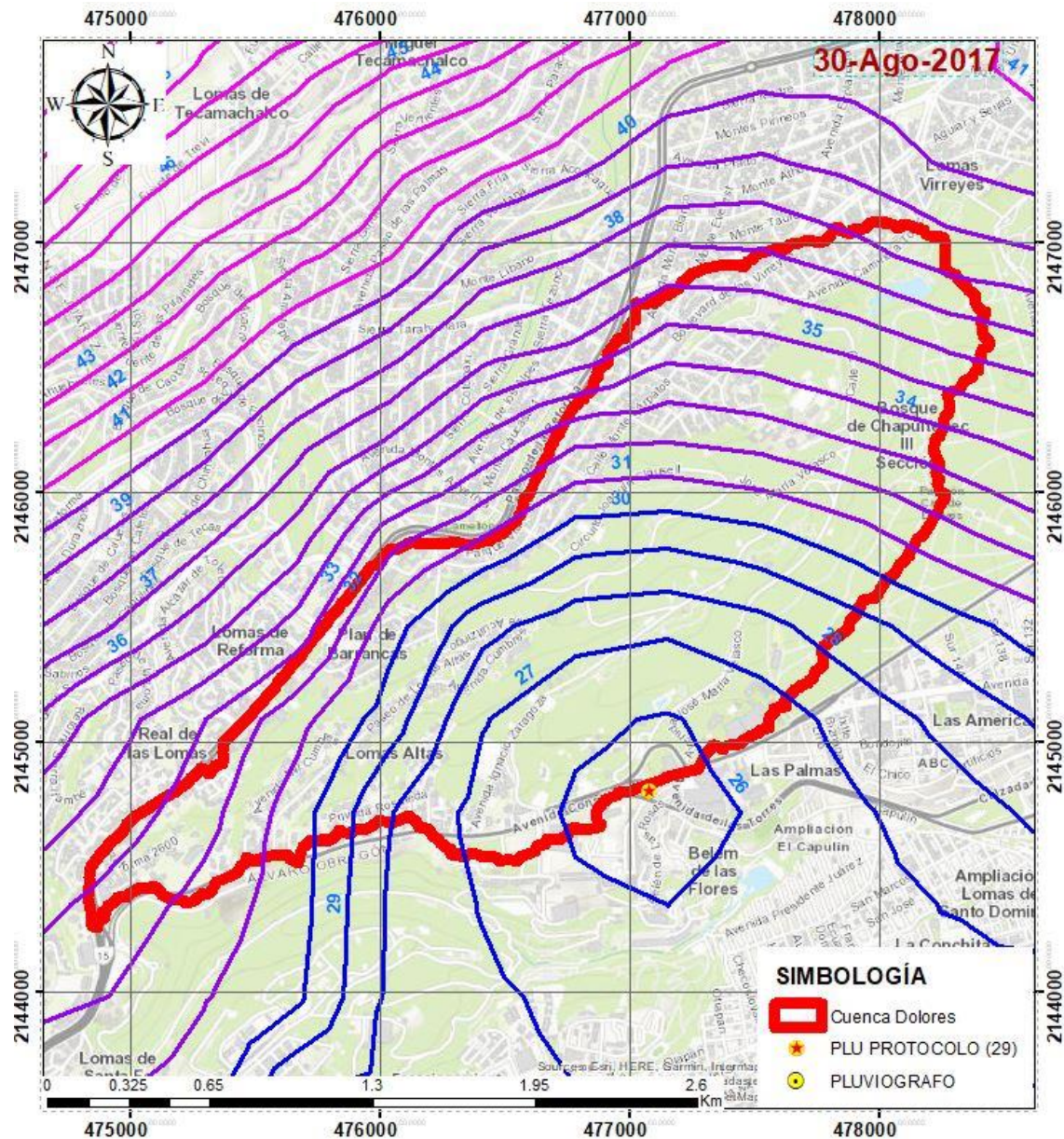


Figura 4.6 Isolineas de precipitación para el 30 de agosto de 2017 en la cuenca de Dolores.

Para conocer las avenidas resultantes en la cuenca debido a la tormenta del 2017 se obtuvieron los hietogramas para cada día en cada estación y se interpolaron a la malla de la cuenca utilizando el MPE con los parámetros ya calibrados (figura 4.8).

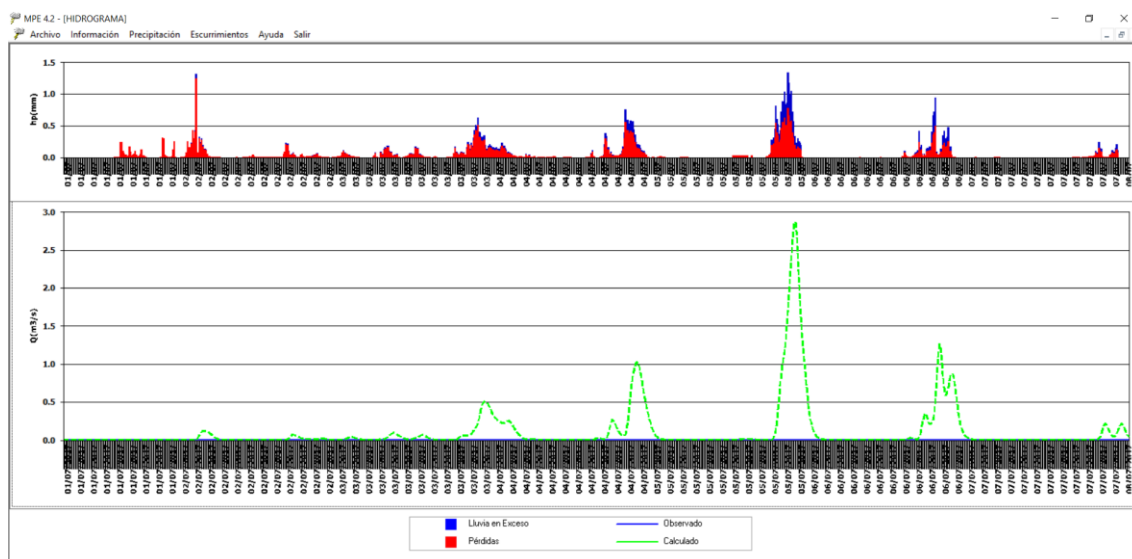


Figura 4.7 Hietograma medio y avenidas resultantes para la tormenta del 27-ago al 02-sept de 2017.

Tabla 4.1 Resumen de resultados de la tormenta de 2017 en la cuenca Dolores.

Área de cuenca:	4.294	km ²
Lluvia media:	62.57	mm
Pérdidas:	47.26	mm
Lluvia en exceso:	15.29	mm
Volumen Total Calculado:	65.66	Miles m ³
Volumen Directo Calculado:	65.66	Miles m ³
Gasto Máximo Calculado:	2.9	m ³ /s

Una vez que se conocen las avenidas estimadas a partir de la tormenta medida, se hará un tránsito de avenidas para conocer el funcionamiento del vaso durante el tren de lluvias. Con los resultados del tránsito podremos conocer el nivel de inundación al que se llegó dentro del vaso y con la experiencia de operación será posible verificar la veracidad de los parámetros calibrados del modelo y por lo tanto el de las avenidas de diseño estimadas a partir de las tormentas estadísticas.

6 DIAGNÓSTICO HIDROLÓGICO Y PROPUESTAS DE MITIGACIÓN

La cuenca dolores tiene un coeficiente de escurrimiento de 0.26 para tormentas con periodo de retorno de 5 años, el cual aumenta a 0.32 para tormentas con periodo de retorno de 100 años, estos coeficientes de escurrimiento han ido en aumento con los años debido al aumento de la mancha urbana y la pérdida de cobertura vegetal en la cuenca, lo que provoca aumento en la velocidad de los escurrimientos y esto a su vez erosión en el suelo y arrastre de sedimentos.

Los suelos que se encuentran en la cuenca, principalmente en los barrancos, son suelos de poco desarrollo, altamente susceptibles a la erosión dada su posición topográfica en las laderas de pendiente pronunciada, en temporada de lluvias los escurrimientos arrastran gran cantidad de sedimentos hacia la parte baja de la cuenca restándole capacidad de almacenamiento a la presa Dolores, por lo que se recomienda mejorar la condición hidrológica en la cuenca aumentando la cobertura forestal.

De los resultados del estudio hidrológico se observa que mejorando la condición hidrológica en la cuenca los coeficientes de escurrimiento disminuyen un 15%, lo cual también se verá reflejado en un menor arrastre de sedimentos, por el contrario si continúa disminuyendo la cobertura vegetal de la cuenca los escurrimientos podrían aumentar un 25%. Las zonas con posibilidad de mejorar su condición hídrica se muestran en la figura 5.1. En el estudio hidrodinámico se podrán analizar los niveles y velocidades obtenidos si se mejora la cobertura vegetal en estas zonas.



Figura 5.1 Zonas con posibilidad de mejorar su condición hídrica

En la siguiente tabla se presenta una comparativa de los Ce, gastos y volúmenes de escurrimiento cambiando la condición hidrológica en la cuenca.

Tabla 5.1 Comparativo de Coeficiente de escurrimiento de la cuenca, Gasto máximo y volúmenes hasta la presa Dolores modificando la condición hidrológica en la cuenca

Ce	Tr								
Condición hidrológica	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Actual	0.21	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.37
Mejorada	0.18	0.22	0.23	0.25	0.27	0.28	0.28	0.30	0.31
Mala	0.27	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.42	0.44

Qmáx (m³/s)	Tr								
Condición hidrológica	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Actual	6.27	9.71	11.98	14.33	17.49	19.80	22.14	25.50	28.77
Mejorada	5.40	8.20	10.08	12.06	14.74	16.71	18.71	21.61	24.46
Mala	8.10	12.40	15.18	18.04	21.83	24.59	27.38	31.33	35.07

Vexceso(Miles m³)	Tr								
Condición hidrológica	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Actual	37.52	57.38	70.40	83.88	101.91	115.09	128.42	147.54	165.96
Mejorada	32.24	48.81	59.85	71.36	86.87	98.23	109.76	126.40	142.66
Mala	47.77	72.13	87.90	104.08	125.48	141.11	156.87	179.22	200.22

Para el control de la velocidad de los escurrimientos y disminución del arrastre de sedimentos, se recomienda la construcción de represas de gaviones sobre los cauces principales de la cuenca que se dirigen hacia la presa Dolores.

Tomando en cuenta la topografía y la mancha urbana se ubicaron 14 zonas sobre los escurrimientos principales de la cuenca, donde se podría considerar la construcción de las represas, en la figura 5.2 y 5.3 fise muestra su ubicación. En el modelo hidrodinámico se verificarán estas zonas y se determinarán los niveles y velocidades alcanzadas en los sitios, posteriormente con la visita a campo se corroborará su factibilidad de construcción.

UBICACIÓN DE REPRESAS DE GAVIONES

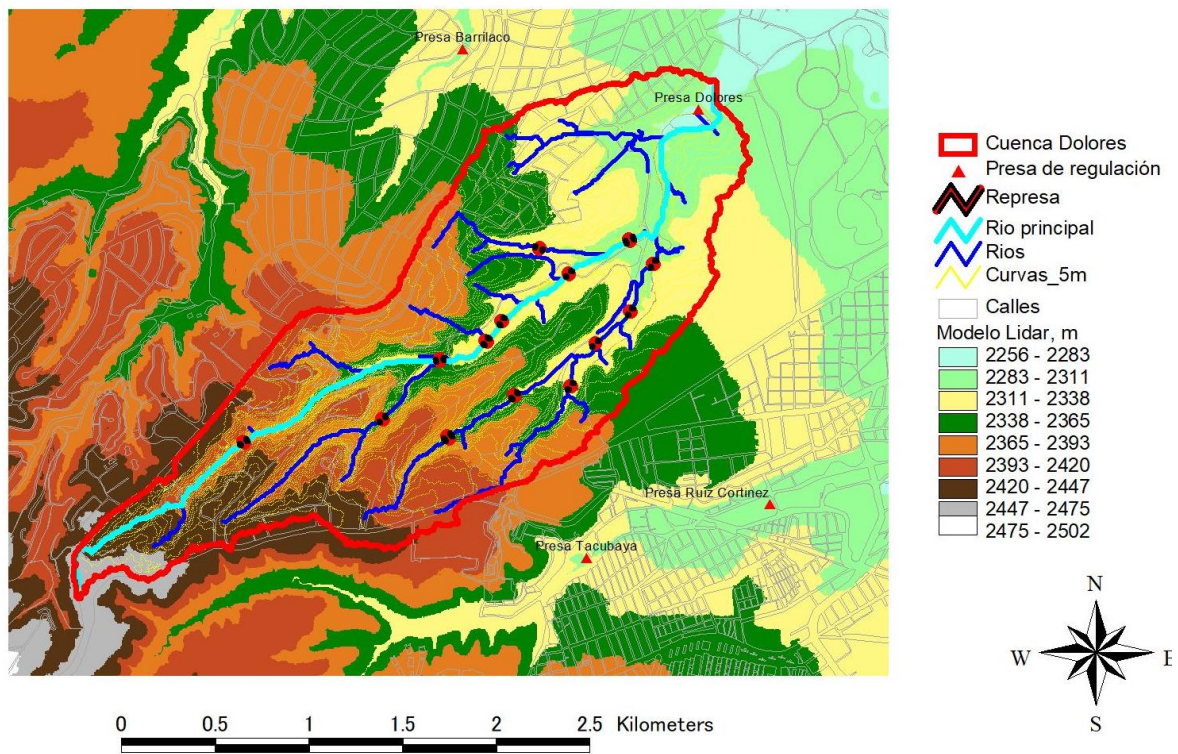


Figura 5.2. Ubicación de represas de gaviones para control de escurrimientos

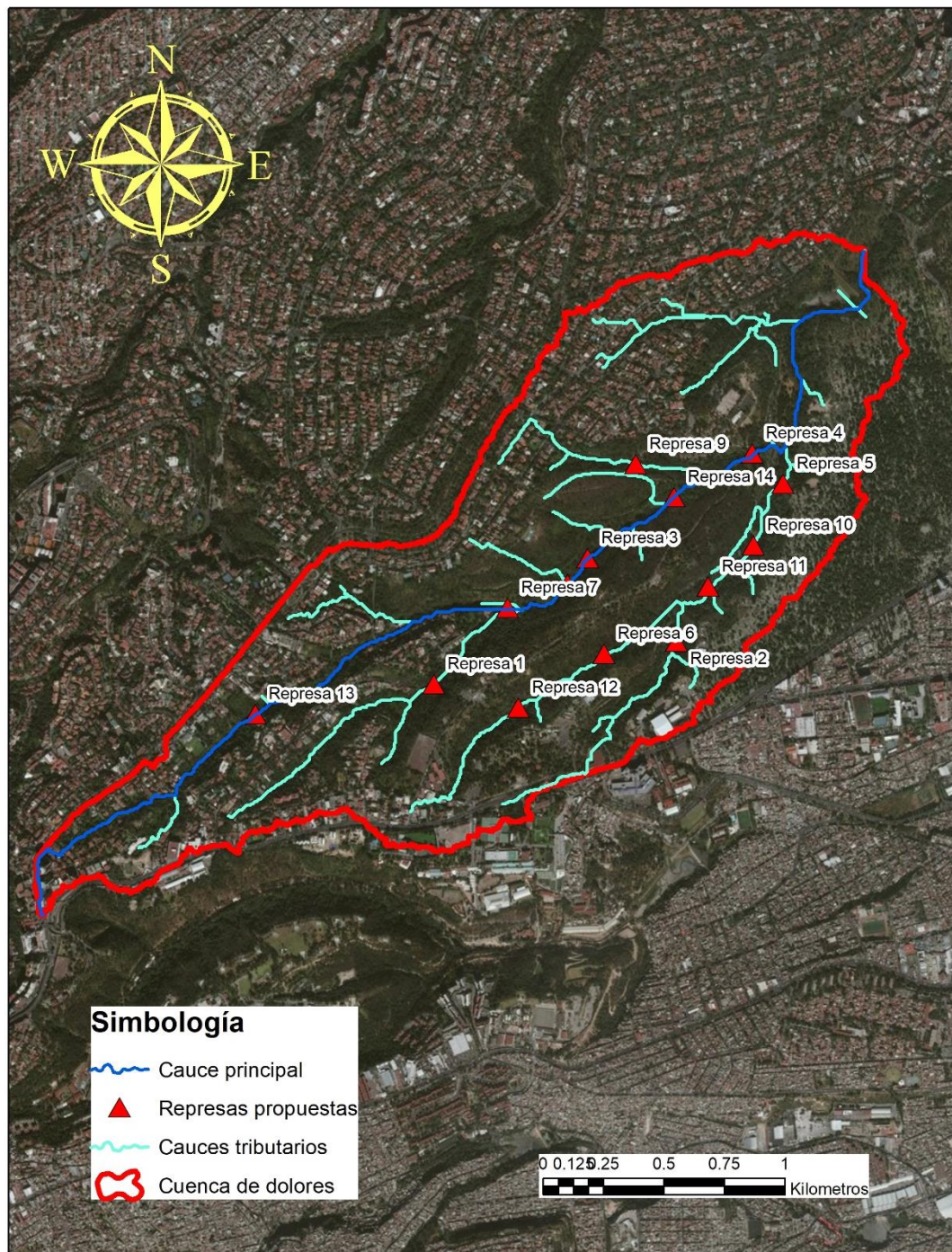


Figura 5.2. Ubicación de propuestas de represas de gaviones para control de escurrimientos.

