



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA

OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS
FOTOGRAMÉTRICOS EN EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS
INTERMITENTES.

TESIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS

PARA OBTENER EL GRADO DE

INGENIERO CIVIL

Presenta

Ezequiel Sánchez Reza

José Alberto Cano Piña

Dirigido por:

M. en C. Luis Ángel Miranda Sánchez

C U., Querétaro, Qro. Octubre 2024.

La presente obra está bajo la licencia:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Usted es libre de:

Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo los siguientes términos:



Atribución — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



SinDerivadas — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Licenciatura en Ingeniería Civil

OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS
FOTOGRAMÉTRICOS EN EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS
INTERMITENTES.

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero Civil

Presenta

Ezequiel Sánchez Reza

José Alberto Cano Piña

Dirigido por:

M. en C. Luis Ángel Miranda Sánchez

M. en C. Luis Ángel Miranda Sánchez

Presidente

Dr. Eusebio Jr. Ventura Ramos

Secretario

M. en C. Gerardo Medellín Aguilar

Vocal

Dra. María de la Luz Pérez Rea

Suplente

DRA. MARÍA DE LA LUZ PÉREZ REA
DIRECTORA DE LA FACULTAD

A LA FAMILIA

RESUMEN

El presente trabajo brinda una mejora en las metodologías actuales de obtención de batimetría, donde mediante el uso de los drones se logra obtener de una manera más fácil y práctica, viéndose reflejado en los aspectos de tiempo y económicos en comparación con las metodologías de uso tradicional.

Actualmente la batimetría es una técnica utilizada para la realización de distintos trabajos desde la obtención de cartas topográficas, mapas batimétricos, curvas de nivel (Lizano, 2010). Es por ello, que la implementación de este tipo de técnicas con el uso de Drones para el monitoreo de cuerpos de agua de régimen intermitente resulta importante, pues, nos ayuda en conocer cuál es la cantidad de almacenamiento de este y así tener un control en el tema hídrico.

Se logró minimizar el tiempo en la obtención de datos en campo, menor personal y determinar cuáles son las diferencias de ejecución.

Por lo tanto, se requirió tener cuerpos de régimen intermitente para que el acceder a las partes más profundas no sea un obstáculo en nuestro trabajo y obtener los datos de batimetría mejorando los procesos en tiempo de ejecución y costo.

(Palabras clave: Batimetría, Fotogrametría, Dron, Escurrimientos Intermitentes)

ABSTRACT

This work provides an improvement in the current methodologies for obtaining bathymetry, where the use of drones can be obtained in an easier and more practical way, which is reflected in the time and economic aspects compared to traditional methodologies.

Currently, bathymetry is a technique used for the realization of different works from obtaining topographic charts, bathymetric maps, contour lines (Lizano, 2010). Therefore, the implementation of this type of techniques with the use of drones for the monitoring of water bodies of intermittent regime is important, since it helps us to know the amount of storage of the same and thus have a control in the water issue.

The aim is to minimize the time required to obtain data in the field, reduce the number of personnel and determine the differences in execution.

Therefore, it is required to have bodies of intermittent regime so that access to the deepest parts is not an obstacle in our work and obtain bathymetry data improving the processes in execution time and cost.

(Key words: Bathymetry, Photogrammetry, Drone, Intermittent runoffs)

AGRADECIMIENTOS

Ezequiel Sánchez Reza

A mis padres, por brindarme el apoyo y la motivación de concluir mis estudios sin importar que en ocasiones se volviera complicado el que estuviera lejos de casa.

A mis hermanos, por siempre regalarme palabras de aliento.

A Dios, por permitirme cumplir esta meta en mi vida.

A mi amigo y compañero de tesis José Alberto Cano Piña, por brindarme su amistad durante nuestro tiempo de universitarios y por aceptar el reto de colaborar en este trabajo.

José Alberto Cano Piña

Esta tesis va dedicada principalmente a mi mamá, quien es el pilar más importante de mi vida.

A mi familia que me brinda su apoyo incondicional. Así mismo, agradecer el apoyo de mi pareja y amigos con los que he disfrutado esta grandiosa etapa de mi vida; en especial a mi compañero y amigo Ezequiel con el cual, hombro a hombro, plasmamos en papel nuestros ideales y compañerismo, redactados en las siguientes páginas.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
ÍNDICE GENERAL.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 Batimetría.....	16
1.2 Tecnologías de obtención batimétrica.....	17
1.3 Drones.....	17
Tabla 1. Caracterización de drones (NOM-107-SCT3-2019, 2019).....	18
1.4 Escurrimientos intermitentes.....	18
1.5 Fotogrametría.....	19
1.6 Pix4d Capture.....	20
2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	22
3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....	23
3.1 Hipótesis.....	23
3.2 Objetivo General.....	23
3.3 Objetivos particulares.....	23
4. MARCO TEÓRICO.....	24
4.1 Topografía.....	24
4.2 Fotogrametría.....	24
4.3 Drones, como funcionan y componentes.....	24
Figura 1. Drone Phantom 4 pro (Phantom, 2023).....	25
4.4 Pix4d Capture en toma de información.....	26
4.5 Procesamiento con Agisoft Photoscan.....	27
Figura 2. Restitución de imágenes (Roberto, 2017).....	27
4.6 Generación de planos y manejo de información con AutoCAD.....	28
4.7 Curvas áreas capacidades.....	29

4.8 Batimetría	29
5. METODOLOGÍA	30
5.1 Definición y caracterización de área de estudio y aspectos generales para la planeación del vuelo	31
Figura 3. Ubicación del Bordo Truchuelo, imagen obtenida de Google Earth Pro.	32
5.2 Definición del área de estudio	32
Figura 4. Mapa de ubicación de bordo Truchuelo, imagen obtenida de Google Maps.	33
Figura 5. Vista frontal aérea de la cortina del bordo.	34
Figura 6. Cauce aguas abajo.	34
5.3 Caracterización del área de estudio	35
Tabla 2. Caracterización de la zona de estudio.	36
Figura 7. Vista de inicio del vertedor, a un costado de la cortina.	36
Figura 8. Vegetación existente en la cortina compuesta de materiales graduados.	37
Figura 9. Puente de vialidad por donde sigue el flujo del agua.	37
Figura 10. Vado en vialidad.	38
5.4 Aspectos de la planeación del vuelo con Dron	39
5.5 Ejecución del levantamiento fotogramétrico con dron y obtención de las características físicas del sitio.	40
5.5.1 Levantamiento Fotogramétrico con dron	40
5.5.2 Obtención de las características físicas del sitio	42
Figura 11. Materiales constitutivos de la cortina.	42
Figura 12. Vegetación existente en la zona de estudio (INEGI, 2009).	43
Figura 13. Cauces principales (INEGI, 2010).	44
Figura 14. Tipo de suelo en la zona (INEGI 2007).	44
5.6 Analizar y procesar la información para la obtención del modelo digital de elevaciones y ortofoto, así como las curvas de nivel.	45
5.6.1 Análisis y procesamiento de información Aguisoft Photoscan.	45
5.6.2 Obtención del modelo digital y ortofoto con Aguisoft Photoscan.	45
Figura 15. Ortomosaico y modelo digital de elevaciones.	47
Figura 16. Ruta de vuelo programada y ejecutada (puntos azules: captura de imagen).	48

Figura 17. Numero de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel de ortomosaico.	49
Figura 18. Vista superior de las posiciones calculadas de las imágenes con un vínculo de posición coincidentes entre ellas.	50
5.6.3 Obtención de las curvas de nivel.....	51
Figura 19. Proceso de obtención de curvas de nivel.	52
5.7 Obtención de curvas de áreas capacidades.....	53
5.8 Evaluación de costo, tiempo-ejecución, calidad de resultados en la utilización de ambas técnicas de obtención de la batimetría.....	53
5.8.1 Evaluación del costo.....	54
5.8.2 Evaluación del tiempo-ejecución	54
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
6.1 Definición y caracterización del área de estudio.....	55
Figura 20. Localización del área de estudio.....	56
Tabla 3. Caracterización de la zona de estudio.	56
6.2 Aspectos de planeación de vuelo con dron.	57
Figura 21. Condiciones de vuelo en aplicación UAV Forecast.	57
Figura 22. Vista aérea del vertedor, cortina y obra de toma.	58
6.3 Levantamiento fotogramétrico.	58
6.4 Resultados del análisis y procesamiento de la información para la obtención del EDM (Elevation Digital Model) y ortofoto, así como las curvas de nivel.	59
6.4.1 Resultados del análisis.....	59
Tabla 4. Error obtenido en reporte.	59
6.4.2 Obtención del EDM y ortofoto.	59
Figura 23. Ortofoto.....	60
6.4.3 Obtención de las curvas de nivel.....	60
Figura 24. Visualización de puntos en AutoCAD.	61
Figura 25. Triangulación visualizada en AutoCAD.....	61
Figura 26. Ortofoto con mallado de triangulación visualizada en AutoCAD.....	62
Figura 27. Representación de curvas de nivel.	63
Figura 28. Planta general del bordo, con curvas de nivel y estaciones sobre eje..	64
6.4.4 Obtención de curva áreas capacidades.	65

Figura 29. Perfil del bordo Truchuelo.....	65
Figura 30. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-02)	66
Figura 31. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-03)	67
Figura 32. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-04)	68
Figura 33. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-05)	69
Figura 34. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-06)	70
Figura 35. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-07)	71
Figura 36. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-08)	72
Figura 37. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-09)	73
Figura 38. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-10)	74
Figura 39. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-11)	75
Figura 40. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-12)	76
Figura 41. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-13)	77
6.5 EVALUACIÓN DE COSTO, TIEMPO-EJECUCIÓN, CALIDAD DE RESULTADOS.	78
6.5.1 Evaluación del costo.....	78
Tabla 5. Comparación de precios en actividades.	81
6.5.2 Evaluación del Tiempo-Ejecución	81
Tabla 6. Comparación de tiempos en técnicas de levantamiento topográfico.	81
7. CONCLUSIONES	88
8. REFERENCIAS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de drones (NOM-107-SCT3-2019, 2019).....	18
Tabla 2. Caracterización de la zona de estudio.	36
Tabla 3. Caracterización de la zona de estudio.	56
Tabla 4. Error obtenido en reporte.	59
Tabla 5. Comparación de precios en actividades.	81
Tabla 6. Comparación de tiempos en técnicas de levantamiento topográfico.	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Drone Phantom 4 pro (Phantom, 2023).	25
Figura 2. Restitución de imágenes (Roberto, 2017).	27
Figura 3. Ubicación del Bordo Truchuelo, imagen obtenida de Google Earth Pro.	32
Figura 4. Mapa de ubicación de bordo Truchuelo, imagen obtenida de Google Maps.	33
Figura 5. Vista frontal aérea de la cortina del bordo.	34
Figura 6. Cauce aguas abajo.	34
Figura 7. Vista de inicio del vertedor, a un costado de la cortina.	36
Figura 8. Vegetación existente en la cortina compuesta de materiales graduados.	37
Figura 9. Puente de vialidad por donde sigue el flujo del agua.	37
Figura 10. Vado en vialidad.	38
Figura 11. Materiales constitutivos de la cortina.	42
Figura 12. Vegetación existente en la zona de estudio (INEGI, 2009).	43
Figura 13. Cauces principales (INEGI, 2010).	44
Figura 14. Tipo de suelo en la zona (INEGI 2007).	44
Figura 15. Ortomosaico y modelo digital de elevaciones.	47
Figura 16. Ruta de vuelo programada y ejecutada (puntos azules: captura de imagen).	48
Figura 17. Numero de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel de ortomosaico.	49
Figura 18. Vista superior de las posiciones calculadas de las imágenes con un vínculo de posición coincidentes entre ellas.	50
Figura 19. Proceso de obtención de curvas de nivel.	52
Figura 20. Localización del área de estudio.	56
Figura 21. Condiciones de vuelo en aplicación UAV Forecast.	57
Figura 22. Vista aérea del vertedor, cortina y obra de toma.	58
Figura 23. Ortofoto.	60
Figura 24. Visualización de puntos en AutoCAD.	61
Figura 25. Triangulación visualizada en AutoCAD.	61
Figura 26. Ortofoto con mallado de triangulación visualizada en AutoCAD.	62