La propuesta de represas estará conformada por una serie de gaviones laterales, los cuales están conformados por una estructura ensamblada por un armado de roca acomodada, confinada por una malla de acero galvanizado. Se ubican en las márgenes del cauce principal, donde se tengan identificadas confluencias de escurrimientos de primer orden, con el objetivo de mitigar los procesos erosivos que ocurren en talud, por la bajada de torrentes laterales de agua. Esta estructura permitirá el establecimiento de una cobertura vegetal, lo cual propiciará su rápida integración al contexto paisajístico de la barranca, como se observa en la figura 5.3.



Figura 5.3. Arreglo de un gavión lateral.

En la tabla 5.2, se muestran las coordenadas UTM, de los sitios donde se proponen desplantar las obras de mitigación (gaviones laterales).

Tabla 5.2 Ubicación en coordenadas UTM de propuestas de represas.

Represa	X	Y
1	476480.67	2145218.3
2	477484.75	2145394.1
3	477116.86	2145740.3
4	477798.08	2146174.5
5	477925.12	2146047.6
6	477184.66	2145344.3
7	476786.11	2145534.1
8	477033.58	2145632.6
9	477314.97	2146129.9
10	477803.08	2145792.9
11	477615.53	2145621.7
12	476830.72	2145119.6
13	475740.82	2145094
14	477474.54	2145992.9

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 1, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 40 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda el mismo arreglo. El perfil topográfico de la sección transversal se observa en la Figura 5.4.

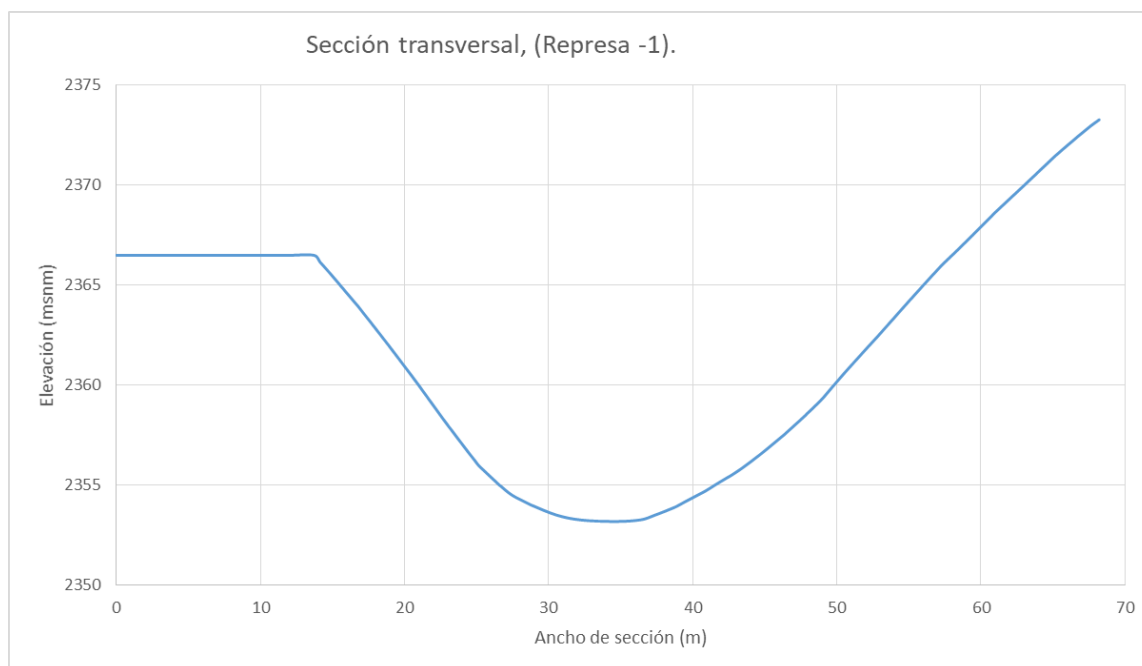


Figura 5.4. Sección transversal del sitio de propuesta, para Represa-1.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 2, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 40 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda 15 gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se visualiza en la Figura 5.5.

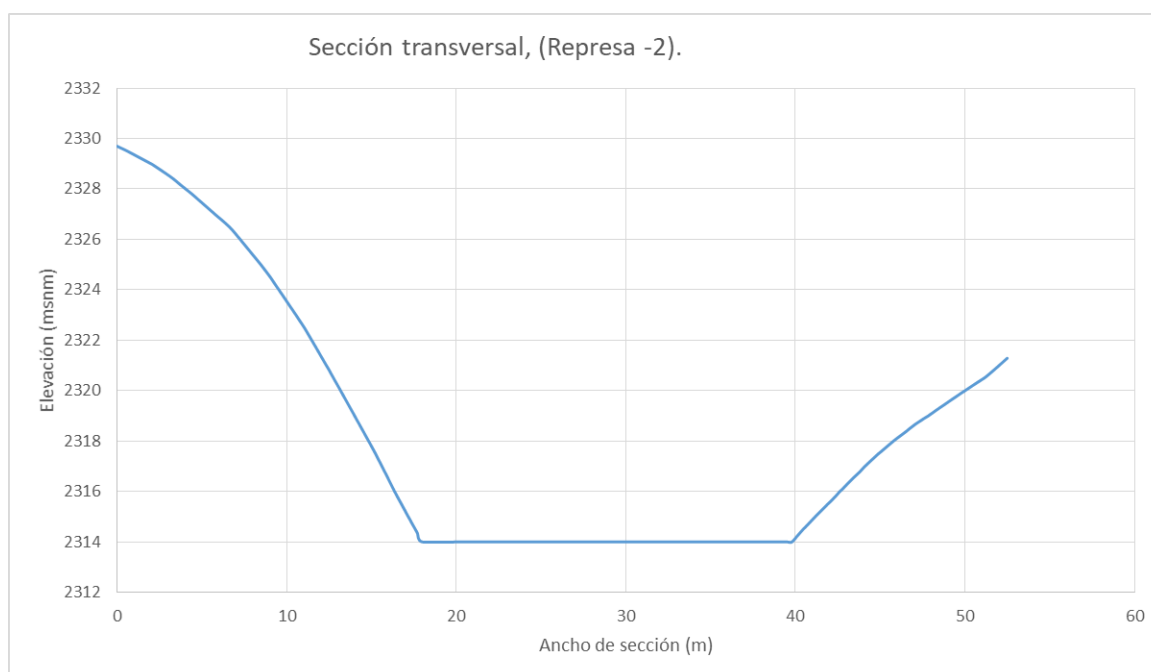


Figura 5.5. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-2.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 3, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 40 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 26 gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se aprecia en la Figura 5.6.

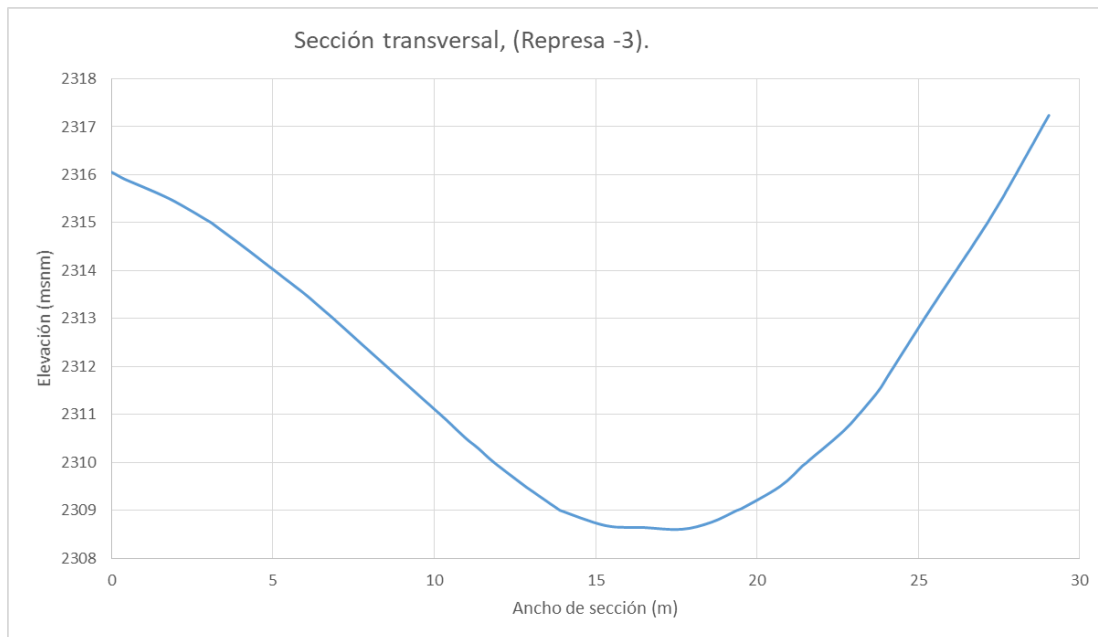


Figura 5.6. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-3.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 4, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 26 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 40 gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se aprecia en la Figura 5.7.

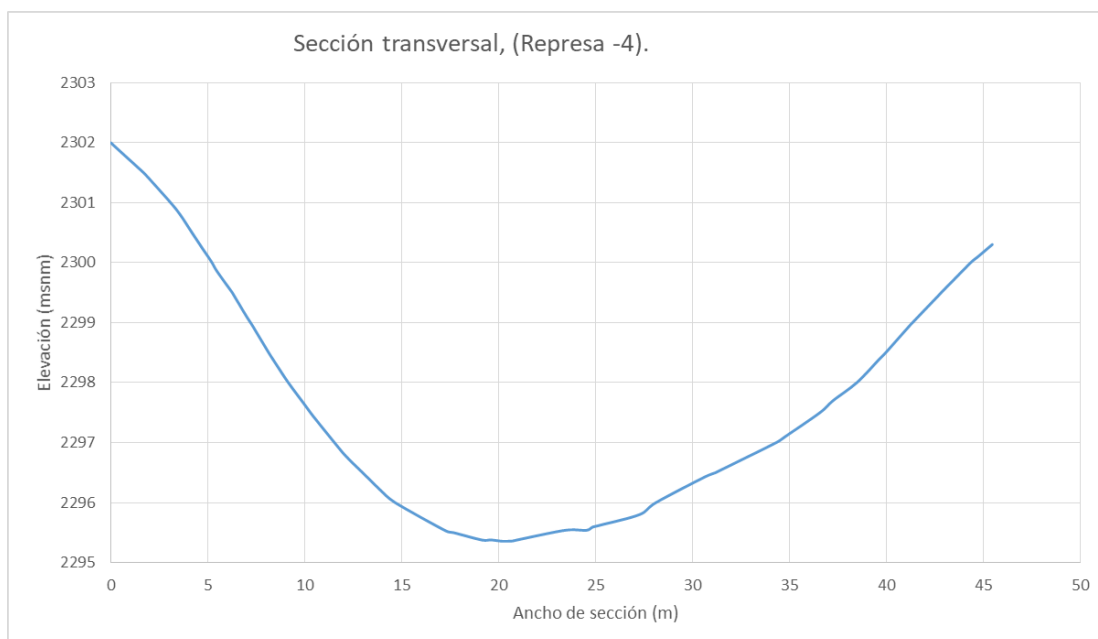


Figura 5.7. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-4.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 5, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 15 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 15 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se observa en la Figura 5.8.

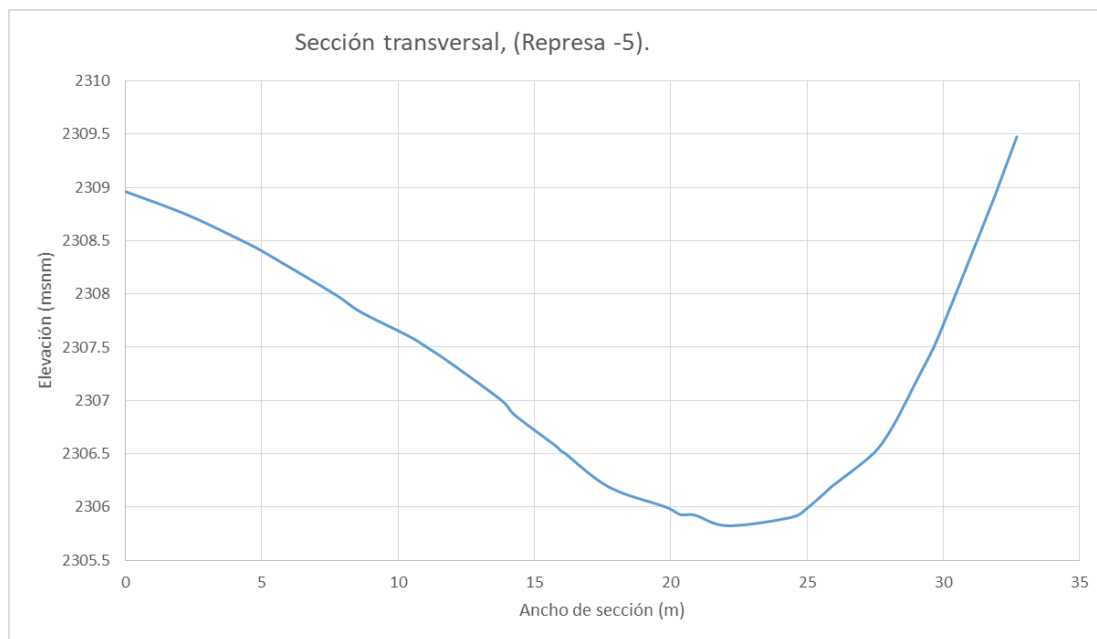


Figura 5.8. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-5.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 6, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 15 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 15 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se aprecia en la Figura 5.9.

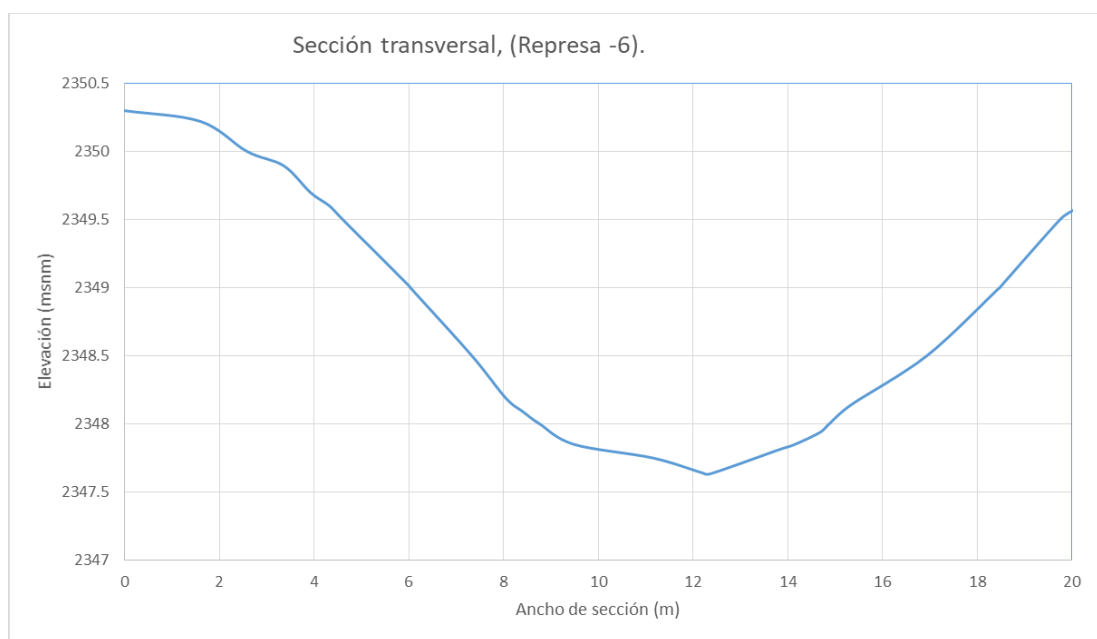


Figura 5.9. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-6.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 7, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 26 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 26 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se observa en la Figura 6.0.