Figura 27. Representación de curvas de nivel.....	63
Figura 28. Planta general del bordo, con curvas de nivel y estaciones sobre eje..	64
Figura 29. Perfil del bordo Truchuelo.....	65
Figura 30. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-02)	66
Figura 31. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-03)	67
Figura 32. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-04)	68
Figura 33. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-05)	69
Figura 34. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-06)	70
Figura 35. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-07)	71
Figura 36. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-08)	72
Figura 37. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-09)	73
Figura 38. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-10)	74
Figura 39. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-11)	75
Figura 40. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-12)	76
Figura 41. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-13)	77

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva Área-Capacidades	78
Gráfica 2. Tiempo-Ejecución de las actividades.	82
Gráfica 3. Llegada al punto de inicio de los trabajos.....	82
Gráfica 4. Preparación del equipo para inicio de actividades.	83
Gráfica 5. Desarrollo de los trabajos para obtención de información.....	84
Gráfica 6. Desmontaje y resguardo de los equipos.	85
Gráfica 7. Procesamiento de la información en gabinete.....	86
Gráfica 8. Generación de entregables.	87

1. INTRODUCCIÓN

A escala mundial, se estima que hay aproximadamente 1386 billones de hectómetros cúbicos (hm³) de agua. De esta cantidad, un pequeño porcentaje del 2.5% aproximadamente, es agua dulce, equivalente a 35 billones de hectómetros cúbicos. El resto es agua salada. (Agua en el planeta – agua.org.mx, 2017). De la cantidad anteriormente mencionada no se cuenta con una disponibilidad del 100% debido a que el 68.7% se encuentra en los glaciares y del otro 31.3%, de las cuales dependen 2,500 millones de personas, únicamente el 0.4% son aguas superficiales. Siendo las presas la principal fuente de captación y almacenaje de agua superficial (SEMARNAT, 2014).

Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2018), México cuenta con más de 5 mil presas y bordos en su territorio. De estas, 180 presas representan el 82% del agua total utilizable en el país. El país cuenta con una capacidad de almacenamiento de aguas en presas de aproximadamente 150 mil millones de m³. Además, según Arreguín-Cortés *et al.* (2013), más de 9.3 millones de hectáreas de tierras agrícolas, de las cuales 6.4 millones son de cultivo y 2.9 millones de cultivos temporales, mismos que dependen directamente del agua almacenada en las presas para su riego y producción.

En Querétaro, la precipitación anual promedio es de 736 mm. Sin embargo, solo una pequeña parte de esta agua se utiliza de manera efectiva. El 71.6% se evapora y regresa a la atmósfera, mientras que únicamente el 22.2% escurre superficialmente y el resto se filtra en el subsuelo. De esta agua que escurre superficialmente, el 61% se destina a la agricultura, seguida del 32% al abastecimiento público y únicamente el 1% está destinado a plantas termoeléctricas. Tomando en cuenta que ese 22.2% es de escurrimientos superficiales, los elementos principales en su contención son bordos y presas, los cuales muchas veces son de carácter intermitente, por ello estos cuerpos de

almacenaje son monitoreados por medio de la batimetría para poder monitorear y regular sus niveles de azolve (CONAGUA, 2014).

La batimetría es una técnica fundamental para la obtención de datos sobre la forma y características de los embalses. Esta técnica permite determinar aspectos críticos como la sedimentación periódica que ocurre en estos cuerpos de agua, especialmente en aquellos con escurrimientos intermitentes, donde su ingreso hídrico proviene principalmente de escurrimientos superficiales, provocando arrastres importantes de material granular fino y elementos orgánicos que alteran la volumetría del embalse (Jom, 2010).

El avance de la tecnología nos ayuda a facilitar la obtención de información respecto a los trabajos ejecutados, una de estas tecnologías es el uso de dron en la obtención de topografía los UAV generan una ortofoto la cual contiene una mejor calidad que mapas, al acceder a áreas con mayor dificultad. Con la ayuda de los drones se nos permite obtener información importante con calidades altas en un tiempo mayormente reducido en campo, además de que se nos facilita el acceso, el costo de equipos y la reducción del personal de acuerdo con las tareas a ejecutar (Berrío *et al.*, 2015).

Por lo tanto, se requiere que el monitoreo de estas presas se realice periódicamente para analizar capacidades, azolves y distribución de estas. Además, es necesario que en el análisis batimétrico se implementen nuevas metodologías, considerando las nuevas tecnologías que se van presentando, resaltando el uso de drones para la obtención de la topografía, eficientando los trabajos, en aspectos como el tiempo de ejecución. Siendo así una alternativa metodológica más accesible económicamente, pudiendo tener un mayor registro en el monitoreo de embalses de escurrimientos intermitentes, para proyección en trabajos futuros en los cuales se vean involucrados.

Con el pasar del tiempo y la creciente necesidad por desarrollar métodos y técnicas de medición de la profundidad de cuerpos de agua, desde técnicas

que van de lo simple hasta técnicas muy complejas (Grządziel, Artur, 2023). Es por ello, por lo que la batimetría llega a ser una técnica que impulsa a utilizarse para el control de embalses de cuerpos de agua, en los cuales su régimen es intermitente logrando facilitar la obtención de datos para observar cuales son los cambios con el pasar del tiempo. En temas de área- capacidad y con ello tener técnicas de bajo coste en la implementación de nuevas tecnologías, obteniendo una resolución en las mediciones de buena calidad (Avilés & Gareca, 2022).

1.1 Batimetría

La batimetría es un estudio que consiste en realizar actividades para la obtención de valores de profundidad para representar la superficie de fondo de los cuerpos de agua, esto a cualquier nivel de llenado, que va desde el vaciado completo hasta la máxima capacidad, siendo implementada en océanos, mares, lagos y construcciones subacuáticas. La altimetría toma en cuenta la medición de la superficie terrestre, la batimetría es el equivalente, pero en submarino (Romero & Pineda, 2007). En la actualidad, esta técnica se utiliza para la realización de distintos trabajos desde la obtención de cartas topográficas, mapas batimétricos, curvas de nivel (Lizano, 2010). Además, se utiliza para determinar la cantidad de sedimentos que se encuentran acumulados en las profundidades de distintos cuerpos de agua en que se pretende conocer las condiciones de almacenamiento y en ocasiones lograr identificar posibles zonas en las cuales se reduzca de manera considerable el volumen de captación debido al arrastre de sedimentos que se tenga dependiendo de las condiciones del suelo aguas arriba.

Algunas de las técnicas empleadas en obtener la batimetría de un cuerpo de agua, es la implementación de vehículos de superficie no tripulados, vehículos aéreos no tripulados (Lubczonek *et al.*, 2022). Otros métodos recurren a ecosondas y en zonas donde las profundidades llegan a ser poco profundas, resulta más conveniente el uso de cintas métricas, siendo esta última una de las

principales técnicas utilizadas desde los inicios de la batimetría, junto con el cable y la cuerda pesada (Lizano, 2010). Además de los métodos directos, también se emplean métodos indirectos en los que destaca la obtención de datos para su procesamiento como lo son los enlaces CTD (Conductivity, Temperature y Depth) (Vázquez- Figueroa *et al.*, 2007).

1.2 Tecnologías de obtención batimétrica

Es importante destacar que con el pasar del tiempo, se han desarrollado numerosos instrumentos para llevar a cabo este tipo de trabajos, desde objetos con tecnología LIDAR (Airborne Light Detection and Ranging), así como, estaciones o sondas que emiten ondas para medir la superficie debajo del agua (Tristan *et al.*, 2010). En algunos de estos métodos implementados su metodología es diferente de los otros, por ejemplo, las tecnologías de teledetección satelital (RS) suelen ser métodos más efectivos y económicas para realizar una batimetría de una manera remota y con un mayor alcance (Jawak *et al.*, 2015).

1.3 Drones

Los drones son herramientas que se han implementado en proyectos de ingeniería para facilitar los mismos y se conocen de diferentes nombres como lo son vehículos aéreos no tripulados (UAV), sistemas aéreos no tripulados (UAS) y sistemas aéreos tripulados a distancia (RPAS) encontrándose en el mercado en diversas presentaciones como: aviones de ala fija, helicópteros en miniatura, globos, dirigibles, cometas y aeronaves multirrotor (Klemas, 2015).

En México, se han establecido regulaciones para el uso de los drones que va desde el año 2016, hasta la normativa más reciente de los años 2019 la cual establece “Los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio aéreo mexicano”, dicha norma es NOM-107-SCT3-219. Esta norma detalla los requisitos que deben cumplir las personas que

los acrediten como piloto, así como los formatos para el registro y las restricciones de vuelo que se deben considerar, siendo punto clave la clasificación de los mismos respecto a su peso.

Tabla 1. Caracterización de drones (NOM-107-SCT3-2019, 2019).

CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE AERONAVES PILOTADAS A DISTANCIA		
<u>PESO MÁXIMO DE DESPEGUE</u>		<u>USO</u>
<i>Igual o menor a 2 kg</i>	<u>RPAS Micro</u>	Recreativo
		Privado No comercial o Comercial
<i>Mayor a 2 kg y hasta 25 kg</i>	<u>RPAS Pequeño</u>	Recreativo
		Privado No comercial o Comercial
<i>Mayor a 25 kg</i>	<u>RPAS Grande</u>	Recreativo
		Privado No comercial o Comercial

En un estudio realizado por Bilbao en 2020, efectuó una comparación de diferentes métodos para la obtención de la topografía. Entre las técnicas evaluadas, una de las es la implementación de drones y con ello obtener distintos trabajos como son información cartográfica digital, fotografías aéreas e información de ríos y canales, donde se demostró que es viable hacer estos trabajos con drones. Aunado a lo anterior, cabe hacer mención que en ocasiones no es fácil el acceso para realizar los trabajos si éstos se realizan con la metodología tradicional y se opta en alternativas que lo haga más sencillo el trabajo como lo expresa Miguel Ángel & José Aniceto (2021).

1.4 Esguerrimientos intermitentes

Un esguerrimiento intermitente o un cuerpo de régimen intermitente se caracteriza por presentar un flujo de agua u captación durante temporada de

lluvias, mientras que en periodos secos el flujo nulo, siendo más común este tipo de régimen en lugares de climas semiáridos (Basile, 2018). En el estado de Querétaro, se identifican tres zonas con climas diferentes, clima templado en la zona sur, al norte un clima seco y semiárido prevaleciendo al norte un clima cálido y semiárido; La precipitación anual promedio es de aproximadamente 681 mm, en que los factores antes mencionados causan variaciones teniendo una diferencia de lluvia de 500 a 600 mm en zonas bajas y de 400 a 1700 mm en zonas montañosas, según Guevara (2006). Dadas las condiciones hidrológicas del estado de Querétaro se tiene que los flujos intermitentes son predominantes en las zonas en las que se pretende intervenir para la realización de este trabajo y es sabido que las temporadas en las que las lluvias llegan a ser más constantes es en los meses de junio a julio.

1.5 Fotogrametría

La fotogrametría es una disciplina que combina ciencia y tecnología para extraer información geométrica y temática tridimensional fiable, de objetos y escenas a partir de datos de imágenes y rangos (Shan *et al.*, 2020). Siendo la fotogrametría una solución de medición efectiva que se utiliza en la ingeniería civil (Schuch *et al.*, 2019). Un sistema de fotogrametría básico cumple con elementos sencillos como una cámara y objetos retro reflectantes, pero también demanda una preparación en software, posicionamiento de la cámara, recopilación y procesamiento de las imágenes y una reconstrucción de 3D (Likun Wang *et al.*, 2023). Además, el sistema de fotogrametría debe tener la capacidad de tener un amplio campo de visión para cubrir el objeto de estudio (Mavrinac y Chen. 2013). Sin embargo, resulta complicado que en la mayoría de los proyectos se logre cubrir el área con una sola imagen, por lo que resulta necesario obtener una serie de fotografías para obtener una representación más confiable. Aunado a lo anterior, cabe hacer mención que la calidad de la imagen depende de las condiciones en las que se realicen los vuelos y la calidad que

brinde la cámara, resultando en ocasiones en la obtención de imágenes que no sea claro el objeto.

1.6 Pix4d Capture

El programa Pix4d Capture, desarrollado en 2011, permite crear modelos y mapas digitales en 2D y 3D georreferenciados con una alta calidad a partir de imágenes obtenidas de drones (Costales, 2018).

Cabe hacer mención que parte del manejo de la información que se realiza para obtener resultados tangibles están detrás el uso de software como lo es Pix4d Capture y Agisoft Photoscan en los cuales se descarga la información obtenida de los vuelos que se planean (hablando en caso de requerirse por la extensión del terreno) y para ello es sabido que los procesos arrojan información importante que va desde la generación de ortomosaico, modelo de teselas, una malla poligonal y a su vez una nube de puntos densa ya que en lo softwares esa es la forma en que el procesamiento lo hacen (generar puntos con diferentes elevaciones en los que forman una vista en 3D que facilite la interpretación de la información. (Costales, 2018).

Un mosaico es un conjunto de imágenes capturadas de una o varias cámaras (Escalante Torrado & Porras Díaz, 2016), dichas imágenes en el procesamiento suelen transponerse una sobre otras en determinadas áreas y que ello es motivo para lograr una mejor recreación de las zonas capturadas, punto subsecuente característico es la corrección de estas para eliminar en mayor parte posible errores que se generaron en el vuelo y que el resultado de ese proceso se denomina como un ortomosaico. Un modelo de teselas es una red de triángulos interpolados (Ardila, *et al.*, 2021) que permite corregir los puntos obtenidos para crear un sólido en el cual se mejora temas de reducción de espacios y que el proceso de la información sea más rápido obteniendo de este paso una visualización de algún objeto con mejor calidad y nitidez.

Se sabe que no siempre la información que se obtiene en campo tiene las características necesarias para realizar el trabajo final, sino que, para ello la implementación de este tipo de softwares son útiles para alcanzar resultados de calidad y no existan errores significativos en la presentación de la información dentro de los proyectos ejecutivos para los que estén destinados. Esto busca reducir la cantidad de errores humanos (que aun así existen) y evitarlo en lo posible.

Los estudios en embalses de escurrimientos intermitentes son de gran utilidad para las entidades encargadas en temas de supervisión de los recursos hídricos. Para así, conocer rápidamente y de una forma accesible las condiciones de los cuerpos de agua que cuenten con las características planteadas con anterioridad, para que así sea de utilidad en caso de que las condiciones de este llegaran a cambiar, y con esto, tener un control de cuál es la capacidad conociendo los niveles de azolve debido al arrastre de sedimentos resultando punto importante dado que el exceder su capacidad puede resultar en daños graves.

En este trabajo, se propone el uso de fotogrametría para obtener la batimetría en embalses intermitentes y compararla con las metodologías tradicionales en términos de tiempo, costo y ejecución, las cuales llegan a ser más tardadas y con ello más costosas. Los embalses seleccionados cuentan con un régimen intermitente, lo que facilita el acceso y reconocimiento a detalle de los cuerpos de agua ya que si estos tuvieran almacenada agua en su interior el análisis implicaría que las elevaciones no fueran las del terreno debajo del agua, sino, las de la superficie de esta.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las metodologías actuales se pueden evaluar principalmente por el costo de una batimetría convencional para la obtención de curvas de nivel y datos referentes al azolve en embalses de cuerpos de escurrimiento intermitentes, donde es bastante elevada. Para ello se implementará una metodología la cual nos arroje resultados similares o aproximados a lo que se utiliza. Otro punto relevante son los tiempos de ejecución debido a que los métodos actuales de batimetría llegan a ser tardados y en ciertas ocasiones peligrosos en relación con la integridad de las personas al tratarse de profundidades y del equipo con el que se está trabajando. Se debe obtener la batimetría con un menor tiempo de trabajo en transportar el equipo y por consecuencia no lograr un fácil acceso la zona de estudio.

La obtención actual de la batimetría conlleva un amplio tiempo de ejecución en los trabajos, teniendo costos elevados, debido a los equipos y sus metodologías empleadas. Sin embargo, se ha demostrado buenos resultados en la obtención de topografía con dron (Schuch *et al.*, 2019). Por lo tanto, se debe implementar esta nueva tecnología en la obtención de información batimétrica, que reducirá tiempos de ejecución y por consecuente el costo de los trabajos a ejecutar.

En este trabajo de investigación proyectual se pretende reducir tiempo de ejecución y costo de obtención de batimetría, proponiendo esta metodología con el uso de dron. Aplicado únicamente para embalses de escurrimientos intermitentes en condiciones de vaciado, tratando que la calidad de los resultados sea funcional para un análisis posterior.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

3.1 Hipótesis

Al implementar el uso de drones para la obtención de datos de batimetría en embalses de escurrimientos intermitentes, se puede reducir significativamente costos y tiempos de ejecución de los trabajos de batimetría tradicionales.

3.2 Objetivo General

Generar una nueva alternativa en la obtención de la batimetría, realizando una comparación en cuanto a costo-tiempo- ejecución al utilizar fotogrametría respecto a las metodologías tradicionales en embalses de escurrimientos intermitentes.

3.3 Objetivos particulares

- Obtener un modelo digital de elevaciones que represente la batimetría de los sitios, mediante el procesamiento del levantamiento fotogramétrico con dron.
- Generar las curvas de Áreas-Capacidades, mediante el modelo digital de elevaciones y las curvas de nivel obtenidas, para definir las características de capacidad del embalse.
- Evaluar y comparar los tiempos y costos de ejecución de los trabajos realizados en la metodología propuesta y las actuales.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Topografía.

La topografía vista como una definición se tiene que es la obtención de características físicas de lo tenido en campo, principalmente la ubicación geográfica del área o puntos deseados. La topografía se puede dividir en dos actividades, la primera sería la toma de datos en campo, para lo cual existen diferentes procedimientos adecuados a los datos que se requieren obtener de las zonas a levantar, la segunda etapa es el proceso de la información en la que en la actualidad se realiza en distintos softwares, dando un mayor orden y calidad a los entregables, los cuales son en su mayoría planos sobre la información requerida.

4.2 Fotogrametría.

La fotogrametría según Sánchez (2017), es la obtención de la forma del terreno a base de fotografías tomadas de dos maneras, la fotografía aérea, la cual divide a su vez en tres campos los cuales son, la fotografía vertical, la oblicua y la panorámica. El otro tipo de toma de fotografía es la fotografía terrestre, la cual es menos utilizada para los procesos de toma de información topográfica de un sitio en particular.

4.3 Drones, como funcionan y componentes.

Los drones son equipos conocidos como aeronaves no tripuladas, las cuales permiten capturar información topográfica a raíz de la toma de fotografías en un orden programado, empalmando una con otra para una mayor calidad de la información, dando como resultado un mapeo en donde se puede obtener información como longitudes y profundidades precisas de elementos capturados durante una ruta de vuelo programada.

El dron tiene elementos dentro de su fuselaje como, componentes de telemetría, GPS, unidad de medición inercial, acelerómetros, giroscopios, estación de control a tierra y el componente principal que son las cámaras, permitiendo el registro de datos de buena precisión teniendo mínimos errores cuando se realiza un buen trabajo con estos equipos que poco a poco se han ido involucrando más en la obtención de la topografía (Phantom, 2023).

Dentro de nuestra toma de datos utilizaremos un dron Phantom 4 pro el cual, dentro de sus cualidades más importantes, son su alto rendimiento de vuelo, su cámara la cual para fotogrametría cuenta con 20 MP (mega pixeles), teniendo un captador mecánico, este es un sensor CMOS de 1", que, al combinarlo con un obturador mecánico se puede eliminar la distorsión en las imágenes que se capturan durante el vuelo, logrando imágenes de alta calidad.