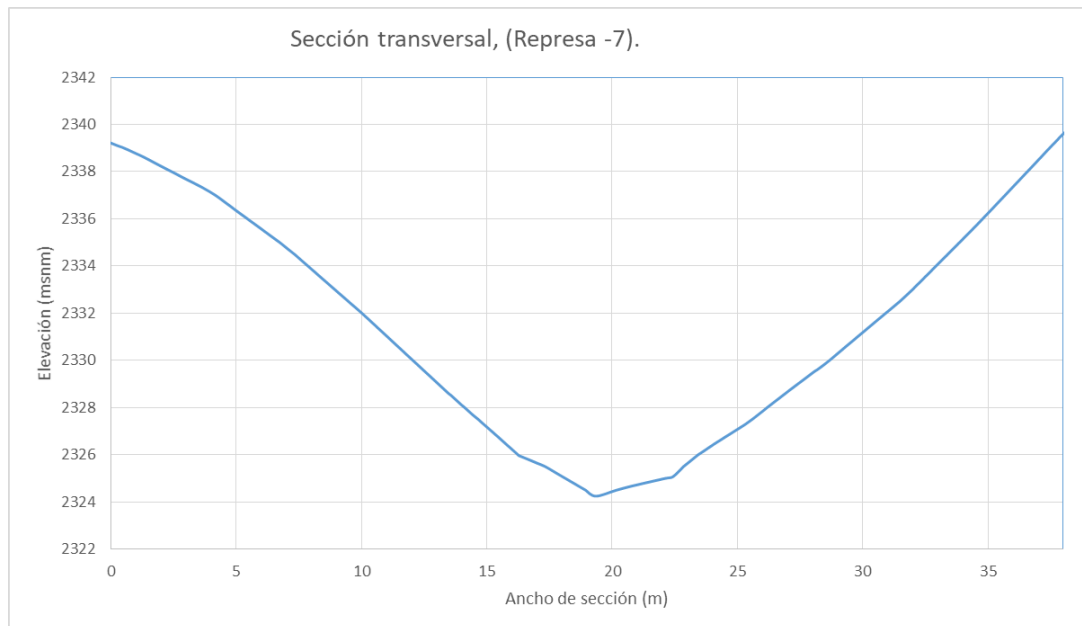


Figura 6.0. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-7.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 8, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 26 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 26 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se visualiza en la Figura 6.1.

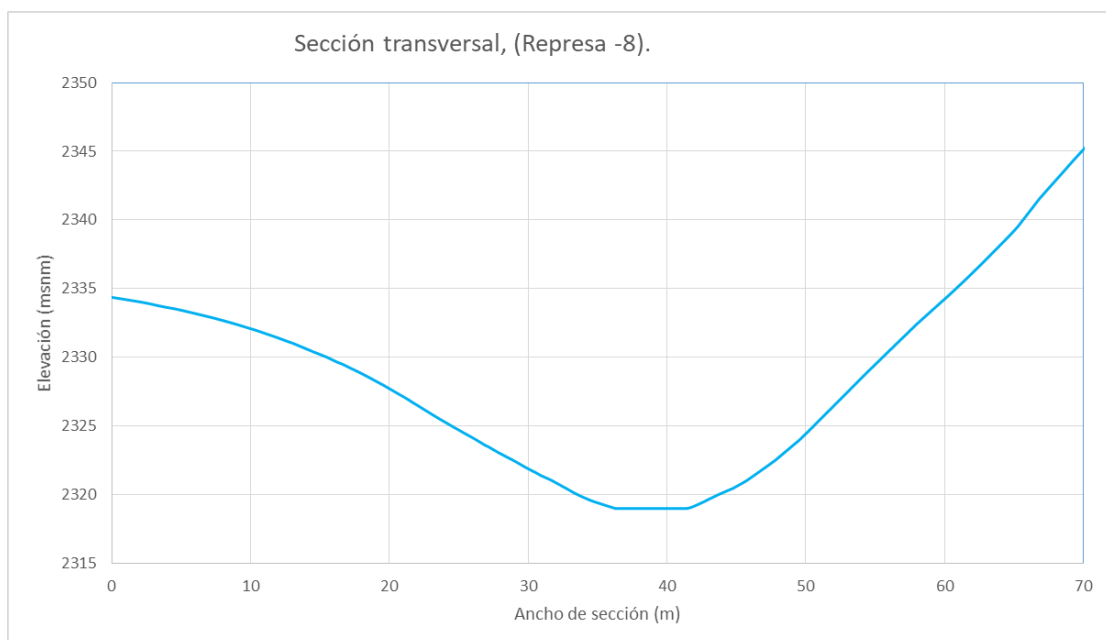


Figura 6.1. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-7.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 9, estará conformada de la siguiente manera: para la margen derecha 15 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 15 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se visualiza en la Figura 6.2.

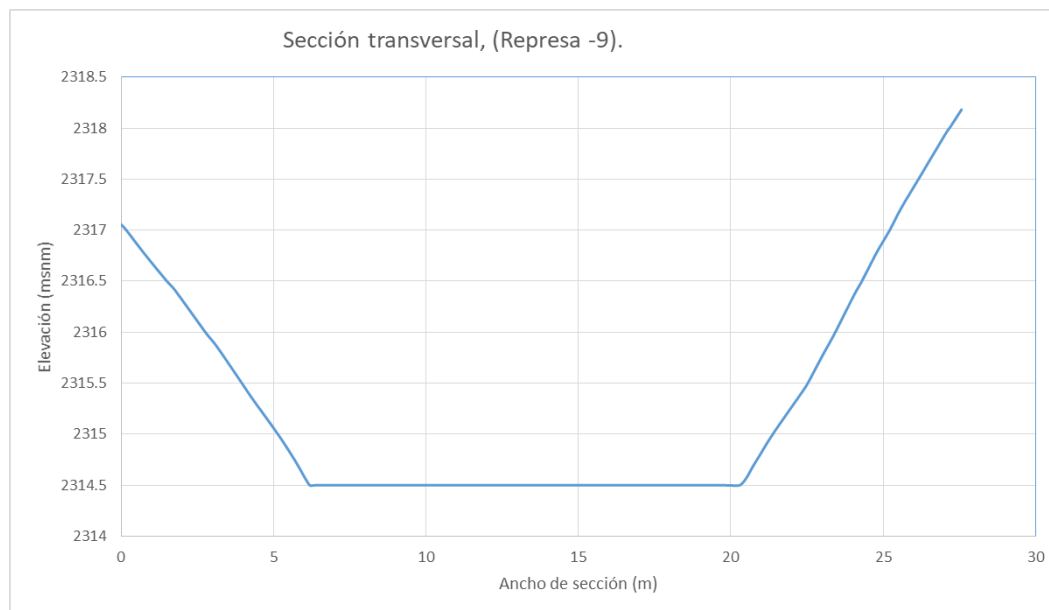


Figura 6.2. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-9.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 10, estará constituida de la siguiente manera: para la margen derecha 26 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 15 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se aprecia en la Figura 6.3.

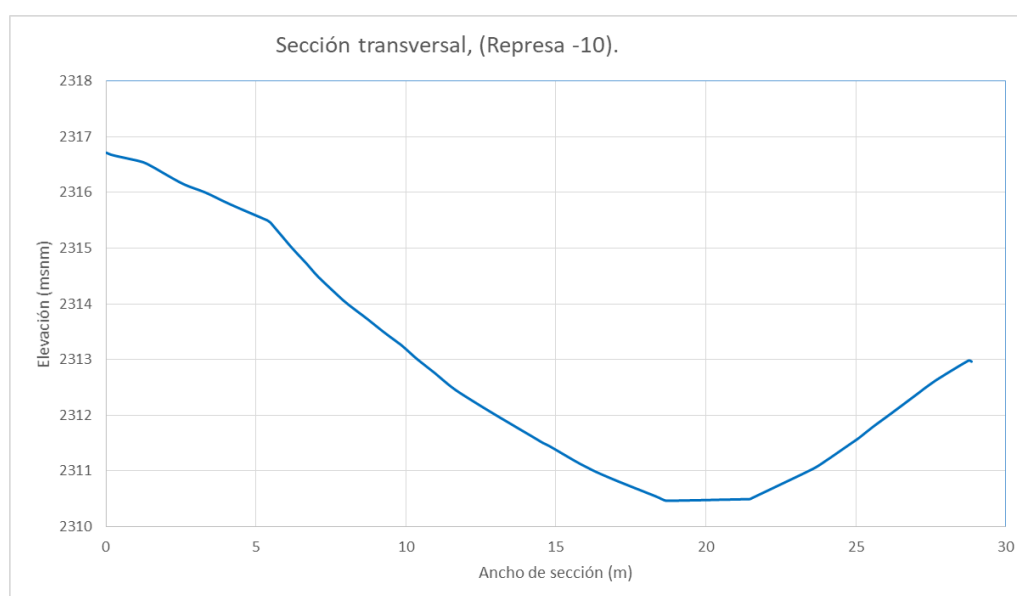


Figura 6.3. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-10.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 11, estará constituida de la siguiente manera: para la margen derecha 15 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 7 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se aprecia en la Figura 6.4.

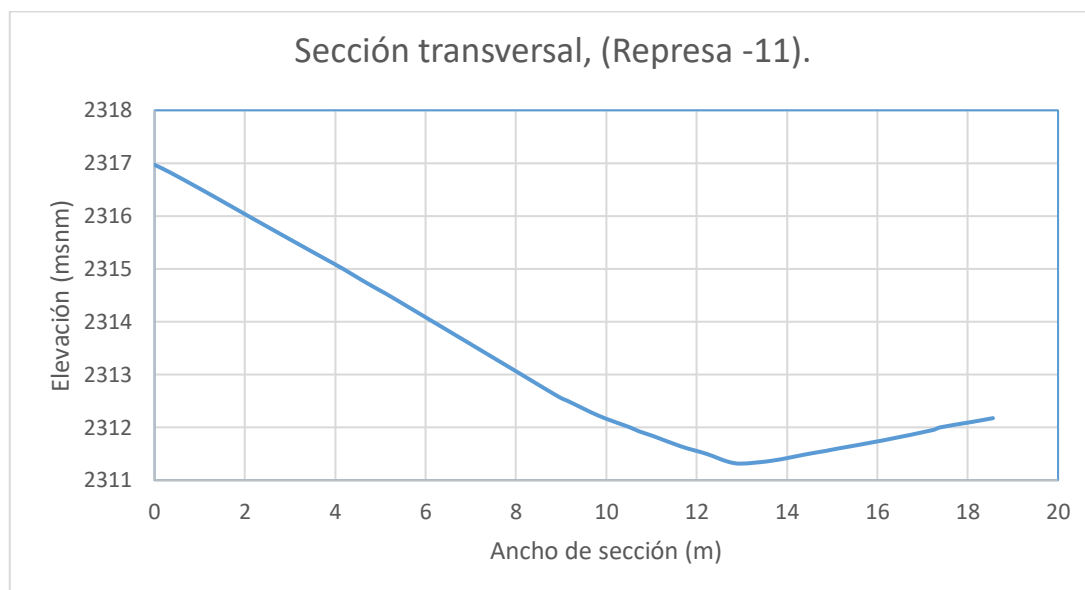


Figura 6.4. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-11.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 12, estará constituida de la siguiente manera: para la margen derecha 7 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 15 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se observa en la Figura 6.5.

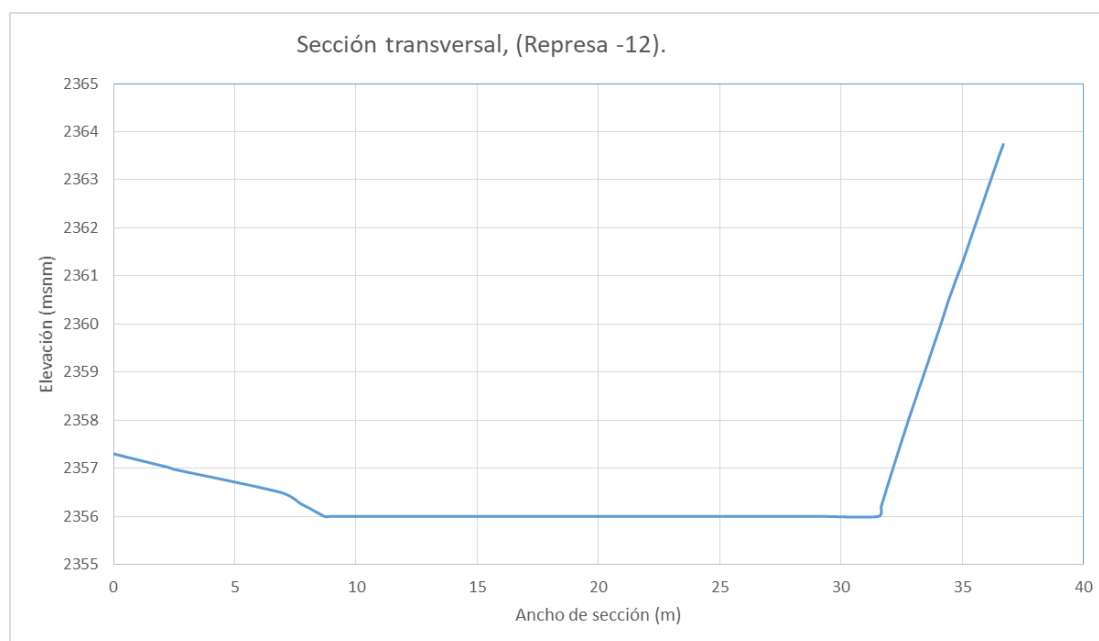


Figura 6.5. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-12.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 26, estará constituida de la siguiente manera: para la margen derecha 7 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 26 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se aprecia en la Figura 6.5.

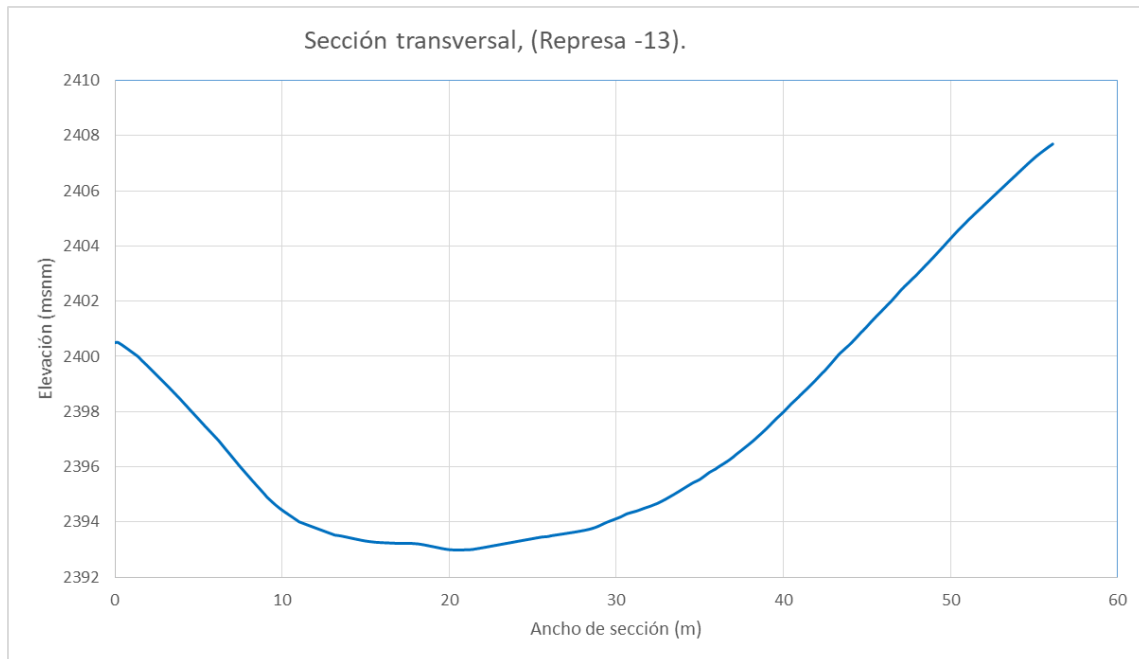


Figura 6.6. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-13.