Algo fundamental es su detección de obstáculos a la hora de realizar los vuelos, para ello este dron cuenta con sensores que detectan obstáculos en 5 direcciones haciendo seguro su vuelo a la hora de no tener un conocimiento de alturas para librar obstáculos. Por otra parte, cuenta con una duración máxima de 30 minutos de vuelo por batería. Por otro lado, su control tiene una distancia de alcance de 10 km lo que nos permite acceder de manera fácil a sitios complejos, que con algún otro equipo podría ser más difícil en la captura de información.



Figura 1. Dron Phantom 4 pro (Phantom, 2023).

4.4 Pix4d Capture en toma de información.

El programa Pix4D Capture, nos sirve como aplicación para la programación de rutas de vuelo, dicha aplicación es de uso libre. Su forma de trabajo es sencilla, en su apartado de programación de rutas de vuelo te permite observar de manera remota el área que precisas volar, esto con ayuda de imágenes satelitales que se enlazan con el programa en cuestión, se te presenta un a imagen del sitio y de manera aproximada, seleccionas de manera libre la creación de un polígono que se adapte a la forma de la zona que se requiere, la ruta te dice de donde iniciara y donde terminara la ruta de vuelo, dándote datos como la duración de la misión, líneas de fotografías, también te es posible determinar alturas de vuelo y la velocidad de la aeronave. Todas las configuraciones anteriores se pueden hacer de manera remota y se guarda la misión dentro del dispositivo, con el nombre que tú le hayas colocado.

Al realizar el levantamiento con el dron únicamente, se carga la misión al tener la conectividad correcta con el dispositivo y el mismo software te indica si las condiciones de vuelo son adecuadas, en base a la conectividad con el dron, de esta manera comienza con la captura de imágenes de acuerdo con la ruta programada en la misión y las imágenes capturadas las almacena tanto en el dron como en la memoria del dispositivo móvil.

4.5 Procesamiento con Agisoft Photoscan.

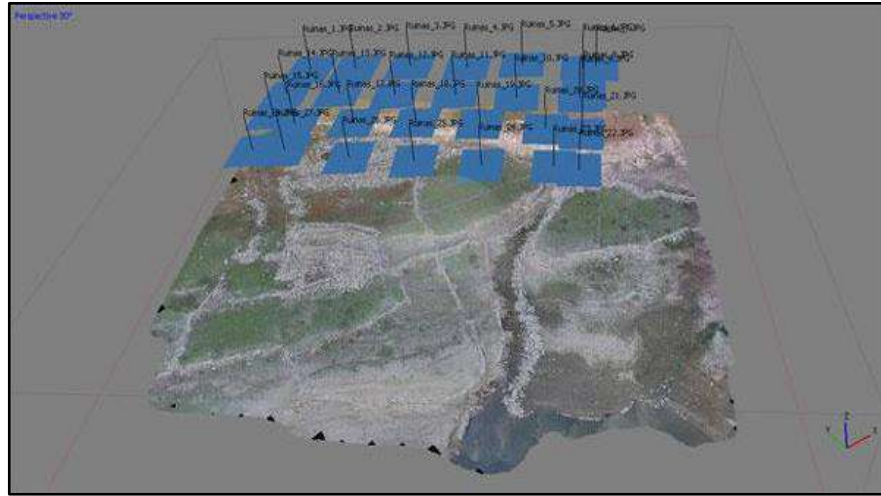


Figura 2. Restitución de imágenes (Roberto, 2017).

El software que utilizaremos es el Agisoft Photoscan versión 1.2.4, el procesamiento es sencillo y requiere de poco tiempo, dependiendo de la cantidad de imágenes capturadas (Kabata *et al.*, 2018). Se comienza con una orientación que permite dar mayor exactitud en cuanto a la ubicación precisa de las imágenes capturadas. Dentro del proceso uno de los puntos importantes es la obtención de una nube de puntos densa la cual nos permite conocer la profundidad de los objetos capturados por el dron lo cual es importante para la posterior obtención de las curvas de nivel. La creación de una malla poligonal ayuda a la unión de los puntos generados en la nube de puntos densa, lo que esta malla poligonal hace es la unión de puntos generando vectores al unirlos y a raíz de esos vectores se genera el modelo 3D. También se obtiene una textura la cual nos apoyara a que el modelo que se crea una apariencia más real a lo que se visualizó en campo. Otra de las partes que se obtiene es la generación de un modelo de teselas, para aumentar la calidad del ortomosaico, aunque en dicho proceso intervendrá el tamaño de píxel que se tenga de las imágenes capturadas. Además, se genera un modelo digital de elevaciones, que se crea a partir de la nube de puntos densa y nos permitirá editar dicha nube de forma manual para poder eliminar elementos dentro de ella que nos puedan interferir

en el resultado del trabajo. El programa nos permite crear un ortomosaico en donde se empleará el modelo digital de elevaciones teniendo así un resultado final en cuanto al procesamiento de imágenes se refiere.

Dentro de Agisoft Photoscan se nos permite obtener las curvas de nivel de la superficie levantada las cuales al ser obtenidas se exportarán al programa AUTOCAD para la generación de los planos finales, la exportación se realiza de manera sencilla en este programa ya que es muy variado los tipos de formatos de exportación.

4.6 Generación de planos y manejo de información con AutoCAD

AutoCAD es un software para el manejo de la información de topografía obtenida a raíz del procesamiento de Agisoft, siendo la ortofoto y las curvas de nivel las más esenciales, ya que este programa nos permitirá el manejo en cuanto al trazado delimitante de zonas importantes como la cortina del escurrimiento intermitente y el área que ocupa la altura de este mismo para eliminar información que no requiramos en la obtención de resultados. AutoCAD es sencillo de utilizar ya que el proceso que se lleva en este programa es de manera manual, trazando polilíneas y eliminando elementos que no intervengan en la investigación.

En la parte de generación de planos, se nos presenta un menú en la parte inferior en donde se pueden generar distintas presentaciones a raíz del trabajo echo en el modelado realizado, en estas presentaciones se nos dan opciones de tamaños de papel y calidades de trazado para obtener elementos más concisos. De igual manera que en el modelo se nos dan opciones de trazado de líneas para obtener una corbata adecuada al plano a presentar, pudiendo incluso agregar imágenes referentes a los logos de instituciones que en estos se requieran.

De esta manera se tiene que el software AutoCAD nos permite editar el procesamiento en Agisoft obteniendo un resultado más específico de lo que se

busca con la obtención de la información, dándonos como resultado los planos con los que posteriormente se podrán hacer los cálculos correspondientes.

4.7 Curvas áreas capacidades

Las curvas áreas capacidades, es un gráfico donde intervienen en la comprensión de un sitio en donde se planea ejecutar una obra de retención hidráulica (Aqua pro omnibus, 2017).

Para su obtención se requiere previamente la obtención de la batimetría del sitio, posteriormente se obtiene, a partir de los niveles, el área que abarca ese nivel y de igual forma el volumen que en esta elevación se puede generar a la hora de retener el agua.

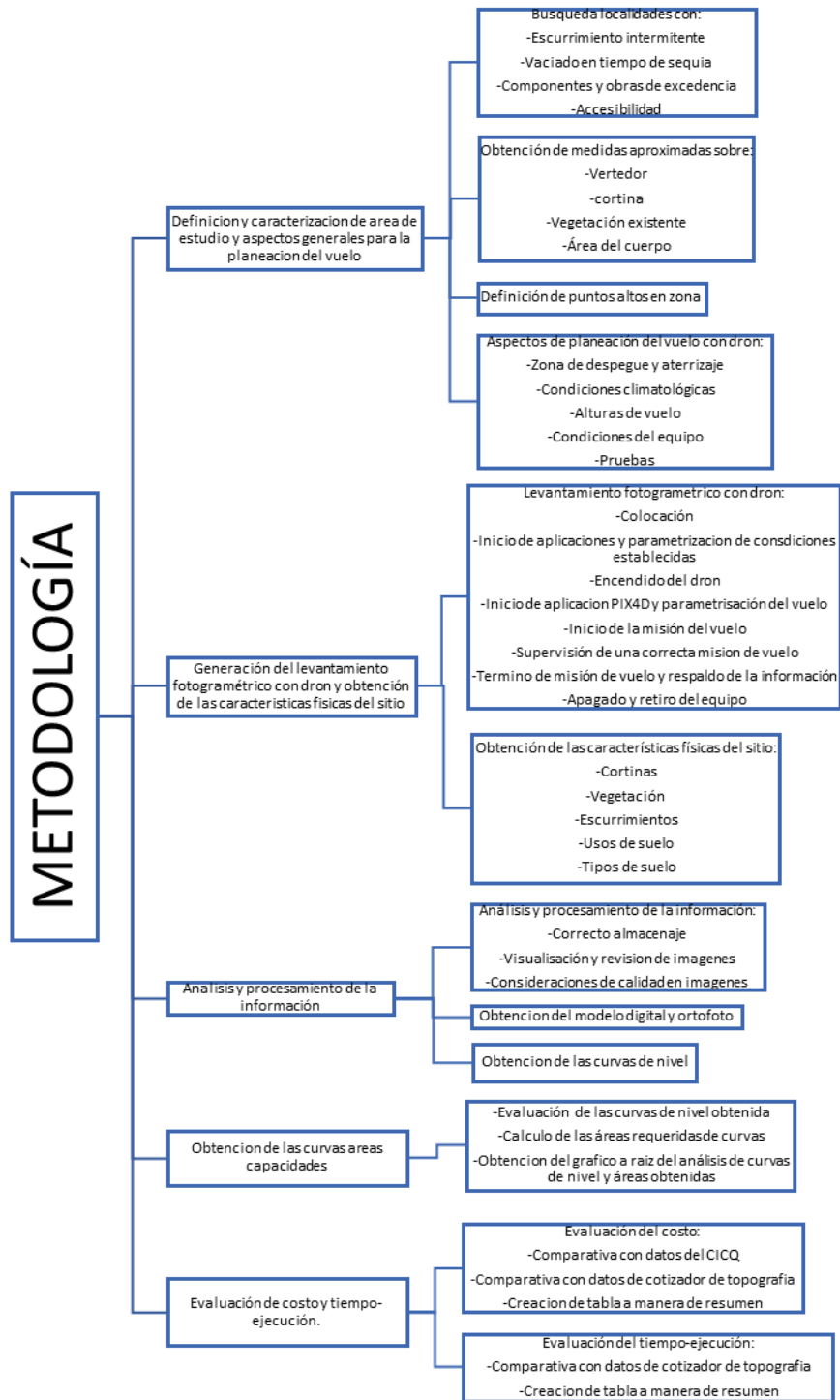
Los resultados obtenidos de estos gráficos nos permiten conocer la altura optima que deberá tener el embalse y también el poder, con esta información, medir niveles de azolve y poder monitorear los cuerpos de agua.

4.8 Batimetría

La batimetría como se logra apreciar en el trabajo de Arredondo *et al.* (1983) nos sirve para la obtención de las características topográficas de un cuerpo de agua, estando o no estando, conteniendo dicho líquido.

Su principal función al obtenerla es el monitoreo de niveles de azolves en los cuerpos de agua, también nos sirve para conocer si es factible el continuo mantenimiento o se requiere de algún otro tipo de elemento que sirva para poder manejar el agua que puede ser proveniente de escurrimientos intermitentes o no.

5. METODOLOGÍA



5.1 Definición y caracterización de área de estudio y aspectos generales para la planeación del vuelo

Para la realización del presente trabajo, se eligió el bordo Truchuelo, el cual se encuentra ubicado entre el cerro Cimatarío y las colonias Candiles y Ecológica del municipio de Querétaro.

La funcionalidad de dicho embalse de escurrimiento es, regular el gasto de la cuenca que comprende aguas arriba de la cortina, dicho embalse capta cierta cantidad de agua, almacenándola hasta un nivel de vaciado determinado por un vertedor ubicado en el costado inferior haciendo que el gasto desalojado sea menor al que es captado por el embalse, permitiendo así que las obras civiles como, caminos, carreteras o colonias colindantes, se vean lo menos afectadas posible por un caudal de mayor creciente que se pudiera dar por no tener una obra de regulación como esta. Dicha regulación del gasto dada por el embalse construido permite, principalmente, que la Avenida José María Truchuelo y el libramiento Sur Poniente ubicados cerca del potencial cauce natural del agua, que se tiene en esta zona, se vean protegidos por el cruce con el escurrimiento natural que se tiene en esa zona como se muestra en la Figura 3.

Se eligió trabajar con este embalse debido a que su función principal es mantener un volumen efectivo que regular para prevenir afectaciones por el agua, siendo importante el conocer sus niveles de azolve causados por el arrastre de materiales de diverso origen aguas arriba de este, el monitoreo de embalses como estos nos permite saber en qué momento intervenirlos y darles un mantenimiento adecuado, para preservar una relación adecuada entre su volumen y el área que abarca dicha obra.



Figura 3. Ubicación del Bordo Truchuelo, imagen obtenida de Google Earth Pro.

5.2 Definición del área de estudio

En primera instancia se eligió el área a investigar. Para ello se ingresó a imágenes satelitales de Google Earth en donde se pudo identificar en una vista superior los cuerpos de agua, en los cuales se observó a aquellos que contaran con el tipo de régimen de escurrimiento intermitente para poder trabajar en la obtención de la información. El régimen se pudo visualizar desde las imágenes satelitales que nos dio el programa, sin embargo, también resultó factible la visita de campo en diferentes embalses para corroborar que no existiera alguna discrepancia con la información previamente visualizada.

Consideraciones para la elección del cuerpo de agua que se tomaron en cuenta:

- Que sea un cuerpo de agua que capten escurrimientos intermitentes para que no se tuviera escurrimientos durante el proceso del levantamiento.

- Bordos que en una época de sequías se vacíen por completo para poder tener un nivel de vaciado al 100% y a su vez una medición más exacta.
- Tengan definida la cortina y sus componentes como vertedor, corona y obras de excedencia.
- Que sean de fácil acceso para poder acceder a los puntos de interés.

Una vez seleccionado el área de estudio, se integró la capa de escurrimientos intermitentes descargada del INEGI. (2023), para corroborar que dichos escurrimientos pertenecen al régimen requerido.

Habiendo seleccionado el embalse de escurrimiento intermitente con las características requeridas, se generó un mapa de trayectoria para desplazarnos desde nuestro punto de origen hacia el punto de localización, para efectuar una visita posterior.

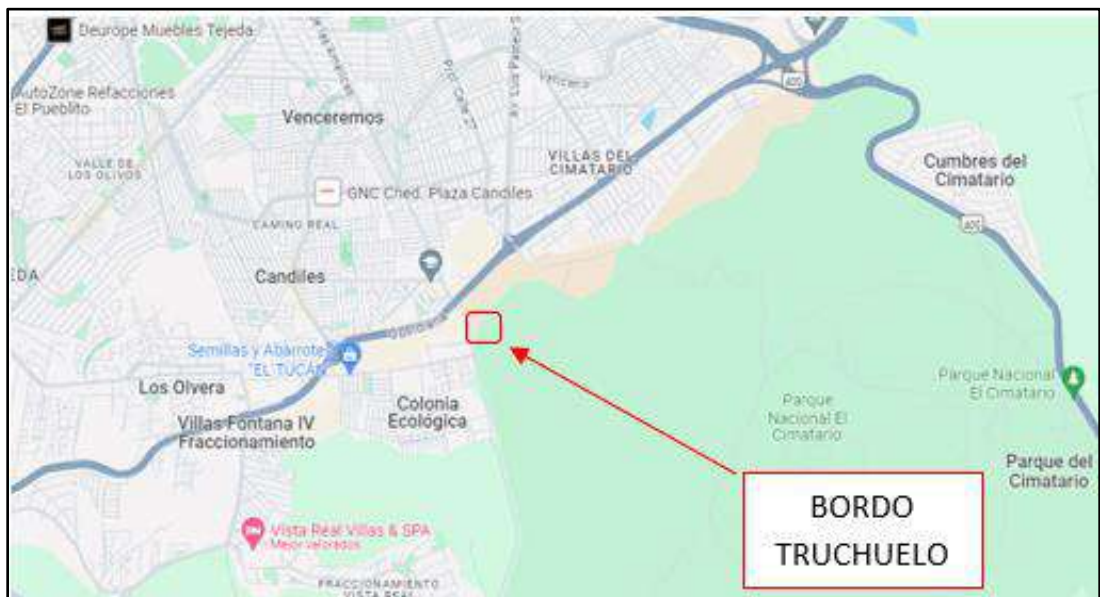


Figura 4. Mapa de ubicación de bordo Truchuelo, imagen obtenida de Google Maps.



Figura 5. Vista frontal aérea de la cortina del bordo.

Al observar la imagen, se concluyó con que la ausencia de agua dentro del vaso era del 100% por lo que no había afectaciones en la captura de imágenes, teniendo un nivel de vaciado completo, cumple con una de las principales características para la elección del cuerpo a estudiar, el fácil acceso la cual fue otra de las principales características a considerar también se cumplió satisfactoriamente debido a que se encontraba cerca de una vialidad vehicular, todo esto nos permitió realizar el vuelo sin tomar elevaciones de los espejos de agua que pudieran alterar los resultados.



Figura 6. Cauce aguas abajo.

5.3 Caracterización del área de estudio

En este apartado se obtuvieron las medidas de elementos construidos y característicos del área de estudio y extensiones de área de la zona anteriormente seleccionada, aspectos importantes que se deben considerar de acuerdo con (Abel Nájera Ramos *et al.*, 2019), que nos dice que a raíz de la metodología a emplear es importante conocer los siguientes elementos, ubicándolos y teniendo una medición aproximada para actividades futuras a fin de tener contemplados los trabajos que involucran la investigación, a partir de lo propuesto, para ello se obtuvieron las medidas con el uso de cinta métrica de los siguientes elementos listados.

- Se midieron las dimensiones interiores del vertedor.
- Se midió el alto de cortina.
- Se midió el alto de la vegetación existente en varios puntos en donde se desarrollaron los trabajos.
- Se realizó un cálculo aproximado del área de estudio para la planificación del vuelo, puesto que ello nos ayudó a tener una mejor plantación de este evitando excedentes en área o faltantes de la misma.

Posterior a la toma de mediciones se definieron los puntos con una mayor altitud en la zona de estudio, permitiéndonos conocer la ruta de acceso más asequible. Por otra parte, el definir los puntos con mayor altitud, nos ayudó a tener la determinación del punto de inicio y termino para la planificación de vuelo que fueron requerimientos posteriores en la metodología planteada.

A continuación, se muestra la tabla con los parámetros fisiográficos obtenidos de la caracterización de la zona:

Tabla 2. Caracterización de la zona de estudio.

PARÁMETRO FISIOLÓGICO	VALOR
Longitud de vertedor	16 m
Altura de cortina	6.5 m
Altura de vegetación existente	Promedio de 70 cm
Área aproximada de vuelo	11 hectáreas
Material de obra de toma	Tubo de 60 cm de diámetro

Se observó durante la visita preliminar a los trabajos que los componentes de la cortina son de materiales graduados, los cuales han sido cubiertos con el paso del tiempo de vegetación predominante de la zona.



Figura 7. Vista de inicio del vertedor, a un costado de la cortina.



Figura 8. Vegetación existente en la cortina compuesta de materiales graduados.



Figura 9. Puente de vialidad por donde sigue el flujo del agua.

Así mismo, en la vialidad se encuentra un vado, el cual favorece al paso del agua en caso de que existan avenidas significantes en temporadas de lluvias intensas en la zona. Este vado, nos hizo alusión a que el embalse es meramente

de regulación ya que su principal función es captar el caudal proveniente de escurrimientos superficiales e intermitentes almacenándolos hasta cierto nivel previniendo que el caudal acumulado afecte directamente los hombros de la vialidad e incluso que dicho caudal afectase a la colonia ubicada aguas abajo.



Figura 10. Vado en vialidad.

5.4 Aspectos de la planeación del vuelo con Dron

Se realizó el vuelo con un dron Phantom, debido a que se encontraron mejores resultados en precisión de acuerdo con lo mencionado por Sabina *et al.*, 2015.

Consideración para el vuelo:

- Se revisó que la zona estuviera libre de obstrucciones al despegue y aterrizaje del dron.
- Se verificaron que las condiciones climatológicas sean óptimas para el vuelo en la aplicación UAV Forecast (velocidad de ráfagas de viento, precipitación, nubosidad, incidencia del sol etc.) ya que el principal fenómeno que afecta el desempeño óptimo de la aeronave es el viento, pudiendo volcarla y que se pierda el equipo y la información.
- La altura de vuelo no excederá los 80 m ya que es el rango seguro para el vuelo, pues con ello se garantiza una obtención en la calidad de imagen confiable.
- Se verificó que la aeronave se encontrara en buenas condiciones físicas, desde su cuerpo hasta las hélices, así como el equipo de control de esta; además de que se verificaron que las aplicaciones estén correctamente instaladas y que su apertura sea correcta ya que de esto depende que el monitoreo durante el vuelo nos brinde una localización de la aeronave en tiempo real en caso de un inconveniente inesperado.
- Se realizó una prueba al equipo para verificar su calibración y su señal de conexión con el dispositivo de control, durante esta prueba se pudo revisar el consumo de batería del equipo, de igual forma, esta prueba se realizó para conocer más a fondo las condiciones de la aeronave antes de ejecutar la misión.
- El tamaño de Pixel en el terreno o Average Ground Sampling Distance (GSD) por sus siglas en inglés, la cual nos representa la distancia entre dos centros de

pixeles medidos sobre el terreno o, dicho de otra forma, la distancia que representa un pixel en el terreno es de 2.4cm/ 0.94 in.