La propuesta de arreglo para el gavión lateral de la represa 26, estará constituida de la siguiente manera: para la margen derecha 7 gaviones de 1 m x 1 m x 2 m y en la margen izquierda por 26 piezas de gaviones de la misma dimensión. El perfil topográfico de la sección transversal se aprecia en la Figura 6.7.

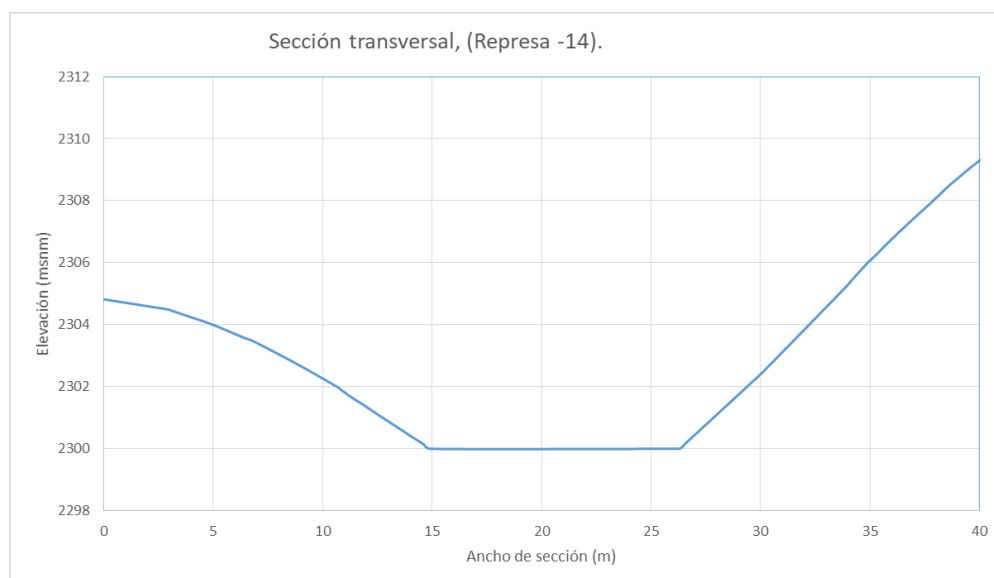


Figura 6.7. Sección transversal del sitio de propuesta, de Represa-14.

7 ESTIMACIÓN DEL CAUDAL DE AGUAS NEGRAS ASOCIADO A LAS DESCARGAS.

Dentro de la cuenca en estudio se tienen localizadas 152 descargas de aguas residuales como se muestran en la figura 6.8. La tabla 6.1 muestra la georreferenciación en coordenadas UTM_N14 de las descargas, así como, una breve descripción de lo visto en campo.

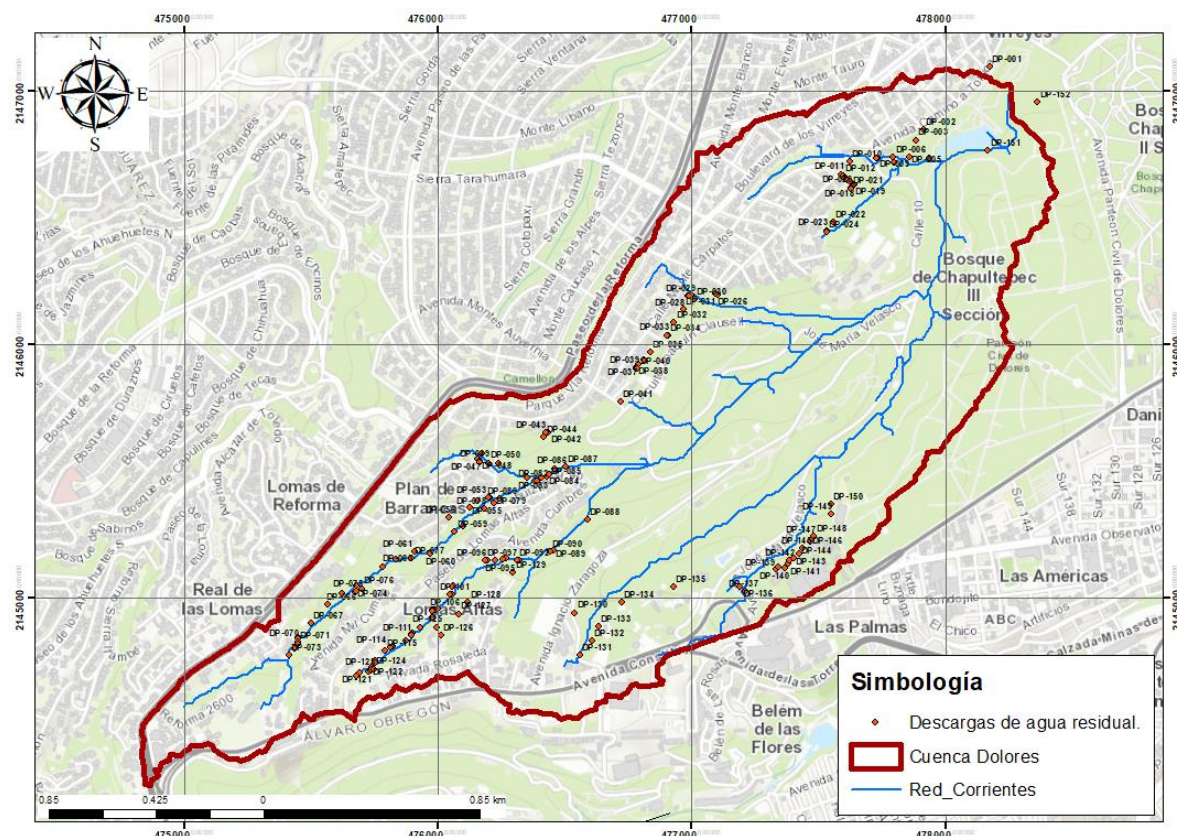


Figura 6.8 Localización de las descargas de agua residual a la cuenca Dolores

Tabla 6.1 Descripción de las descargas de agua residual a la cuenca Dolores

Nombre	X	Y	Descripción
DP-001	478176.43	2147092.67	Tubo de asbesto de 30 cm de diámetro, que se ubica a un costado de la carretera, en la parte del terraplén que se sostiene de un muro de piedra.
DP-002	477915.00	2146846.00	Obra de drenaje con tubería de 60 cm de diámetro, soportada por un muro de piedra, perteneciente a la Avenida Toluca.
DP-003	477884.00	2146804.00	Obra de drenaje azolvada, con descarga directa a la barranca, con diámetro de 60 cm, y soportada por un muro de piedra.
DP-004	477938.00	2146733.00	Tubo de asbesto de 1.30 m de diámetro, con descarga directa hacia la barranca, el cual a su salida tiene una cuneta de concreto, está cubierto por la vegetación.
DP-005	477858.00	2146737.00	Tubo de concreto azolvado, de aproximadamente 90 cm de diámetro, con

Nombre	X	Y	Descripción
			descarga directa hacia la barranca, y cubierto de vegetación.
DP-006	477796.00	2146737.00	Descarga obstruida con tapa de acero de 1.20 m, de diámetro, frente a esta hay un paso con tapa de concreto. Los muros del canal de conducción son de piedra.
DP-007	477798.61	2146716.56	Descarga revestida de concreto de 1.25 m de diámetro, con flujo perceptible, adosada con muro de piedra.
DP-008	477732.00	2146733.00	Tubo de asbesto con flujo perceptible, de 1.065 m, de diámetro, adosada con muro de piedra, con un canal de flujo revestido de concreto.
DP-009	477731.00	2146735.00	Tubo de asbesto de 0.30 m, de diámetro, con flujo perceptible, desemboca en canal revestido de concreto, mismo que se dirige hacia la barranca.
DP-010	477624.00	2146720.00	Registro de concreto de 90 cm, de ancho, con tubo de salida de 6" de diámetro, es de PVC y tiene flujo perceptible.
DP-011	477590.06	2146669.22	Descarga a paño de construcción, de forma cuadrada, hecha de concreto en el muro de mampostería de piedra, con una longitud de 1.30 m de ancho y profundidad azolvada.
DP-012	477598.25	2146662.09	Registro de concreto a espaldas de la construcción, de un metro de ancho con tubo de descarga de PVC, de 6" de diámetro.
DP-013	477605.30	2146656.51	Registro de concreto a espaldas de la construcción, de 1.45 m de largo, con tubo de descarga de PVC, de 6" de diámetro.
DP-014	477611.72	2146651.21	Registro de tabique rojo con tapa de concreto, a espaldas de la construcción, con tubo de PVC de 6" de diámetro, y una descarga adicional, cuadrada de aproximadamente 0.40 x 0.40 m.
DP-015	477618.57	2146646.25	Doble registro de concreto a espaldas de la construcción, del cual hay un tubo atravesado de PVC de 6" de diámetro, y el fondo se percibe con agua.
DP-016	477625.60	2146640.54	Registro de concreto a espaldas de la construcción, de 96 cm de diámetro, no se pudo abrir para determinar el tubo de descarga.
DP-017	477642.94	2146629.91	Registro de concreto a espaldas de la construcción, con tubo de PVC de 6"
DP-018	477637.71	2146624.22	Registro de concreto a espaldas de la construcción, con tubo de PVC de 6" de

Nombre	X	Y	Descripción
			diámetro que atraviesa por la parte intermedia del registro, y un tubo de asbesto al fondo con flujo perceptible.
DP-019	477634.95	2146620.22	Registro de concreto a espaldas de la construcción, con tubo de PVC de 6" diámetro al fondo del mismo, y un tubo de concreto de 10" de diámetro al centro de éste.
DP-020	477631.00	2146617.00	Registro de concreto a espaldas de la construcción, con tubo de PVC de 6" diámetro al fondo del mismo, y un tubo de concreto de aproximadamente 10" de diámetro al centro de éste.
DP-021	477627.86	2146613.24	Registro de concreto a espaldas de la construcción, con tubo de PVC de 6" diámetro
DP-022	477559.37	2146482.17	Tubo de asbesto de aproximadamente 1.20 m de diámetro, ubicado a paño del muro de mampostería de piedra, en los límites de la construcción.
DP-023	477533.00	2146448.00	Tubo de asbesto de aproximadamente 10" de diámetro, ubicado a paño de muro de mampostería de piedra, en los límites de la construcción.
DP-024	477533.00	2146442.00	Tubo de PVC de 4" de diámetro, que se desplanta a través del muro de mampostería de piedra, para descargar con flujo perceptible hacia la barranca.
DP-025	477104.37	2146195.90	Tubo de PVC de 3" de diámetro, sujeto a la pared del muro de piedra, hasta desplantar a nivel de piso y perderse en el terreno.
DP-026	477094.76	2146197.90	Tubo de concreto de 45 cm de diámetro interior, ubicado en el límite de la propiedad, semi obstruido por la maleza.
DP-027	476997.64	2146193.71	Tubo de PVC de 8" de diámetro, con caída directa a la barranca,
DP-028	476985.60	2146192.30	Cubo de tabique con losa de concreto, de aproximadamente un metro de ancho por un metro de alto, con descarga cercana al límite de la propiedad.
DP-029	476989.39	2146189.86	Tubo de PVC de 4" de diámetro, pintado de color negro, con descarga volada en los límites de la propiedad, se ubica en el desplante del muro de piedra.
DP-030	477012.80	2146178.10	Tubo de PVC de 3" de diámetro, conectado a tinacos Rotoplas, a nivel de piso, en los límites de propiedad. Se percibe un tubo de salida hacia la barranca, que se entierra en el terreno.

Nombre	X	Y	Descripción
DP-031	476968.37	2146137.88	Tubos de PVC de 6" de diámetro, con descarga volada hacia la barranca, sale del muro de concreto que delimita la propiedad.
DP-032	476931.00	2146086.00	Colector de concreto de 75 cm de diámetro, de gran profundidad, y se localiza a espaldas de la construcción, casi en los límites de la propiedad.
DP-033	476908.85	2146036.03	Tubo de PVC, de 6" de diámetro, con salida en los límites de la propiedad, hacia la zona del bosque, el tubo está roto, y se entierra en el piso, a unos centímetros del muro de donde sale.
DP-034	476905.16	2146032.13	Tubo de PVC, de 8" de diámetro, con salida en los límites de la propiedad, hacia la zona del bosque, se entierra en el piso, a unos centímetros del muro de donde sale.
DP-035	476837.42	2145968.87	Tubo de PVC de 6" de diámetro, con descarga a paño de muro de concreto, en los límites de la propiedad.
DP-036	476811.13	2145939.46	Tubo de PVC de 10" de diámetro, con descarga hacia un registro de concreto en los límites de propiedad.
DP-037	476792.89	2145921.31	Tubo de asbesto de 8" de diámetro, desplantado a nivel de piso que sale de la propiedad, delimitada por un muro de piedra.
DP-038	476781.29	2145908.30	ubo de PVC de 4" de diámetro con caída a nivel de piso, fijado
DP-039	476784.65	2145905.98	Agujero de 60 cm de diámetro que se ubica en el límite de propiedad, al fondo del cual se ubica una canaleta.
DP-040	476789.02	2145903.01	Tubo de PVC de 4" de diámetro, con descarga en límite de propiedad, está pegado al muro con un codo al final que desemboca hacia el parque.
DP-041	476720.79	2145771.72	3 tubos de PVC de 4" de diámetro, que se desprenden casi a nivel de piso en el límite de la propiedad, tienen una deflexión mediante un codo, para perderse en el terreno.
DP-042	476436.91	2145653.08	Tubo de PVC de 3" de diámetro por dentro del límite de la propiedad, pero con
DP-043	476428.32	2145651.05	Tubo de PVC de 3" de diámetro por dentro del límite de la propiedad, pero con
DP-044	476419.42	2145635.03	Tubo de PVC de 6" de diámetro, en los límites de la propiedad, del cual no se percibe la descarga, por el exceso de vegetación.

Nombre	X	Y	Descripción
DP-045	476238.00	2145532.00	Tubo de PVC de 4" de diámetro, color verde, proveniente de la carretera, "cumbres de Acultzingo, que descarga hacia la barranca.
DP-046	476175.82	2145568.21	
DP-047	476158.00	2145547.00	
DP-048	476163.81	2145539.57	
DP-049	476167.24	2145535.84	
DP-050	476198.68	2145531.50	Descarga directa a la barranca, con gran afluente, la cual se ubica en una zona inaccesible de una cañada, con poca visibilidad por la vegetación.
DP-051	476352.96	2145472.45	Tubo de PVC de 6" de diámetro que se desprende de los límites de la propiedad, y se propaga por los muros que delimitan ésta misma, hasta descargar en la barranca.
DP-052	476204.00	2145394.00	Descarga con gran afluente, que corre por las cañadas de la barranca, de la cual no se percibe el tubo de descarga.
DP-053	476201.00	2145395.00	Tubo de aproximadamente 50 cm de diámetro, con descarga visible y abundante, que se encuentra en una zona inaccesible.
DP-054	476158.45	2145383.55	Escurrecimiento superficial y continuo, que cae de la parte alta de los muros de la barranca, de donde se percibe el límite de la propiedad, sin detectar el tubo que lo conduce.
DP-055	476126.09	2145356.07	Colector cilíndrico, colocado en los linderos del predio, a este descargan tuberías de PVC de 6" provenientes de los extremos de la construcción.
DP-056	476045.41	2145315.93	Tubo de asbesto de aproximadamente 25 cm de diámetro, ubicado en los límites de una propiedad, enterrado con dirección hacia la barranca.
DP-057	476101.00	2145284.00	Doble tubo de PVC de 7" de diámetro, con descarga directa a la barranca, están semi enterrados en la bajada de la barranca.
DP-058	476098.49	2145281.15	Tubo de PVC de 8" de diámetro, con descarga directa a la barranca, está semienterrado en la bajada del corte de la barranca.
DP-059	476066.61	2145260.39	Tubo de PVC de 8" de diámetro, con descarga directa a la barranca, está semienterrado en la bajada del corte de la barranca y desemboca casi a nivel de piso.