5.5 Ejecución del levantamiento fotogramétrico con dron y obtención de las características físicas del sitio.

5.5.1 Levantamiento Fotogramétrico con dron

En esta parte se obtuvieron imágenes del vuelo programado anteriormente, para llevar a cabo este punto se siguió la siguiente metodología, prevista según Kharuf *et al.*, 2018.

- Se colocó el dron en el punto previamente establecido estratégicamente.
- En el móvil se inició la aplicación de DJI en donde se ajustaron las condiciones de vuelo anteriormente establecidas, como lo son la altura de vuelo y niveles de batería para evitar la pérdida del equipo.
- Simultáneamente al punto anterior se enciende el dron y se conecta el móvil al control.
- Posteriormente se abre la aplicación de Pix4d Capture en donde se podrán ajustar parámetros como lo es la zona de vuelo, si es que hay alguna modificación respecto a lo ya planificado, tomando la opción inicial de Polygon Mission, en donde se podrá seleccionar el área deseada en caso de que se requiera modificar lo planeado, se ajustará la altura de vuelo nuevamente y se verificarán las conectividades entre el dispositivo móvil y el equipo.
- Al cargar la misión se revisó por última vez la condición de señal entre dispositivos, la memoria de almacenamiento, entre otros. Una vez verificados los puntos anteriores y tener cargada la misión de vuelo, se comenzó con la ejecución de la misión, la cual, la misma aplicación nos mencionó la duración de

esta y reporta las condiciones por si surge algún imprevisto con la aeronave durante el vuelo.

- Al despegar el dron se estuvo verificando por medio de una trayectoria proyectada en la pantalla del móvil que se estén tomando y capturando las fotos adecuadamente, a las distancias optimas y de manera simultánea. Se verificó que el dron no tuviera obstrucciones durante el vuelo o que ningún tipo de ave se acercara a él.
- Terminada la misión, la aeronave regresó al punto de inicio y se deja encendida hasta que las fotos capturadas realicen un respaldo en el móvil utilizado.
- Finalizando la captura en el móvil se apaga el dron y se guarda el equipo de forma adecuada, desensamblando el equipo adecuadamente y retirando la batería y la memoria con la información que se capturó durante el vuelo.

5.5.2 Obtención de las características físicas del sitio

En este apartado se obtuvieron características que nos permitieron tener un mayor conocimiento del área en la que trabajamos, tales como lo son:

- Material del cual está elaborada la cortina:
 - **MATERIAL:** Cortina elaborada a base de materiales graduados, desde finos hasta gravas y rocas posicionados en una configuración tipo rompecabezas.



Figura 11. Materiales constitutivos de la cortina.

- Tipo de vegetación encontrada en el sitio

De acuerdo con la información que publica el INEGI se obtuvo una captura del mapa con información de la vegetación existente en el lugar (Figura 12) y con ello tener una visualización más gráfica por medio una zonificación de colores identificando rápidamente cual es el tipo de vegetación predominante en el área de estudio.

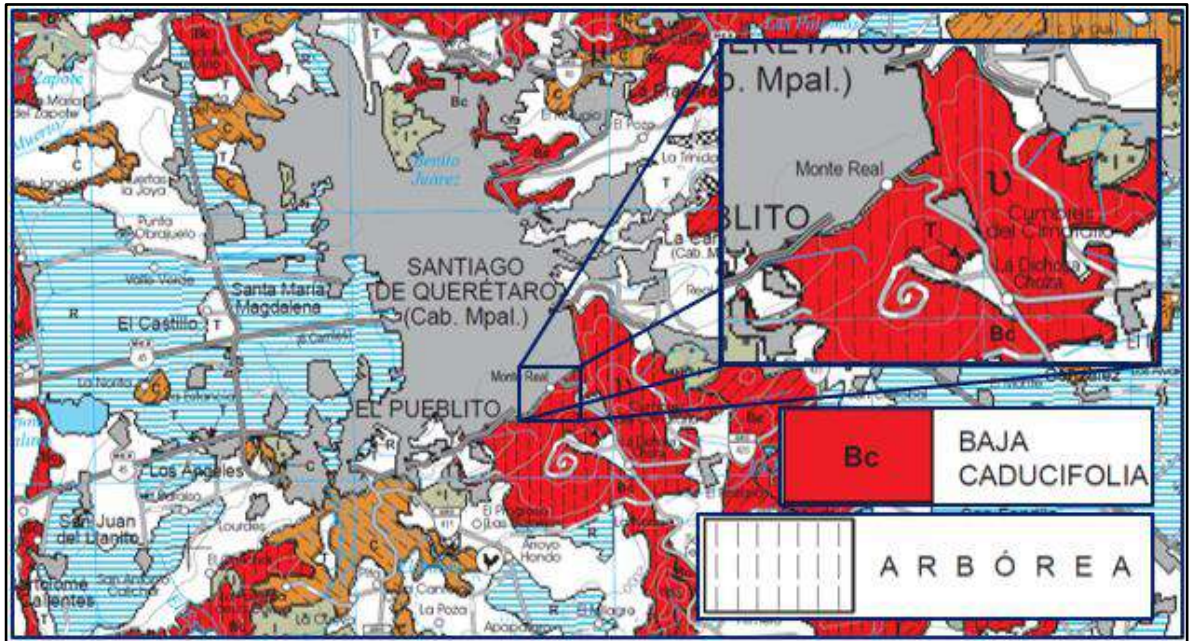


Figura 12. Vegetación existente en la zona de estudio (INEGI, 2009).

- Revisión de la existencia de escurrimientos superficiales que desemboquen al sitio

Es importante tener en cuenta cuales son los escurrimientos que confluyen al bordo y de acuerdo con la topografía se observó que es una cuenca, resultado de cerros que se encuentran a su alrededor dando paso a que el bordo se encuentra en un punto estratégico dado que ayuda a la regulación del flujo de agua cuando las avenidas, causa de precipitaciones, son considerables.

Al haber investigado en mapas del INEGI resultan ser tres cauces los que confluyen en el bordo Truchuelo, siendo estos los que se muestran en la captura que se obtuvo de dichos mapas. Con ello se observa que la cuenca es pequeña pero las condiciones topográficas indican una pendiente considerable que pueden tener efectos en la velocidad del agua.



Figura 13. Cauces principales (INEGI, 2010).

- Usos del suelo y Tipos de suelo

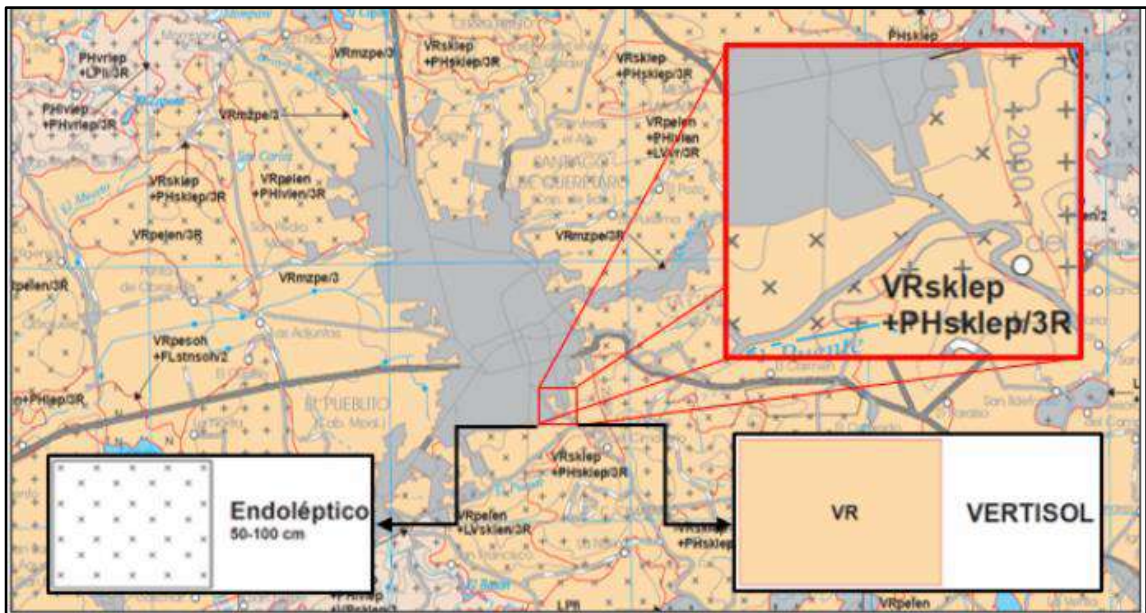


Figura 14. Tipo de suelo en la zona (INEGI 2007).

5.6 Analizar y procesar la información para la obtención del modelo digital de elevaciones y ortofoto, así como las curvas de nivel.

Posterior al levantamiento fotogramétrico, se procedió a trabajo en computadora, en donde se realizó la metodología basada en lo consultado con Costales Acurio, 2018.

5.6.1 Análisis y procesamiento de información Aguisoft Photoscan

En esta primera instancia se realizó una depuración de información para garantizar que la información posteriormente a procesar sea la más adecuada y tenga menor error.

- Previo a un trabajo de oficina se revisó en sitio que las imágenes capturadas se hayan almacenado correctamente y que estas tengan calidad adecuada.
- En tu ordenador colocas la memoria donde se capturaron las imágenes de la misión de vuelo, copiándolas de la memoria al equipo.
- Posteriormente se realiza la apertura de las imágenes en algún visualizador de imágenes en la computadora.
- Se revisaron una por una las imágenes eliminando aquellas que se repitan o salgan desenfocadas, debido a las vueltas que realiza el dron en las rutas planeadas.
- Se tendrá que repetir el vuelo en dado caso de que las imágenes no sean de buena calidad en su mayoría o en áreas importantes en donde se requiere su presencia para la obtención de la información.

5.6.2 Obtención del modelo digital y ortofoto con Aguisoft Photoscan.

Una vez revisadas las fotos obtenidas del vuelo y hacerles una depuración adecuada continuaremos con la obtención de un modelo digital de

elevaciones y la creación de la ortofoto sobre el área de estudio, para ello se contará con la metodología aplicada por Costales Acurio, 2018.

- En primera instancia se verificó si el equipo en el cual se realizara el procesamiento sea apto para el mismo.
- Otra verificación previa es dentro de la aplicación en donde nos dirigimos a Tools y en la opción de Preferences, desplegándonos una ventana en donde se seleccionará GPU y se marca la tarjeta de video integrada en el equipo, si este no cuenta con ella el mismo sistema de la aplicación detecta que la unidad de procesamiento no cuenta con ella.
- Posteriormente se cargaron las imágenes a la aplicación, para ello seleccionamos Workspace, seguido de esto se seleccionan aquellas imágenes del trabajo ya depuradas.
- Posterior a ello se desplegó la ventana de Workflow en donde se nos dan las siguientes opciones para proceso de la información:
 - o Orientar fotos
 - o Crear nube de puntos densa
 - o Crear malla.
 - o Crear textura.
 - o Crear modelo de teselas.
 - o Crear modelo digital de elevaciones.
 - o Crear ortomosaico.
 - o Generar curvas de nivel.