Nombre	X	Y	Descripción
DP-060	475972.00	2145173.00	Tubo de PVC de aproximadamente 6" de diámetro, que se percibe en la parte alta de la barranca, con flujo visible que corre por las paredes de la misma
DP-061	475908.45	2145182.26	Tubo de PVC de 6" de diámetro, que se ubica en el muro de piedra del límite de la propiedad, al cual tiene flujo visible.
DP-062	475833.43	2145153.13	Tubo de PVC de 6" de diámetro que sale de un muro de tabique en la parte alta de la barranca, en los límites de la construcción, apenas perceptible, pero con flujo abundante y constante.
DP-063	475785.00	2145123.00	Tubo rojo de PVC de aproximadamente 10" de diámetro con descarga directa y consistente hacia la barranca, se encuentra visible sobre el terreno.
DP-064	475678.66	2145047.44	Tubo de concreto, apenas perceptible en la parte alta del corte de la barranca, de aproximadamente 10" de diámetro, con flujo visible, que escurre por las paredes de la barranca.
DP-065	475623.76	2145017.72	Tubo de PVC de aproximadamente 6" de diámetro, que se propaga en los límites de la propiedad, sobre el muro que delimita la construcción, con descarga hacia la barranca.
DP-066	475567.35	2144973.58	Tubo de concreto de aproximadamente 6" de diámetro, sale del muro de mampostería de piedra, con descarga hacia la barranca.
DP-067	475500.47	2144899.72	Escurrecimiento que se percibe por la pared de la barranca, del cual no se alcanza a visualizar el tubo de descarga.
DP-068	475450.54	2144842.52	Tubo de PVC de 6" de diámetro que sale del muro de tabique de una propiedad, y se despliega por la superficie de la barranca, con gran longitud de tubo, hasta descargar en la barranca.
DP-069	475447.81	2144838.37	Dos tubos de PVC de 6" de diámetro, uno recto con caída desde lo alto, hacia la barranca, y el otro con deflexión por la superficie de la barranca, para desembocar a nivel de piso.
DP-070	475450.11	2144827.30	Tubo de PVC de 6" de diámetro, que se ubica a nivel de piso, pegado a un muro de concreto, con descarga visible hacia la barranca.
DP-071	475448.11	2144819.08	Doble tubo de PVC de 6" de diámetro que sale de los límites de la propiedad, uno

Nombre	X	Y	Descripción
			descarga desde lo alto de forma directa hacia la barranca, y el otro se despliega por la superficie de la misma, hasta desembocar en la parte baja.
DP-072	475435.00	2144802.00	Registros de concreto colocados en las inmediaciones de la barranca, a un costado del límite de propiedad, los cuales conducen aguas residuales.
DP-073	475412.00	2144774.00	Tubo de PVC de 8" de diámetro, que sale entre los muros que delimitan la propiedad, para descargar hacia la barranca.
DP-074	475674.00	2145020.00	Tubo de PVC de 4" de diámetro, que sale de la parte alta del muro de piedra que delimita la propiedad, y se despliega por el muro, hasta desembocar donde comienza el terreno natural.
DP-075	475679.00	2145026.00	Tubo de PVC de 6" de diámetro que sale de la parte alta del muro de piedra que delimita la propiedad, y tiene la caída desde ese nivel.
DP-076	475699.02	2145036.12	Tubo de fierro de 3" de diámetro, que sale de un voladizo de construcción, casi al límite de la propiedad.
DP-077	475897.00	2145156.00	Arroyo con cauce considerable, del cual no se alcanza aprehender el tubo de descarga.
DP-078	476182.00	2145352.00	Tubo de PVC de 6" de diámetro, con flujo visible y descarga directa a la barranca.
DP-079	476220.19	2145374.60	Tubo de PVC de 8" de diámetro, con descarga directa a la barranca, sale de un pozo de concreto que se ubica a en los límites de la propiedad.
DP-080	476241.78	2145390.10	Tubo corrugado de plástico de aproximadamente 10" de diámetro, que cuelga de la parte alta de las paredes de la barranca, con caída directa a la misma.
DP-081	476382.00	2145463.00	Tubo de PVC de 6" de diámetro con caída directa a la barranca, mediante conexiones que parten de la esquina de un muro de límite de propiedad.
DP-082	476393.24	2145460.65	4 tubos de PVC de 6" de diámetro, que salen del muro de concreto que delimita la propiedad, y se conectan a dos, uno descarga en la barranca y el otro le da la vuelta a la vivienda.
DP-083	476410.95	2145474.17	Cortina de concreto, que divida la barranca, de la cual hay una obra de paso en la parte inferior y centro de la misma.

Nombre	X	Y	Descripción
DP-084	476430.02	2145476.99	Tubo de asbesto de aproximadamente 8" de diámetro con caída directa a la barranca, ubicado en las inmediaciones del corte de la barranca, que viene de la propiedad más cercana a éste.
DP-085	476439.52	2145486.05	Tubo de asbesto de aproximadamente 8" de diámetro, que descarga desde lo alto y de forma directa a la barranca, sale de un muro de tabique del límite de la propiedad.
DP-086	476462.00	2145510.00	Tubo de metal con salida, cubierta por una losa de concreto en un hueco que se ubica en el muro de mampostería de piedra.
DP-087	476502.73	2145515.68	Obra de drenaje con caída revestida de concreto, de gran afluente hacia la barranca.
DP-088	476589.59	2145307.66	Escurrecimiento con gran afluente, directo a la barranca, en el cual no se alcanza a identificar tubería.
DP-089	476457.00	2145185.00	Arroyo natural con gran afluente hacia la barranca, del cual no se alcanza apercibir la salida.
DP-090	476443.00	2145181.00	Arroyo natural con gran afluencia hacia la barranca, del cual no se alcanza a percibir la salida.
DP-091	476323.00	2145149.00	Arroyo con gran afluente hacia la barranca, del cual no se percibe de forma clara, la desembocadura.
DP-092	476312.00	2145147.00	Tubo de asbesto de aproximadamente 30 cm de diámetro, con descarga directa a la barranca.
DP-093	476271.74	2145156.37	3 tubos de concreto de 6" de diámetro, fijados con un muro de concreto en su desembocadura.
DP-094	476258.50	2145151.22	Descarga hasta el fondo de la barranca, de la cual no se percibe el tubo, solo se observa el hueco por donde fluye dicha descarga.
DP-095	476225.91	2145146.64	Tubo de asbesto de aproximadamente 20 cm de diámetro, ubicado a paño del muro que delimita la propiedad.
DP-096	476198.00	2145146.00	Tubo de concreto de 8" de diámetro, reforzado en una cama de concreto, con descarga directa a la barranca.
DP-097	476187.77	2145146.25	Tubos de PVC, 2 de 4" y uno de 6", pintados de verde, que salen del muro de colindancia de la propiedad con dirección hacia la barranca.
DP-098	476062.00	2145047.00	Tubería de PVC de 6", con descarga directa a la barranca, ubicado al paño del

Nombre	X	Y	Descripción
			muro de concreto que delimita la construcción, se observa un flujo constante y abundante.
DP-099	476056.00	2145042.00	Tubería negra de 8" de diámetro que se desprende en el desplante de la construcción, y se extiende con gran dimensión hasta desembocar cerca de la barranca.
DP-100	476055.48	2145012.56	Tubería de PVC de 6" de diámetro con descarga directa a la barranca, parte de la tubería está cubierta en el terreno, y la parte donde desemboca el tubo está rota.
DP-101	476049.91	2145012.67	Tubería de PVC de 6" de diámetro, que se alcanza a percibir en la parte alta de la barranca, de la cual escurre el flujo por las paredes de ésta.
DP-102	476002.00	2144957.00	Descarga con afluyente considerable a la barranca, de la cual no se alcanza a percibir el tubo de salida.
DP-103	475991.00	2144953.00	Descarga con afluyente considerable a la barranca, de la cual no se alcanza a percibir el tubo de salida.
DP-104	475982.00	2144954.00	Tubo de PVC de 6" de diámetro, se desplaza por el muro de colindancia y lleva conexiones para perderse entre la maleza y descargar hacia barranca.
DP-105	475980.00	2144952.00	Tubo de PVC de 4" de diámetro, que se desprende de un tubo de asbesto y tiene caída directa a la barranca, esta ubica en los límites de la construcción, en la mampostería de piedra.
DP-106	475978.00	2144949.00	Tubería de asbesto de 20 cm de diámetro aproximado, con descarga perceptible hacia la barranca, se ubica a paño de muro de mampostería de piedra.
DP-107	475977.00	2144922.00	Tubos de asbesto de aproximadamente 20 cm de diámetro, con caída directa a la barranca, que se ubican a paño del muro de mampostería de piedra.
DP-108	475931.00	2144882.00	Descarga con afluyente considerable a la barranca, de la cual no se alcanza a percibir el tubo de salida.
DP-109	475900.36	2144859.90	Tubo de asbesto de aproximadamente 20 cm de diámetro, que se desprende del muro de tabique del límite de propiedad, con caída directa hacia la barranca.
DP-110	475898.00	2144856.00	Dos tubos de fierro de 6", que salen de los límites de la propiedad, de la parte baja del muro de piedra.

Nombre	X	Y	Descripción
DP-111	475895.00	2144853.00	Tubo de fierro de 6" de diámetro que sale de los límites de la propiedad, de la parte baja del muro de piedra.
DP-112	475876.00	2144829.00	Descarga con afluente considerable que escurre sobre las paredes del muro de la barranca, del cual no se percibe el tubo por el que desemboca.
DP-113	475824.00	2144810.00	Dos tubos de metal de aproximadamente 20 cm de diámetro, que bajan por un muro de concreto, que es parte de un voladizo en los límites de la propiedad, no se alcanza a percibir la descarga de éstos hacia la barranca.
DP-114	475812.00	2144803.00	Tubo de metal de 8" de diámetro, colocado a un costado de una columna de concreto, en los límites de la propiedad.
DP-115	475791.65	2144792.08	Tubo de PVC de 4" de diámetro, que se desprende de la parte alta de una estructura de concreto, para desembocar hacia la barranca.
DP-116	475753.00	2144751.00	Tubo de asbesto de 6" de diámetro que sale de un registro de tabique rojo, que se ubica a un costado de los límites de la propiedad y desemboca hacia la barranca.
DP-117	475752.00	2144742.00	Tubo de asbesto de 6" de diámetro, descarga directo hacia la barranca y sale del muro de piedra que delimita la propiedad.
DP-118	475741.00	2144726.00	Tubo de asbesto de aproximadamente 30 cm de diámetro, que se encuentra poco obstruido por escombros, pero aun así con descarga considerable, se ubica en la parte central de la barranca y está adosado a un muro de tabique.
DP-119	475691.00	2144703.00	Tubo de PVC de 4" de diámetro, con varias conexiones que se desprenden a lo largo de muro de colindancia y descarga en la parte baja de la misma.
DP-120	475679.00	2144692.00	Tubo de asbesto de aproximadamente 25 cm de diámetro, que desemboca al centro de la barranca a la mitad de un muro de piedra que forma un escalón en el terreno de dicha barranca. A este tubo de asbesto lo alimentan, dos tubos de asbesto que se desprenden
DP-121	475728.47	2144709.55	Tubo de asbesto de 6" de diámetro colocado a paño del muro de colindancia,

Nombre	X	Y	Descripción
			con descarga hacia la barranca, en la parte baja de éste.
DP-122	475735.12	2144713.68	Tubo de PVC de 6" de diámetro, que se ubica por dentro del límite de la propiedad, dentro de un hueco en el muro, con dirección de descarga hacia la barranca.
DP-123	475742.10	2144718.30	Tubo de asbesto de 10" de diámetro con descarga directa a la barranca, se ubica en los límites de la propiedad y sale del muro de piedra.
DP-124	475747.48	2144719.62	Tubo de PVC de 6" de diámetro con descarga directa a la barranca, se ubica en la esquina de un muro del límite de la propiedad, y se percibe un flujo constante.
DP-125	475997.00	2144884.00	Tubo de PVC de 4" de diámetro con caída directa a la barranca.
DP-126	476014.00	2144851.00	Por lo menos 4 tubos de asbesto de aproximadamente 25 cm de diámetro que salen de los límites de la propiedad con dirección hacia la barranca.
DP-127	476081.00	2144937.00	Tubo de PVC de 6" de diámetro que sale de un muro de piedra que delimita la propiedad, y se encaja en el terreno hacia la barranca.
DP-128	476119.00	2144981.00	Tubo de asbesto de 8" de diámetro, se ubica en las inmediaciones del terraplén de la barranca con descarga hacia la misma.
DP-129	476297.00	2145099.00	Tubería de asbesto de aproximadamente 30 cm de diámetro, que desemboca el flujo hacia la barranca, debido a que está quebrado antes de llegar a un colector cilíndrico de tabique, tiene descarga de flujo abundante.
DP-130	476540.00	2144941.00	Tubería de asbesto de aproximadamente 30 cm de diámetro, presenta un desprendimiento de los tubos, por los cuales corre el flujo y se va hacia la barranca. Esta se encuentra a un costado de la avenida Zaragoza.
DP-131	476560.71	2144774.33	Obra de drenaje, producto de la Av. Zaragoza, que consta de un tubo de asbesto de aproximadamente 50 cm de diámetro con flujo constante hacia la barranca, que se ubica al fondo de la misma, y esta soportado mediante un muro de piedra.
DP-132	476609.00	2144830.00	Tubo de plástico corrugado de 45 cm de diámetro, acoplado mediante un muro de concreto en los límites de la barranca.

Nombre	X	Y	Descripción
DP-133	476635.00	2144886.00	Contenedor de concreto con tubos de PVC de 4" de diámetro de salida, que descarga hacia la barranca
DP-134	476725.00	2144981.00	Contenedor de concreto con salida hacia la barranca, mediante tubos de PVC de 4" de diámetro.
DP-135	476929.00	2145042.00	Tubo de asbesto de 10" de diámetro, que se ubica en las inmediaciones del terraplén que da hacia la barranca.
DP-136	477192.00	2145045.00	Obra de drenaje con tubo de concreto de aproximadamente 85 cm de diámetro, acoplada con muro de piedra, construida para el paso del flujo hacia la barranca, por el paso de la Av. Zaragoza.
DP-137	477213.00	2145026.00	Obra de drenaje que consta de un tubo de asbesto de aproximadamente 45 cm de diámetro con canaleta revestida que desemboca hacia la barranca.
DP-138	477335.00	2145114.00	Tubo de PVC de 6" de diámetro que se desprende de la parte alta de la propiedad y baja por la esquina del muro hasta desembocar a nivel de piso.
DP-139	477343.00	2145122.00	Registro de tabique con tapa de concreto, ubicado a un costado de los límites de la construcción, del cual sale un tubo de PVC de aproximadamente 8" de diámetro, en la dirección de la barranca.
DP-140	477370.00	2145117.00	Descarga por medio de un tubo de PVC de 4" de diámetro, proveniente de una propiedad, el cual tiene un contenedor cilíndrico antes de su salida.
DP-141	477382.00	2145133.00	Tubo de PVC negro de 6" de diámetro, que sale de un muro de concreto en los límites de la propiedad, con desembocadura hacia la barranca.
DP-142	477388.00	2145148.00	Tubo de PVC color negro de 6" de diámetro, que se desprende de la parte baja del muro que delimita la propiedad, y se propaga por la superficie del terreno hacia la barranca.
DP-143	477403.00	2145156.00	Orificio de 30 cm de diámetro, ubicado en los límites de la propiedad con descarga directa hacia la barranca, se encuentra enterrado a más de un metro de la superficie, y los cortes del terreno que lo rodean están revestidos de concreto.
DP-144	477424.00	2145176.00	Tubo de PVC de 8" de diámetro, con descarga hacia la barranca, ubicado en las cercanías de la propiedad. Está por

Nombre	X	Y	Descripción
			debajo del terreno y se visualiza a unos metros sobre la pendiente del terreno que conduce a las barrancas.
DP-145	477439.00	2145194.00	Tubo de 12 " de diámetro que se ubica en las inmediaciones de los límites de la propiedad, descarga casi al paño del terreno con dirección a la barranca. poco obstruido por la vegetación.
DP-146	477467.00	2145222.00	Registro de tabique revestido, al cual llega una descarga proveniente de la parte alta, donde se ubican las propiedades, mediante una tubería de 45 cm de diámetro, el tubo de salida del registro hacia la barranca es de asbesto, y está un poco obstruido
DP-147	477477.00	2145236.00	Tubo de asbesto de 50 cm de diámetro, semi oculto entre la vegetación, adosado a un muro de tabique.
DP-148	477483.00	2145243.00	Tubo de PVC de 10" de diámetro, con descarga hacia la barranca, que se desprende casi a paño de la pendiente del terreno que conduce ésta.
DP-149	477552.00	2145330.00	Registro de tabique con losa de concreto, destruido, dentro del cual se observa un tubo de entrada azolvado de aproximadamente 30 cm de diámetro, con uno de salida hacia la barranca de 30 cm, el cual desemboca después de la terracería.
DP-150	477551.00	2145368.00	Tubo de asbesto de 30 cm de diámetro, ubicado a un costado de la terracería con caída hacia la barranca.
DP-151	478169.00	2146764.00	Tubo de asbesto de 25 cm de diámetro que sale de la parte baja del muro que delimita el panteón.
DP-152	478365.00	2146954.00	Pozo de concreto con tubo de fierro de entrada, con un diámetro aproximado de 30 cm, este pozo cuenta con un tubo de salida de concreto de aproximadamente 1.20 metros y descarga hacia la barranca.

Para el análisis de las descargas fue necesario conocer la red de drenaje de la cuenca (figura 6.9), en función de la geometría de la red, y las curvas de nivel se estimó que manzanas podrían carecer de red y por tanto estar vertiendo el agua residual a las barrancas en los puntos mostrados.

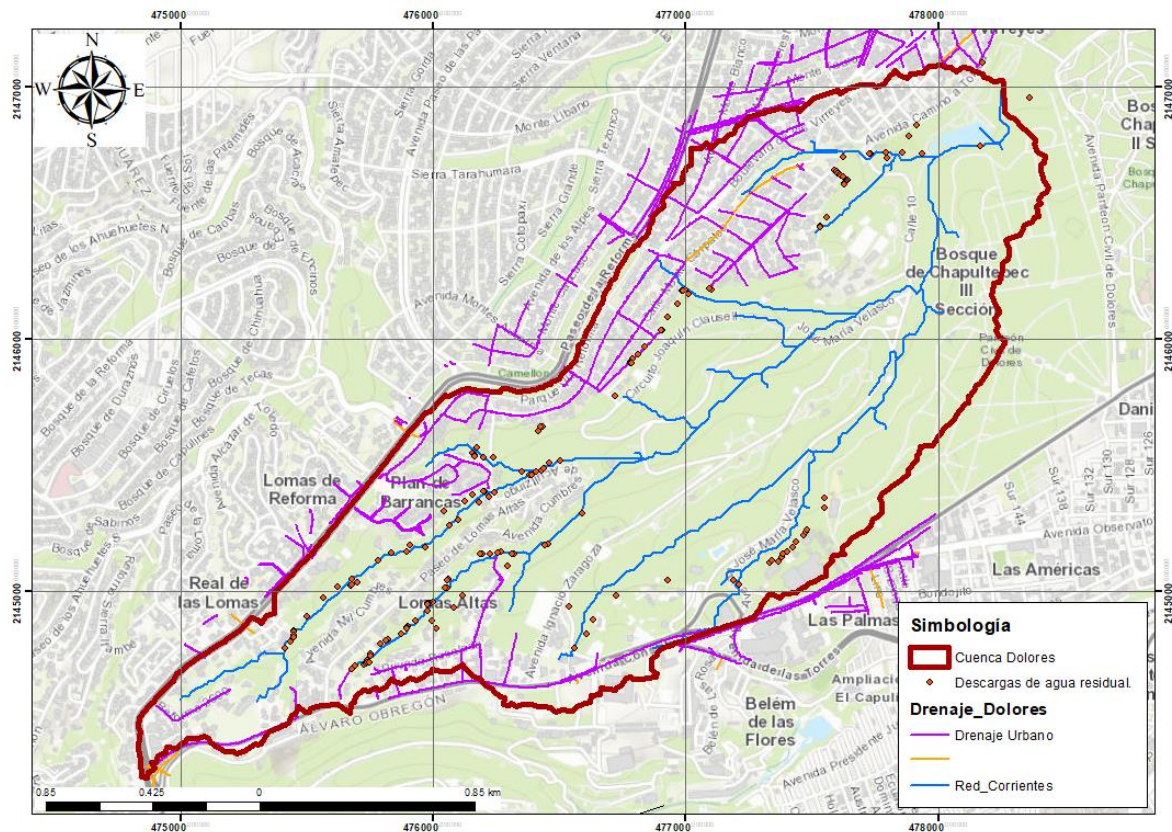


Figura 6.9. Red de drenaje urbano dentro de la cuenca Dolores

El mismo plano de drenaje indica descargas directas a las barrancas debido a que no se bombea el agua residual a las zonas altas donde pasan los colectores principales (figura 6.10).

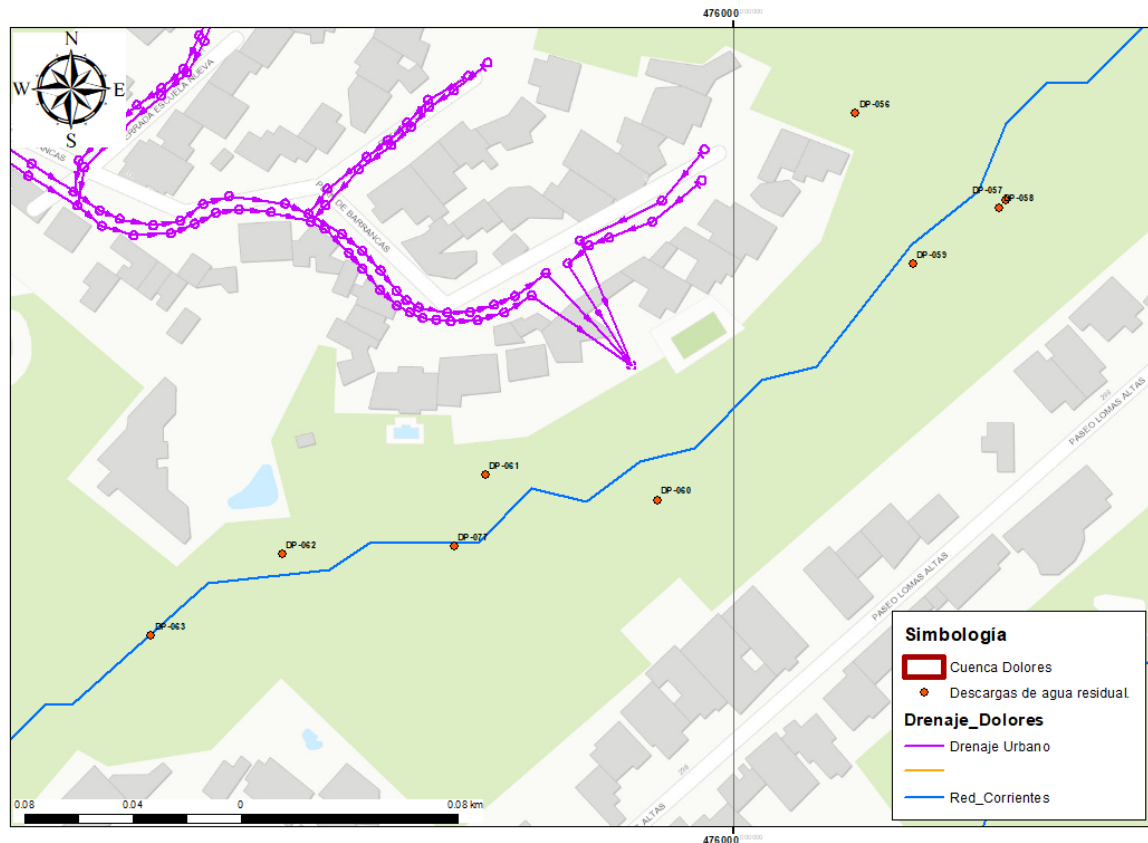


Figura 6.10 Indicaciones de descargas de la red de drenaje urbano a una barranca de la tercera sección de Chapultepec.

Tomando en cuenta lo anterior, las curvas de nivel y el mapa de descargas registrado, se ubicaron las manzanas que muy probablemente se encuentran descargando el agua residual cruda hacia la tercera sección de Chapultepec (figura 6.11).

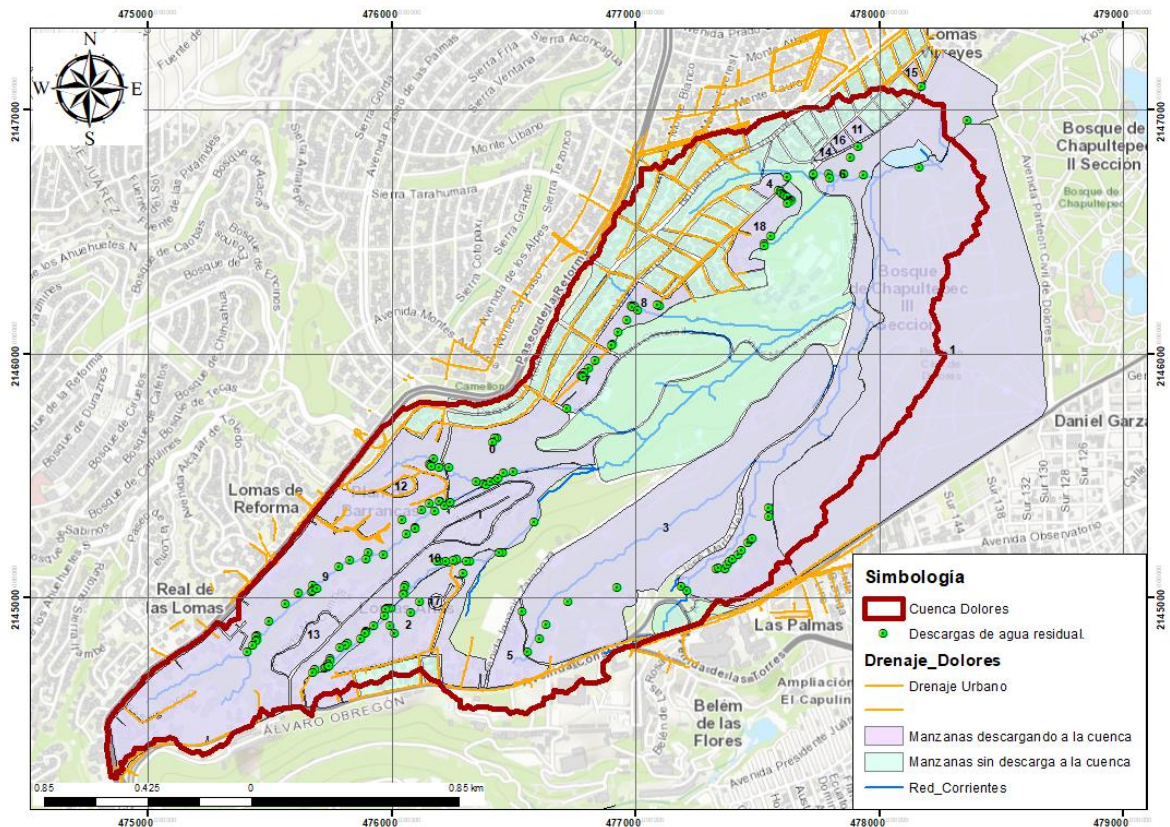


Figura 6.12 Manzanas asociadas a las descargas registradas en la cuenca Dolores

Una vez que se ubicaron las manzanas que vierten a la zona por falta de infraestructura de drenaje o por la dificultad de mandar el drenaje a otras zonas por la topografía del lugar, se asociaron los puntos de descarga a cada manzana.

El caudal de aguas negras está asociado al consumo del agua potable, por lo general se estima que el 85 % del consumo de agua potable se descarga como agua residual, el resto se pierde como evaporación o infiltración de las zonas verdes o en el propio consumo humano y de animales domésticos.

Conociendo lo anterior se solicitaron los registros de consumos de agua potable al SACMEX de toda la zona (figura 6.13), con la información obtenida de consumos por bimestre para el año 2020 y la del último censo de viviendas del INEGI (2020), se estimó un consumo doméstico, no doméstico y total en m³/día.

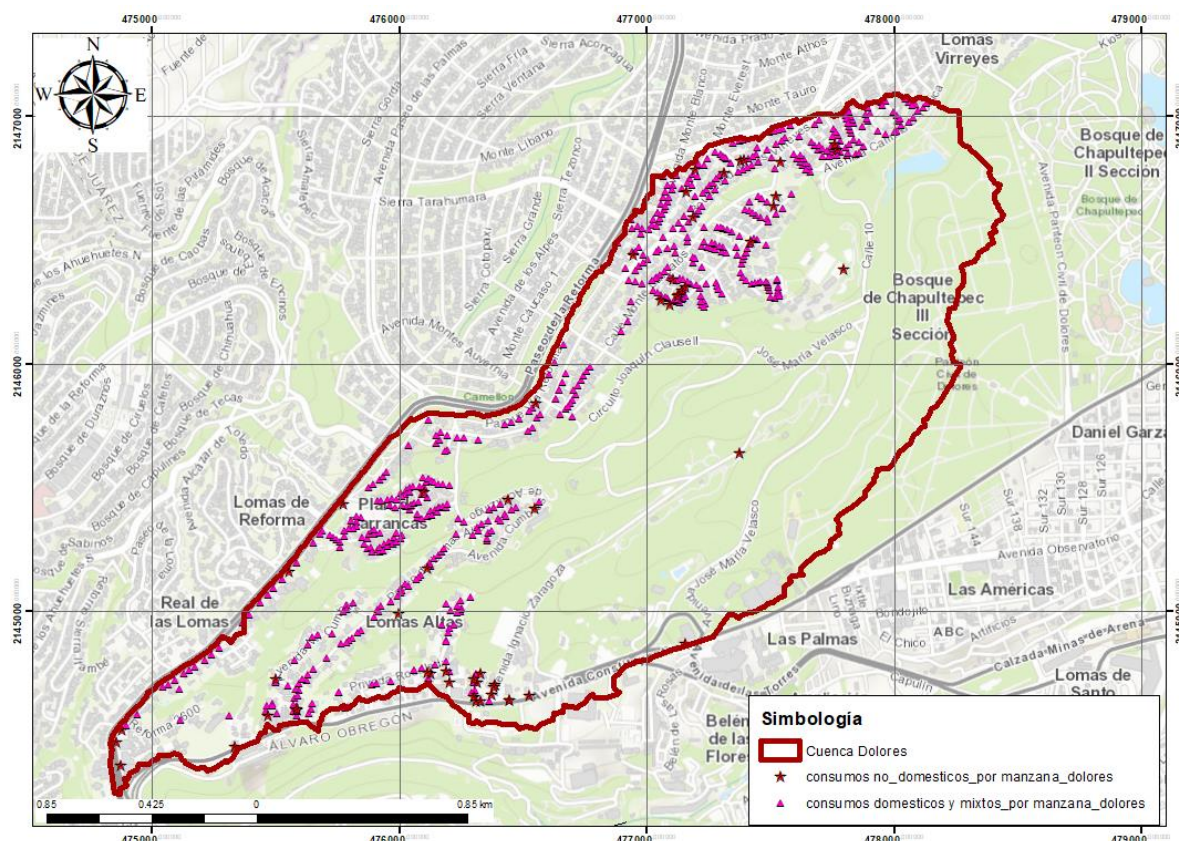


Figura 6.13 Micromedición de consumos en tomas general del SACMEX en la cuenca de Dolores.

Tabla 6.2 Información del censo 2020 del INEGI para las manzanas en la cuenca de estudio.