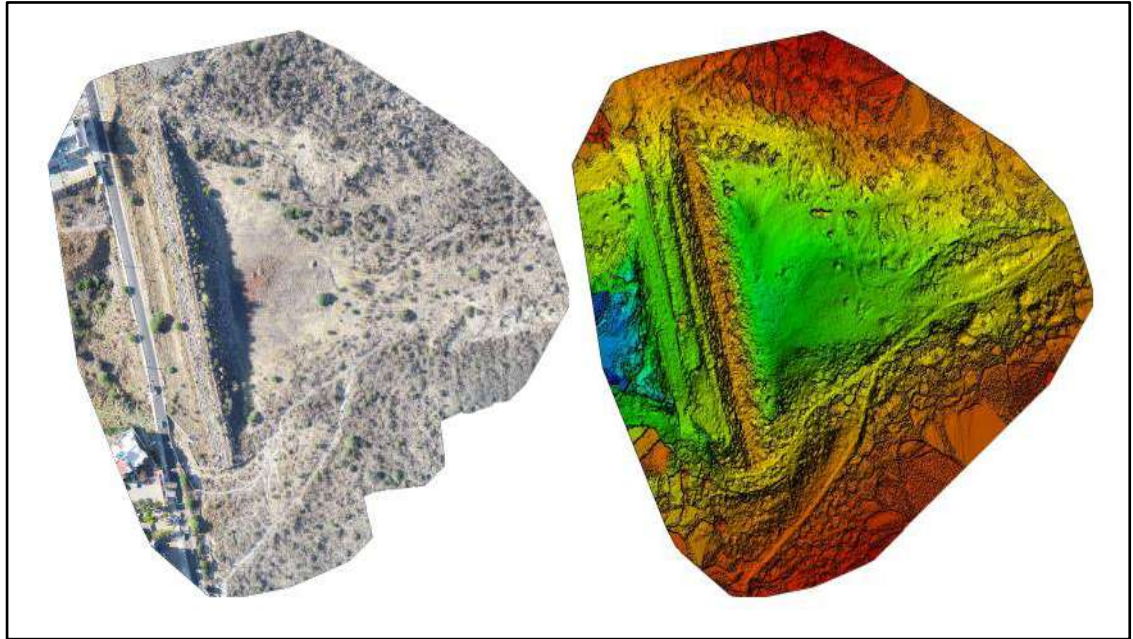


Figura 15. Ortomosaico y modelo digital de elevaciones.

El ortomosaico generado nos da una imagen del área que se capturó que comprende el embalse de escurrimiento intermitente, dicho ortomosaico, nos presenta su modelo digital de elevaciones que fue uno de los puntos clave para el análisis ya que a raíz de este podemos conocer las diferencias de alturas que se obtuvieron en campo.

El programa con el cual se realizó el análisis nos representa de dos formas el modelo digital de elevaciones, en primera instancia nos mostró una imagen en donde no se aprecia a simple vista la profundidad de nuestro cuerpo de agua y en una segunda imagen por medio de una banda de colores la variación de alturas siendo los colores más intensos las elevaciones de mayor magnitud y los colores claros son las zonas más profundas (Figura 15).

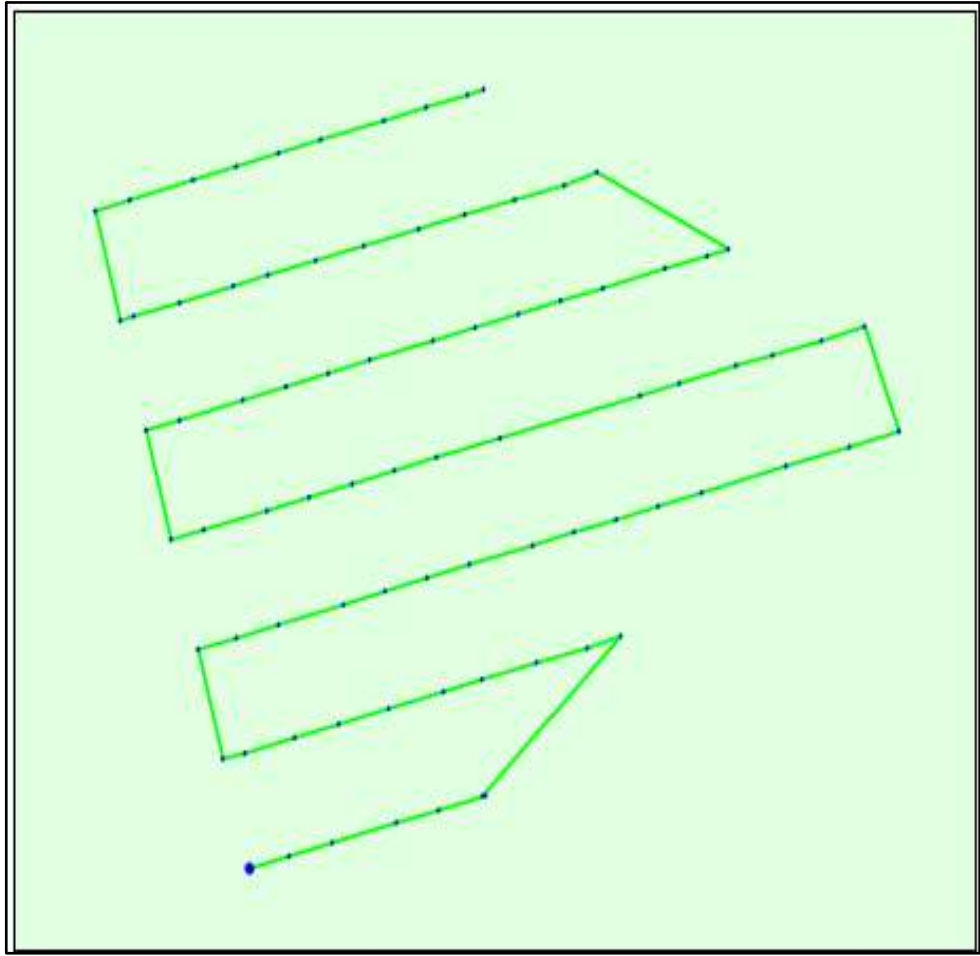


Figura 16. Ruta de vuelo programada y ejecutada (puntos azules: captura de imagen).

El programa nos dio una imagen, donde se muestra el punto inicial y final en la secuencia de la captura de fotos tal y como se mostró al momento de programar el vuelo en la aplicación, dicha ruta se muestra en la Figura 16, siendo punto clave la representación por medio de puntos color azul las imágenes capturadas de la posición que tuvieron en el vuelo, dándonos una idea de la cantidad de imágenes que se obtuvieron, lo cual nos sirvió para el resultado posterior, ya que como sabemos, a una mayor cantidad de imágenes la calidad de los resultados aumenta.

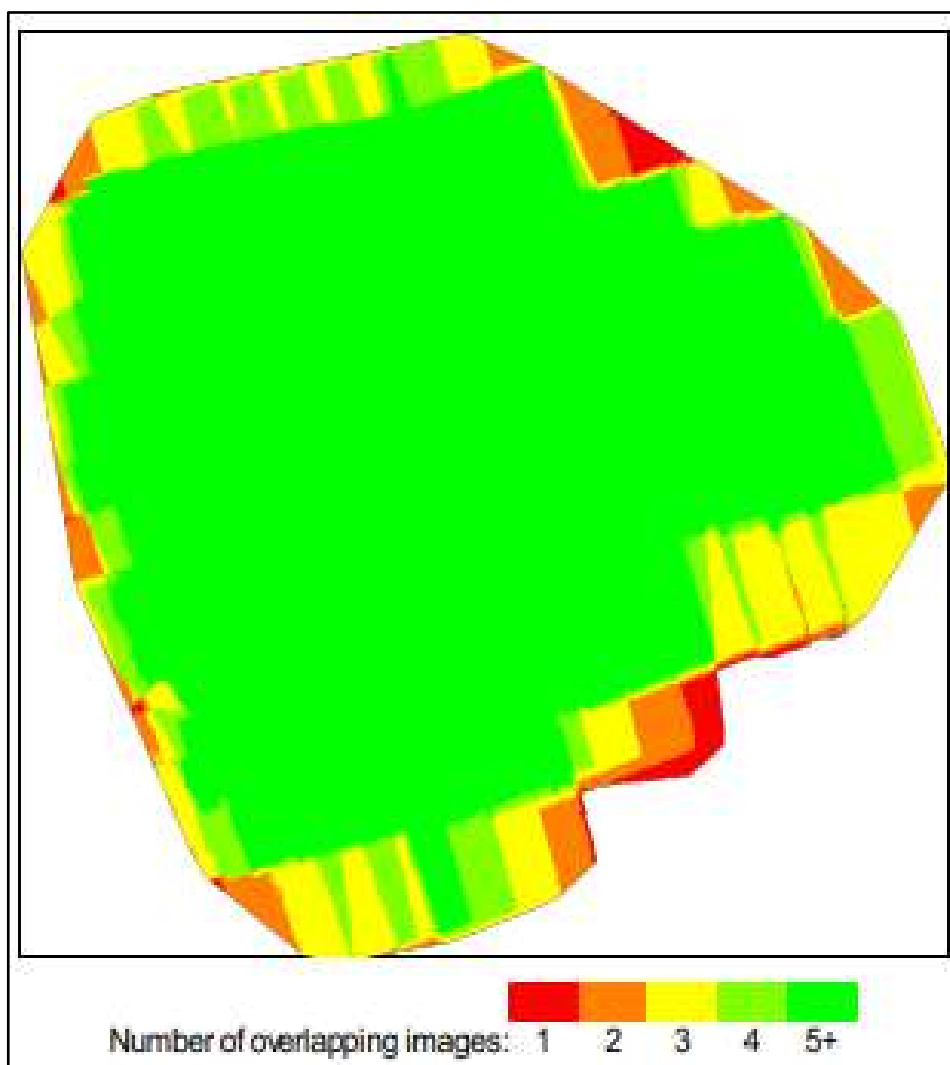


Figura 17. Numero de imágenes superpuestas calculadas para cada píxel de ortomosaico.