CVE Manzana INEGI	Alcaldía	Pob_2020	Área total	VIV_INEGI	VHABITADAS	HAB_VIVHAB
901000012076020	Alvaro Obregon	0	110287.524	0	0	0
901000012061001	Alvaro Obregon	2033	2241927.999	566	549	3.7
901600011067012	Miguel Hidalgo	25	9799.316	9	8	3.13
901600011067011	Miguel Hidalgo	19	5877.328	6	6	3.17
901600011052024	Miguel Hidalgo	57	18280.416	19	16	3.56
901600010942009	Miguel Hidalgo	30	11149.104	11	8	3.75
901600011283019	Miguel Hidalgo	50	119724.172	29	17	2.94
901600011086001	Miguel Hidalgo	0	1076668.887	0	0	0
901600011071001	Miguel Hidalgo	0	208737.429	0	0	0
901600011283004	Miguel Hidalgo	221	169669.703	95	71	3.11
901600011071008	Miguel Hidalgo	0	145675.057	0	0	0

CVE Manzana INEGI	Alcaldía	Pob_2020	Área total	VIV_INEGI	VHABITADAS	HAB_VIVHAB
901600011071002	Miguel Hidalgo	0	460277.117	0	0	0
901600011067009	Miguel Hidalgo	37	15590.746	14	13	2.85
901600011067007	Miguel Hidalgo	25	8339.105	6	6	4.17
901600011071007	Miguel Hidalgo	2	37864.95	3	2	1
901600011071006	Miguel Hidalgo	0	397039.566	0	0	0
901600011071005	Miguel Hidalgo	0	13842.071	0	0	0
901600011067015	Miguel Hidalgo	125	33277.801	43	42	2.98
901600011067014	Miguel Hidalgo	34	37393.988	15	13	2.62
901600011283005	Miguel Hidalgo	1297	642399.259	473	410	3.16
901600011283002	Miguel Hidalgo	185	139425.55	72	64	2.89
901600011067013	Miguel Hidalgo	15	3241.853	4	4	3.75
901600011052025	Miguel Hidalgo	43	28986.612	15	15	2.87
901600010980022	Miguel Hidalgo	35	12624.475	11	9	3.89
901600010980012	Miguel Hidalgo	53	8236.82	12	12	4.42
901600010961016	Miguel Hidalgo	43	10372.014	11	9	4.78
901600011052014	Miguel Hidalgo	20	11115.439	5	5	4
901600011052013	Miguel Hidalgo	28	20945.493	13	6	4.67
901600011052012	Miguel Hidalgo	15	12259.548	4	3	5
901600011052030	Miguel Hidalgo	22	10699.973	13	7	3.14
901600010980006	Miguel Hidalgo	55	10177.257	16	15	3.67
901600010980005	Miguel Hidalgo	5	6547.859	1	1	5
901600010980004	Miguel Hidalgo	35	8030.518	10	9	3.89
901600010961017	Miguel Hidalgo	23	11498.35	9	6	3.83
901600010942010	Miguel Hidalgo	0	4765.351	0	0	0
901600010942008	Miguel Hidalgo	52	16213.791	19	13	4
901600011067010	Miguel Hidalgo	53	9673.835	16	16	3.31
901600011283022	Miguel Hidalgo	75	6157.906	23	23	3.26
901600011283001	Miguel Hidalgo	30	24971.257	10	8	3.75
901600011067005	Miguel Hidalgo	48	12349.681	19	18	2.67

CVE Manzana INEGI	Alcaldía	Pob_2020	Área total	VIV_INEGI	VHABITADAS	HAB_VIVHAB
901600011067004	Miguel Hidalgo	26	1424.98	13	11	2.36
901600011067002	Miguel Hidalgo	35	9796.395	13	12	2.92
901600011067001	Miguel Hidalgo	61	12273.607	25	23	2.65
901600011052022	Miguel Hidalgo	32	20117.434	11	10	3.2
901600011052023	Miguel Hidalgo	7	2597.118	4	3	2.33
901600010980018	Miguel Hidalgo	29	3109.1	6	6	4.83
901600010980014	Miguel Hidalgo	59	11297.045	18	17	3.47
901600010980013	Miguel Hidalgo	36	4635.983	16	16	2.25
901600010980002	Miguel Hidalgo	59	8663.905	16	15	3.93
901600010942014	Miguel Hidalgo	74	22840.485	21	17	4.35
901600011300003	Miguel Hidalgo	650	111490.255	227	197	3.3
901600010942013	Miguel Hidalgo	76	20976.059	25	22	3.45
901600010980001	Miguel Hidalgo	47	9752.065	14	12	3.92
901600010980003	Miguel Hidalgo	39	8355.895	12	11	3.55
901600010980019	Miguel Hidalgo	13	1390.637	9	9	1.44
901600011052003	Miguel Hidalgo	19	14247.706	12	6	3.17
901600011052004	Miguel Hidalgo	36	17513.145	13	9	4
901600011052005	Miguel Hidalgo	0	14586.321	0	0	0
901600011052034	Miguel Hidalgo	29	2065.785	16	12	2.42
901600011067006	Miguel Hidalgo	46	46202.387	19	14	3.29
901600011283007	Miguel Hidalgo	0	7059.384	0	0	0
901600011283023	Miguel Hidalgo	10	1700.035	4	2	5
901600011052031	Miguel Hidalgo	48	8615.225	21	19	2.53
901600010980020	Miguel Hidalgo	32	9309.925	9	8	4
901600011283003	Miguel Hidalgo	37	28370.07	23	13	2.85
901600011071009	Miguel Hidalgo	0	9490.078	0	0	0
901600011067008	Miguel Hidalgo	19	6874.433	5	4	4.75
901600011067003	Miguel Hidalgo	71	46160.706	27	24	2.96
901600011067016	Miguel Hidalgo	0	289957.324	0	0	0

Tabla 6.3 Consumos domésticos, no domésticos y totales asociados a las manzanas del INEGI dentro de la cuenca Dolores.

CVE Manzana INEGI	Consumo Doméstico		Consumo No Doméstico		Consumo total	
	m ³ (2020)	m ³ /día	m ³ (2020)	m ³ /día	m ³ (2020)	m ³ /día
901000012076020	0	0	0	0	0	0
901000012061001	0	0	0	0	0	0
901600011067012	8016.89	21.96	0	0	8016.89	21.96
901600011067011	2566.5	7.03	1123	3.08	3689.5	10.11
901600011052024	7171.02	19.65	0	0	7171.02	19.65
901600010942009	3778.56	10.35	24	0.07	3802.56	10.42
901600011283019	13549	37.12	0	0	13549	37.12
901600011086001	0	0	0	0	0	0
901600011071001	0	0	0	0	0	0
901600011283004	16655.08	45.63	2922.5	8.01	19577.58	53.64
901600011071008	0	0	0	0	0	0
901600011071002	0	0	1551	4.25	1551	4.25
901600011067009	0	0	0	0	0	0
901600011067007	1527.43	4.18	7796	21.36	9323.43	25.54
901600011071007	0	0	4950	13.56	4950	13.56
901600011071006	0	0	0	0	0	0
901600011071005	0	0	1321.5	3.62	1321.5	3.62
901600011067015	10348.49	28.35	0	0	10348.49	28.35
901600011067014	3734.25	10.23	1937	5.31	5671.25	15.54
901600011283005	217366.81	595.53	39856.5	109.2	257223.31	704.73
901600011283002	32601.08	89.32	4423	12.12	37024.08	101.44
901600011067013	2404	6.59	0	0	2404	6.59
901600011052025	1190	3.26	0	0	1190	3.26
901600010980022	3192	8.75	0	0	3192	8.75
901600010980012	3673.92	10.07	0	0	3673.92	10.07
901600010961016	7277.94	19.94	0	0	7277.94	19.94
901600011052014	788	2.16	0	0	788	2.16
901600011052013	3769.29	10.33	0	0	3769.29	10.33
901600011052012	0	0	0	0	0	0
901600011052030	3306.8	9.06	0	0	3306.8	9.06
901600010980006	5073.67	13.9	0	0	5073.67	13.9
901600010980005	435	1.19	0	0	435	1.19
901600010980004	2381.4	6.52	0	0	2381.4	6.52
901600010961017	3738	10.24	269	0.74	4007	10.98
901600010942010	0	0	0	0	0	0
901600010942008	5386.77	14.76	427	1.17	5813.77	15.93
901600011067010	10144	27.79	0	0	10144	27.79
901600011283022	8406.5	23.03	0	0	8406.5	23.03

CVE Manzana INEGI	Consumo Doméstico		Consumo No Doméstico		Consumo total	
	m³ (2020)	m³/día	m³ (2020)	m³/día	m³ (2020)	m³/día
901600011283001	7147.56	19.58	0	0	7147.56	19.58
901600011067005	5898.71	16.16	0	0	5898.71	16.16
901600011067004	2584.27	7.08	0	0	2584.27	7.08
901600011067002	4140	11.34	50	0.14	4190	11.48
901600011067001	0	0	0	0	0	0
901600011052022	14594.29	39.98	136	0.37	14730.29	40.35
901600011052023	1158	3.17	0	0	1158	3.17
901600010980018	1384	3.79	0	0	1384	3.79
901600010980014	6417.35	17.58	0	0	6417.35	17.58
901600010980013	3800.53	10.41	0	0	3800.53	10.41
901600010980002	9435	25.85	0	0	9435	25.85
901600010942014	4492.64	12.31	0	0	4492.64	12.31
901600011300003	0	0	0	0	0	0
901600010942013	10018.02	27.45	54	0.15	10072.02	27.6
901600010980001	3726.4	10.21	0	0	3726.4	10.21
901600010980003	3222.51	8.83	0	0	3222.51	8.83
901600010980019	886.5	2.43	429	1.18	1315.5	3.61
901600011052003	2462.4	6.75	0	0	2462.4	6.75
901600011052004	2526.43	6.92	286	0.78	2812.43	7.7
901600011052005	0	0	0	0	0	0
901600011052034	886.69	2.43	0	0	886.69	2.43
901600011067006	5457.6	14.95	204	0.56	5661.6	15.51
901600011283007	0	0	693	1.9	693	1.9
901600011283023	0	0	0	0	0	0
901600011052031	4470.07	12.25	1037	2.84	5507.07	15.09
901600010980020	2255.43	6.18	169	0.46	2424.43	6.64
901600011283003	2243.15	6.15	2998	8.21	5241.15	14.36
901600011071009	0	0	0	0	0	0
901600011067008	2866.23	7.85	0	0	2866.23	7.85
901600011067003	14104.24	38.64	304	0.83	14408.24	39.47
901600011067016	2726	7.47	2067	5.66	4793	13.13

Los consumos totales por manzana se muestran en la figura 6.14.



136

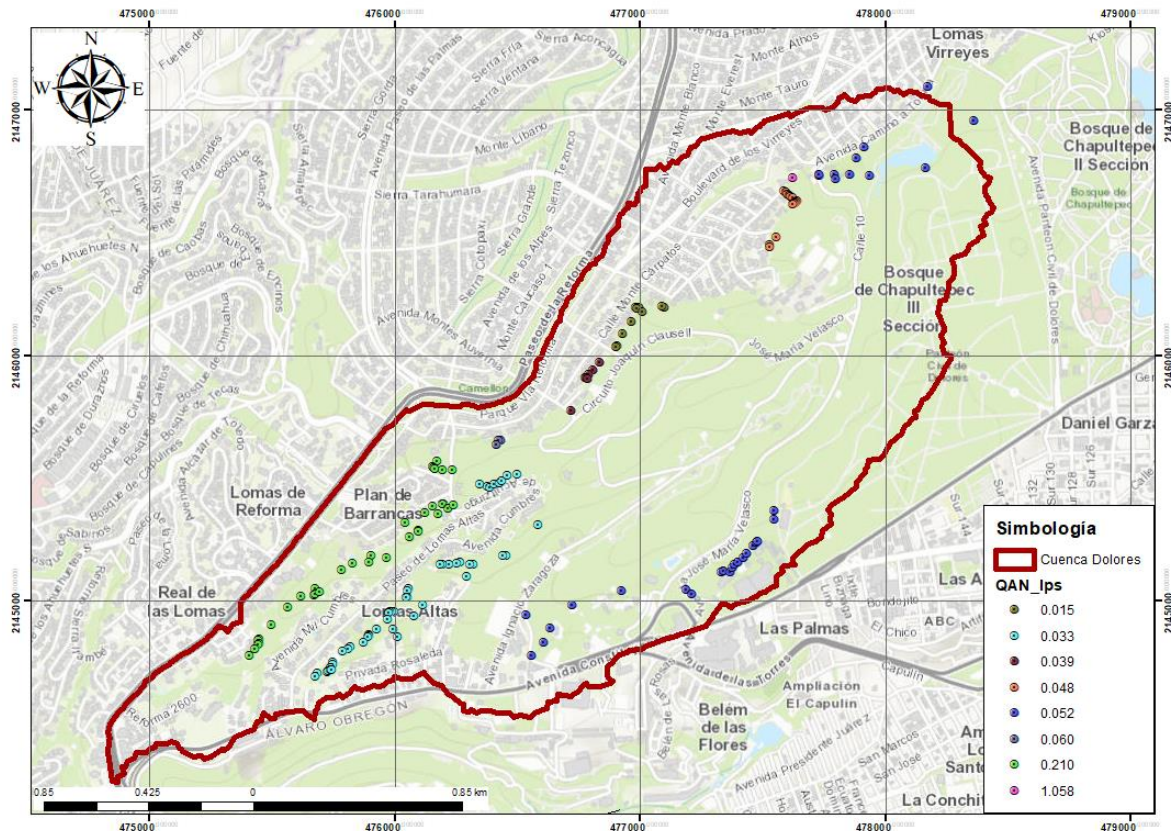


Figura 6.15 QAN asociado a cada descarga localizada.

Por último, la tabla 6.4 muestra el caudal de aguas negras asociado a cada descarga de agua residual localizada dentro de la cuenca de estudio.

Tabla 6.4 Q_{AN} asociado a cada punto de descarga localizado dentro de la cuenca.

Nombr e	X	Y	QAN (l/s)	Nombr e	X	Y	QAN (l/s)
DP-001	478176.42 6	2147092.67 2	0.052	DP-040	476789.02 4	2145903.00 8	0.040
DP-002	477915.00 0	2146846.00 0	0.052	DP-041	476720.78 6	2145771.71 6	0.040
DP-003	477884.00 0	2146804.00 0	0.052	DP-042	476436.91 4	2145653.08 4	0.061
DP-004	477938.00 0	2146733.00 0	0.052	DP-043	476428.32 4	2145651.05 0	0.061
DP-005	477858.00 0	2146737.00 0	0.052	DP-044	476419.42 4	2145635.03 4	0.061
DP-006	477796.00 0	2146737.00 0	0.052	DP-045	476238.00 0	2145532.00 0	0.210
DP-007	477798.60 7	2146716.55 6	0.052	DP-046	476175.81 6	2145568.21 3	0.210
DP-008	477732.00 0	2146733.00 0	0.052	DP-047	476158.00 0	2145547.00 0	0.210
DP-009	477731.00 0	2146735.00 0	0.052	DP-048	476163.81 4	2145539.56 9	0.210
DP-010	477624.00 0	2146720.00 0	1.058	DP-049	476167.24 3	2145535.84 4	0.210
DP-011	477590.06 1	2146669.22 4	0.049	DP-050	476198.68 2	2145531.49 8	0.210
DP-012	477598.24 8	2146662.08 6	0.049	DP-051	476352.96 0	2145472.45 0	0.034
DP-013	477605.29 5	2146656.51 1	0.049	DP-052	476204.00 0	2145394.00 0	0.210
DP-014	477611.71 6	2146651.21 4	0.049	DP-053	476201.00 0	2145395.00 0	0.210
DP-015	477618.57 2	2146646.25 2	0.049	DP-054	476158.44 8	2145383.55 0	0.210
DP-016	477625.59 5	2146640.53 8	0.049	DP-055	476126.09 3	2145356.06 6	0.210
DP-017	477642.93 9	2146629.91 3	0.049	DP-056	476045.40 9	2145315.93 3	0.210
DP-018	477637.71 4	2146624.21 5	0.049	DP-057	476101.00 0	2145284.00 0	0.210
DP-019	477634.94 9	2146620.21 5	0.049	DP-058	476098.49 4	2145281.15 3	0.210
DP-020	477631.00 0	2146617.00 0	0.049	DP-059	476066.60 6	2145260.39 2	0.210
DP-021	477627.86 1	2146613.24 1	0.049	DP-060	475972.00 0	2145172.99 9	0.210
DP-022	477559.36 9	2146482.16 5	0.049	DP-061	475908.44 6	2145182.25 7	0.210
DP-023	477533.00 0	2146448.00 0	0.049	DP-062	475833.43 2	2145153.13 3	0.210
DP-024	477533.00 0	2146442.00 0	0.049	DP-063	475785.00 0	2145123.00 0	0.210
DP-025	477104.36 8	2146195.89 9	0.015	DP-064	475678.65 5	2145047.44 4	0.210
DP-026	477094.75 5	2146197.89 9	0.015	DP-065	475623.75 5	2145017.71 7	0.210
DP-027	476997.64 1	2146193.70 7	0.015	DP-066	475567.34 9	2144973.58 2	0.210
DP-028	476985.60 1	2146192.30 4	0.015	DP-067	475500.47 1	2144899.71 6	0.210

Nombr e	X	Y	QAN (l/s)
DP-029	476989.39 0	2146189.86 2	0.015
DP-030	477012.79 8	2146178.09 9	0.015
DP-031	476968.37 3	2146137.88 2	0.015
DP-032	476931.00 0	2146086.00 0	0.015
DP-033	476908.84 7	2146036.02 5	0.015
DP-034	476905.15 5	2146032.12 7	0.015
DP-035	476837.41 6	2145968.86 9	0.040
DP-036	476811.13 0	2145939.45 9	0.040
DP-037	476792.88 7	2145921.31 2	0.040
DP-038	476781.28 6	2145908.30 3	0.040
DP-039	476784.65 4	2145905.97 5	0.040

Nombr e	X	Y	QAN (l/s)
DP-068	475450.54 3	2144842.52 0	0.210
DP-069	475447.81 3	2144838.36 8	0.210
DP-070	475450.11 4	2144827.29 5	0.210
DP-071	475448.10 9	2144819.07 5	0.210
DP-072	475435.00 0	2144802.00 0	0.210
DP-073	475412.00 0	2144774.00 0	0.210
DP-074	475674.00 0	2145020.00 0	0.210
DP-075	475679.00 0	2145026.00 0	0.210
DP-076	475699.01 8	2145036.12 3	0.210
DP-077	475897.00 0	2145156.00 0	0.210
DP-078	476182.00 0	2145352.00 0	0.210

Nombr e	X	Y	QAN (l/s)
DP-079	476220.18 8	2145374.60 3	0.210
DP-080	476241.77 6	2145390.09 6	0.210
DP-081	476382.00 0	2145463.00 0	0.034
DP-082	476393.23 9	2145460.65 1	0.034
DP-083	476410.94 5	2145474.17 1	0.034
DP-084	476430.01 6	2145476.99 4	0.034
DP-085	476439.52 3	2145486.05 0	0.034
DP-086	476462.00 0	2145510.00 0	0.034
DP-087	476502.72 8	2145515.68 1	0.034
DP-088	476589.59 1	2145307.65 9	0.034
DP-089	476457.00 0	2145185.00 0	0.034
DP-090	476443.00 0	2145181.00 0	0.034
DP-091	476323.00 0	2145149.00 0	0.034
DP-092	476312.00 0	2145147.00 0	0.034
DP-093	476271.74 0	2145156.36 9	0.034
DP-094	476258.49 5	2145151.21 6	0.034

Nombr e	X	Y	QAN (l/s)
DP-118	475741.00 0	2144726.00 0	0.034
DP-119	475691.00 0	2144703.00 0	0.034
DP-120	475679.00 0	2144692.00 0	0.034
DP-121	475728.47 0	2144709.54 6	0.034
DP-122	475735.12 4	2144713.67 8	0.034
DP-123	475742.09 5	2144718.30 3	0.034
DP-124	475747.47 6	2144719.61 8	0.034
DP-125	475997.00 0	2144884.00 0	0.034
DP-126	476014.00 0	2144851.00 0	0.034
DP-127	476081.00 0	2144937.00 0	0.034
DP-128	476119.00 0	2144981.00 0	0.034
DP-129	476297.00 0	2145099.00 0	0.034
DP-130	476540.00 0	2144941.00 0	0.052
DP-131	476560.70 8	2144774.32 7	0.052
DP-132	476609.00 0	2144830.00 0	0.052
DP-133	476635.00 0	2144886.00 0	0.052

DP-095	476225.90 5	2145146.63 9	0.034	DP-134	476725.00 0	2144981.00 0	0.052
DP-096	476198.00 0	2145146.00 0	0.034	DP-135	476929.00 0	2145042.00 0	0.052
DP-097	476187.76 8	2145146.24 8	0.034	DP-136	477192.00 0	2145045.00 0	0.052
DP-098	476062.00 0	2145047.00 0	0.034	DP-137	477213.00 0	2145026.00 0	0.052
DP-099	476056.00 0	2145042.00 0	0.034	DP-138	477335.00 0	2145114.00 0	0.052
DP-100	476055.47 8	2145012.56 4	0.034	DP-139	477343.00 0	2145122.00 0	0.052
DP-101	476049.91 4	2145012.66 8	0.034	DP-140	477370.00 0	2145117.00 0	0.052
DP-102	476002.00 0	2144957.00 0	0.034	DP-141	477382.00 0	2145133.00 0	0.052
DP-103	475991.00 0	2144953.00 0	0.034	DP-142	477388.00 0	2145148.00 0	0.052
DP-104	475982.00 0	2144954.00 0	0.034	DP-143	477403.00 0	2145156.00 0	0.052
DP-105	475980.00 0	2144952.00 0	0.034	DP-144	477424.00 0	2145176.00 0	0.052
DP-106	475978.00 0	2144949.00 0	0.034	DP-145	477439.00 0	2145194.00 0	0.052
DP-107	475977.00 0	2144922.00 0	0.034	DP-146	477467.00 0	2145222.00 0	0.052
DP-108	475931.00 0	2144882.00 0	0.034	DP-147	477477.00 0	2145236.00 0	0.052
DP-109	475900.36 1	2144859.90 0	0.034	DP-148	477483.00 0	2145243.00 0	0.052
DP-110	475898.00 0	2144856.00 0	0.034	DP-149	477552.00 0	2145330.00 0	0.052
DP-111	475895.00 0	2144853.00 0	0.034	DP-150	477551.00 0	2145368.00 0	0.052
DP-112	475876.00 0	2144829.00 0	0.034	DP-151	478169.00 0	2146764.00 0	0.052
DP-113	475824.00 0	2144810.00 0	0.034	DP-152	478365.00 0	2146954.00 0	0.052
DP-114	475812.00 0	2144803.00 0	0.034				
DP-115	475791.65 3	2144792.08 1	0.034				
DP-116	475753.00 0	2144751.00 0	0.034				
DP-117	475752.00 0	2144742.00 0	0.034				

8 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Se trazó el parteaguas de las cuencas Dolores y Tacubaya hasta las presas de regulación y se calcularon las avenidas de diseño asociados a diferentes periodos de retorno de cada cuenca. En la tabla 6.5 se observan las características principales de la Cuenca Dolores y Tacubaya.

Tabla 6.5 Resumen de parámetros de la Cuenca Dolores y Tacubaya.

Cuenca	Área	Cauce Principal		Tc	
	km ²	Longitud, km	Pendiente	hr	min
DOLORES	4.294	5.382	0.035	1.00	60
TACUBAYA	5.596	8.548	0.040	1.23	74

***Tiempo de concentración. Tiempo que le toma a la precipitación excedente alcanzar la salida de la cuenca desde su punto hidráulicamente más remoto.**

Los tiempos de concentración aproximados son de 60 minutos para la cuenca Dolores, mientras que para la cuenca Tacubaya es de 70 minutos.

Para el estudio hidrológico de ambas cuencas se consideró un análisis regional de lluvias a partir de las cuales se estimaron las tormentas de diseño. Para convertir la precipitación en escurrimiento superficial se emplearon tres métodos distintos. Después de comparar los resultados se recomendó tomar los obtenidos a partir del modelo lluvia-escurrimiento MPE desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

En la tabla 6.6 y 6.7, se muestran los gastos y volúmenes máximos asociados a tormentas con distintos periodos para las cuencas Dolores y Tacubaya.

Tabla 6.6 Gastos y volúmenes máximos asociados a tormentas para la Cuenca Dolores.

CUENCA	Tr								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Lluvia	41.01	52.27	59.62	66.96	76.06	82.98	89.89	99.00	105.83
Ce	0.21	0.26	0.27	0.29	0.31	0.32	0.33	0.35	0.37
Qmáx (m ³ /s)	6.27	9.71	11.98	14.33	17.49	19.80	22.14	25.50	28.77
Vexceso(Miles m ³)	37.52	57.38	70.40	83.88	101.91	115.09	128.42	147.54	165.96

Tabla 6.7 Gastos y volúmenes máximos asociados a tormentas para la Cuenca Tacubaya.

CUENCA	Tr								
TACUBAYA	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Lluvia	39.65	50.50	57.59	64.69	73.45	80.13	86.81	95.57	102.24
Ce	0.33	0.36	0.38	0.39	0.41	0.42	0.43	0.44	0.45
Qmáx (m³/s)	10.97	15.19	18.10	21.07	24.91	27.79	30.69	35.68	38.70
Vexceso(Miles m³)	73.70	102.14	121.97	142.32	168.66	188.37	208.31	235.79	256.13

***Coeficiente de escurrimiento (Ce). Relación entre el volumen escurrido y el volumen total de lluvia**

****Periodo de retorno o intervalo de frecuencia, es el número de años en que, en promedio, se presente un evento.**

Dado que los escurrimientos de la cuenca Tacubaya son conducidos hasta la presa Tecamachalco y no pasan por la cuenca Dolores, por lo que sus las avenidas no influyen en la cuenca de estudio, únicamente se realizará el estudio hidráulico para la cuenca Dolores.

Dado que los suelos que se encuentran en la cuenca son suelos de poco desarrollo, altamente susceptibles a la erosión y en temporada de lluvias los escurrimientos arrastran gran cantidad de sedimentos hacia la parte baja de la cuenca, lo cual resta capacidad de almacenamiento a la presa Dolores, por lo que se recomienda mejorar la condición hidrológica en la cuenca aumentando la cobertura forestal.

Utilizando los mismos parámetros de calibración obtenidos en el MPE para la cuenca en su condición actual, se obtuvieron los hidrogramas para una mejor condición hidrológica, lo cual supone una mayor cobertura vegetal en la cuenca, y para una condición hidrológica mala donde se supone una disminución en la capacidad de retención de los escurrimientos debido a la pérdida de área con vegetación.

De los resultados del estudio hidrológico se observa que mejorando la condición hidrológica en la cuenca los coeficientes de escurrimiento disminuyen un 15%, por el contrario si continúa disminuyendo la cobertura vegetal de la cuenca los escurrimientos podrían aumentar un 25%. En el estudio se presentan las zonas donde es posible mejorar la cobertura vegetal en la cuenca.

En las siguientes tablas se muestran los gastos y volúmenes máximos asociados a tormentas con distintos periodos de retorno para estos dos escenarios futuros.

Tabla 6.8 Escenario futuro para una buena condición hidrológica de la cuenca.

CUENCA	Tr								
DOLORES	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Lluvia	41.01	52.27	59.62	66.96	76.06	82.98	89.89	99.00	105.83
Ce	0.18	0.22	0.23	0.25	0.27	0.28	0.28	0.30	0.31
Qmáx (m³/s)	5.40	8.20	10.08	12.06	14.74	16.71	18.71	21.61	24.46
Vexceso(Miles m³)	32.24	48.81	59.85	71.36	86.87	98.23	109.76	126.40	142.66

Tabla 6.9 Escenario futuro para una buena condición hidrológica de la cuenca.

CUENCA	Tr								
DOLORES	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Lluvia	41.01	52.27	59.62	66.96	76.06	82.98	89.89	99.00	105.83
Ce	0.27	0.32	0.34	0.36	0.38	0.40	0.41	0.42	0.44
Qmáx (m³/s)	8.10	12.40	15.18	18.04	21.83	24.59	27.38	31.33	35.07
Vexceso(Miles m³)	47.77	72.13	87.90	104.08	125.48	141.11	156.87	179.22	200.22

Para el estudio hidráulico se considerarán los dos escenarios futuros, si se interviniera en la cuenca para mejorar su condición hidrológica actual (Condición Buena) o por contrario si no se hiciera nada para mejorar su condición (Condición Mala). En el modelo hidrodinámico se podrán analizar los niveles y velocidades alcanzados con estos dos escenarios.

Para el control de la velocidad de los escurrimientos y disminución del arrastre de sedimentos, se recomienda la construcción de represas de gaviones sobre los cauces principales de la cuenca.

Se realizó una primera propuesta para la ubicación de las represas, tomando en cuenta la topografía y la mancha urbana se ubicaron 14 zonas sobre los escurrimientos principales de la cuenca. En el modelo hidrodinámico se verificarán estas zonas y se determinarán los niveles y velocidades alcanzadas en los sitios, posteriormente con la visita a campo se corroborará su factibilidad de construcción.

La cuenca Dolores recibe descargas de agua residual de la zona urbana que se encuentra dentro de la cuenca las cuales contaminan los suelos y los escurrimientos de la cuenca. De la visita de campo se ubicaron 152 descargas. Con la información de los microconsumos de agua potable del año 2020 en las manzanas ubicadas dentro de la cuenca y del censo de población de INEGI del año 2020, se determinaron los consumos de las manzanas.

Para estimar el gasto en cada punto de descarga localizado, se asociaron geográficamente diferentes grupos de puntos de descargas a las manzanas

que vierten a la barranca, se dividió el gasto total diario entre el número de descargas asociadas a cada manzana y se aplicó el factor de 0.85 para conocer el caudal de aguas residuales. Para el caso de los puntos ubicados dentro del bosque donde no se cuenta con medición de consumos, se hizo un promedio del consumo diario de las mediciones de consumos no domésticos, el estimado fue de 0.052 l/s una vez aplicando el factor de 0.85, se les dio dicho valor a las descargas dentro de la cuenca donde no hay mediciones cercanas. Los gastos en las descargas se utilizarán para diseñar las obras de captura y tratamiento de las mismas.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (2009). Fundamentos de hidrología de superficie. Capítulo 3. 303 p.p. ISBN:978-968-18-3014-4. México.
- Cerquera, M. C. (2012). El Bosque de Chapultepec y la Transformación de su Entorno. CDMX: Tesis. facultad de Ingeniería. UNAM.
- Cisneros, D. R. (2018). Propuesta de Plan de Manejo y Restauración Ambiental de la Tercera Sección del Bosque de Chapultepec. Resumen. CDMX. UNAM.
- Baeza Ramírez, Carlos. Estimación regional de factores de convectividad para el cálculo de las relaciones intensidad-duración-frecuencia, Tesis de Maestría, Facultad de Ingeniería, UNAM septiembre 2007.
- Base datos CLICOM. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Campos A., Daniel F y Gómez de Luna, R. Procedimiento para obtener curvas i-d-Tr a partir de registros. Revista Ingeniería Hidráulica en México, vol. V, num. 2, mayo-agosto 1990, pp 39-52.
- Chen, Ch. Rainfall Intensity-Duration-Frequency Formulas. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, N. 12, December, 1983
- Chow, V. T, Maidment, D.R., Mays, L. W (1994) Hidrología aplicada, Capitulo I. 584 p.p. ISBN 0-07-010810-2. Colombia.
- Domínguez. M. R., Esquivel G. G., Baldemar M. A., Mendoza R. A., Arganis J. M. L. (2008). "Manual del Modelo Pronóstico de Esguerramiento", Series del Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Domínguez, M, R. et. al. (2017) "Estudio para regionalizar los gastos generados por avenidas máximas, como base para la elaboración de mapas de peligro por inundaciones fluviales en todas las cuencas de la República Mexicana". Informe Técnico elaborado para el Centro Nacional de Prevención de Desastres. México.
- Base datos CLICOM. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Escalante A. y Reyes L. (2008). Técnicas estadísticas en hidrología, 2ª. Ed., primera reimprisión. Capítulo VIII. 298 p.p. ISBN 970-32-0173-3. México.
- Franco C. (1998). Análisis regional de lluvias convectivas aplicación al Valle de México. Tesis de Maestría. División de estudios de posgrado. Facultad de Ingeniería. UNAM.
- Guichard Romero, Delva, 2005. Influencia de la variabilidad espacio-temporal de la intensidad de lluvia en la respuesta hidrológica durante episodios de crecida. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, España

- Modelo digital de elevación, escala 15m, Instituto de Información Geográfica (INEGI)
- Modelo digital de elevación lidar 5m, Instituto de Información Geográfica (INEGI)
- Mapas digitalizados de uso y tipo de suelo a escala 1:5,000 de la SEDEMA, 2018.
- Springal, Rolando (1970). Hidrología. Primera parte. Serie azul del Instituto de Ingeniería de la UNAM.
- Taller de Ingeniería y Diseño, S.A de C.V. Desarrollo De Estudio Hidrológico Y Proyecto Conceptual Hidráulico De La Tercera Sección Del Bosque De Chapultepec, 2017. CDMX
- USACE. (2001). "Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System HEC-HMS", Technical Reference Manual.
- USACE, (2003). "Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modeling System HEC-GeoHMS", User's Manual.