En la Figura 17, se visualiza por medio de una banda de colores el traslape o la cantidad de imágenes superpuestas en un mismo punto o píxel de la imagen obtenida. En la imagen final se muestran tres colores, las áreas en color rojo nos representan una superposición de imágenes muy baja, las áreas en color amarillo nos indican una superposición media, por lo que, en ambas áreas nos pueden generar variación en los resultados, teniendo una menor calidad de estos. Las áreas en color verde nos indican que hubo una superposición de cuatro o más imágenes por cada píxel que se registra en la imagen, dicho color nos indica que la calidad de los resultados será confiable.

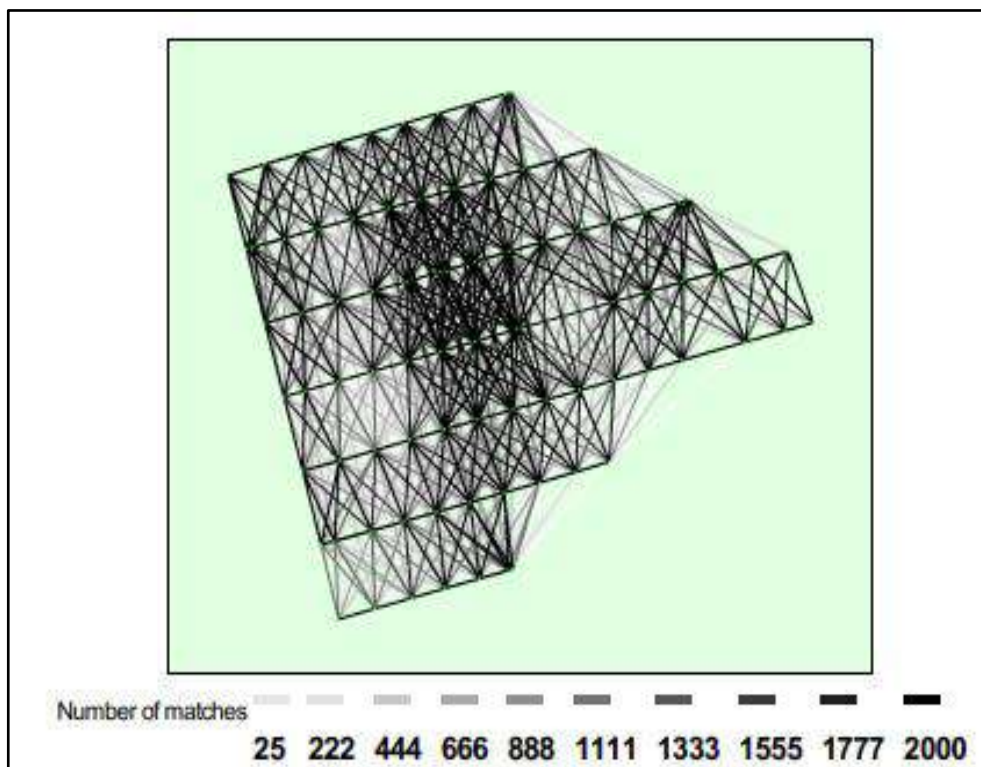


Figura 18. Vista superior de las posiciones calculadas de las imágenes con un vínculo de posición coincidentes entre ellas.

Para conocer la relación entre elevaciones existentes entre cada foto, el programa genera una especie de triangulación la cual hace referencia a los vínculos de posiciones que se tiene entre imágenes. El programa nos indicó que las imágenes con mayor número de vínculos nos generan un área en color negro lo que indicó que en ese punto o píxel dentro del área contiene un numero de imágenes suficientes para la obtención de resultados más confiables mientras que las áreas trianguladas entre imágenes representadas con un color más tenue nos indican que el número de imágenes es suficiente, pero se encuentran en menor cantidad. En las triangulaciones obtenidas de nuestro modelo, podemos observar que el área abarcada por el cuerpo de agua a analizar cuenta con un color negro, teniendo así una cantidad de fotografías, para que los resultados se obtuvieran de la mejor manera y con una mayor precisión (Figura 18).

5.6.3 Obtención de las curvas de nivel

La obtención de las curvas de nivel será un producto resultante de lo procesado en Aguisoft Photoscan, para ello, se deben tener las consideraciones para no obtener resultados erróneos. Uno de los puntos principales, es la creación de la nube de puntos densa, en la cual, se hace una clasificación para que se consideren puntos de terreno únicamente aquellos que tengan una altura no mayor a 0.5 metros, con ello, logramos eliminar que se consideren puntos de vegetación, mismo que nos producirían cambios drásticos en las elevaciones al momento de generar las curvas de nivel.

Una vez hecha la clasificación de los puntos, se procede a exportar dicha clasificación en un formato que sea compatible con AutoCAD. Cabe hacer mención, que la exportación de los puntos no es de todos los que se obtienen del proceso, ya que suele ser una cantidad considerable de puntos, para ello, se seleccionan aquellos que, a criterio propio, logren representar la superficie del área de estudio.

A pesar de ser un cuerpo de agua, se cuenta con vegetación en un grado mínimo, logrando obtener prácticamente resultados similares antes de hacer la clasificación.

Para la exportación de los datos, son seleccionados los puntos que representan la superficie del terreno y se da clic derecho para desplegar las opciones de exportar. Se busca la opción del tipo de archivo .shp, el cual es un formato de datos vectoriales en el cual se conservan las elevaciones con los que cuentan los puntos. Una vez generado el archivo, se procede a realizar la importación de estos a AutoCAD, para ello se dirige a la pestaña de abrir y seleccionar el tipo de archivo .shp, buscando el archivo generado anteriormente y se presiona abrir. Automáticamente los puntos se cargarán en la pantalla y se logrará observar cual es la forma que tiene el cuerpo en estudio.

La triangulación se realiza en AutoCAD con la herramienta de CivilCad, en la cual se solicita inicialmente, definamos con que se va a trabajar, para ello se selecciona puntos y se comienza a triangular en cantidades de tres en tres para evitar triangulaciones erróneas, así hasta terminar con todos los puntos.

Una vez realizada la triangulación se procese a generar las curvas de nivel, en la cual se debe determinar las separaciones de las curvas delgadas como de las curvas gruesas y en caso de que se requiera cambiar el color de estas, paso siguiente, seleccionar OK y posterior a ello nos pedirá seleccionar las triangulaciones generadas anteriormente para así obtener las curvas de nivel. Por último, se genera el texto con las cotas que tienen las curvas primarias, sabiendo que las curvas secundarias tendrán una separación de 0.25 m.



Figura 19. Proceso de obtención de curvas de nivel.

5.7 Obtención de curvas de áreas capacidades

La obtención de estas graficas será importante para poder conocer la factibilidad del trabajo realizado, dicho proceso de análisis se realizará una vez exportadas las curvas del software Agisoft al AUTOCAD, donde en primera instancia se evalúan las elevaciones a raíz de las curvas de nivel obtenidas en el proceso anterior, de igual manera se considerarán las áreas dadas entre curvas y como resultado se obtuvo una capacidad calculada del embalse de escurrimiento intermitente.

Las curvas elevación áreas capacidades se obtuvo a raíz de graficar en el eje vertical las elevaciones que se nos dan en las curvas de nivel las cuales estarán parametrizada de acuerdo al proceso en Agisoft, para cada una de estas elevaciones se calcula el área que abarca horizontalmente en el embalse de escurrimiento intermitente y se gráfica en el eje horizontal superior con respecto a la elevación de las curvas de nivel, ahora para cada una de esas áreas se calcula el volumen que se encuentra de esa área a la inferior siguiente de tal forma que nos dé el volumen de líquido que es posible contener en esa área en específico, dichos valores se graficaron en el eje inferior horizontal. El valor que nos da al momento en el que se cruzarán las parábolas generadas por las áreas y las capacidades nos indicará la altura óptima del embalse en dónde el área que abarca está en una proporción óptima respecto al volumen almacenado

5.8 Evaluación de costo, tiempo-ejecución, calidad de resultados en la utilización de ambas técnicas de obtención de la batimetría

En este apartado se analizaron los resultados obtenidos en los tres rubros anteriormente mencionados, para los cuales se tendrá un registro dividido en las tres áreas siguientes, por último, se realizó una tabla final de resultados en las tres áreas, para su posterior conclusión:

5.8.1 Evaluación del costo

En este apartado se realizó una comparativa en cuanto al costo que se tiene en ambas metodologías, siendo un apartado importante ya que nuestro enfoque está en busca de una metodología más asequible económicamente, para ello la comparativa se hará de la siguiente manera:

- Se evaluaron en primera instancia los precios unitarios de los equipos utilizados, dando una comparativa inicial de costo por equipo a emplear.
- En segunda instancia a través del tiempo de ejecución se realizó una evaluación del costo por tiempo de ejecución.
- En tercera instancia se evaluó el procesamiento de la información y su costo promedio o muy próximo.
- Por último, se realizó una tabla comparativa de este rubro para mostrar como evidencia los costos de ejecución y ver cuál es el más factible económicamente.

La comparativa que se realizó será entre nuestra propuesta de batimetría con dron y la batimetría tradicional, bajo parámetros ya dados por el CICQ y por una página especializada llamada cotizador de topografía.

5.8.2 Evaluación del tiempo-ejecución

En este apartado se realizó una comparativa en cuanto al costo que se tiene en ambas metodologías, siendo un apartado importante si es que nuestro enfoque está en busca de una metodología más relacionada a los tiempos de ejecución, para ello la comparativa se hizo de la siguiente manera:

- La primer comparativa que se realizó es del tiempo de llegada al sitio hasta el comienzo de la obtención de la información, precisando en este apartado se tomó el tiempo de instalación del equipo para comienzo de actividades, considerando este tiempo como la instalación de hélices y la colocación de la batería en el dron.

- Como segundo paso se llevó a cabo la ejecución del vuelo previamente programado, en este caso precisando sería el tiempo de misión de vuelo desde el despegue hasta el aterrizaje del dispositivo.
- En tercera instancia se evaluó el tiempo de desmontaje de equipo y resguardo en el transporte de acceso al sitio.
- El próximo proceso en el cual se evaluó el tiempo, es referido al procesamiento de la información y obtención de resultados de esta.
- Por último, se realizó una tabla comparativa donde se colocan los diferentes rubros que se están evaluando a través de esta metodología y así pudiéramos deliberar cuál es el más factible en cuanto a tiempo-ejecución.

La comparativa que se realizó, fue entre nuestra propuesta de batimetría con dron y la batimetría tradicional. Para esta comparativa se realizó la búsqueda de los tiempos de ejecución en una página especializada en topografía, la cual es un cotizador de topografía y los aranceles proporcionados por el CICQ.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Definición y caracterización del área de estudio.

Como resultado tenemos que se eligió el cuerpo de agua en la calle truchuelo, el cual cumple con ser un embalse de escurrimiento intermitente y contener las características de vaciado en su totalidad, la ubicación en coordenadas UTM es: Este 355515.71m y Norte 2271676.95m (Figura 19).

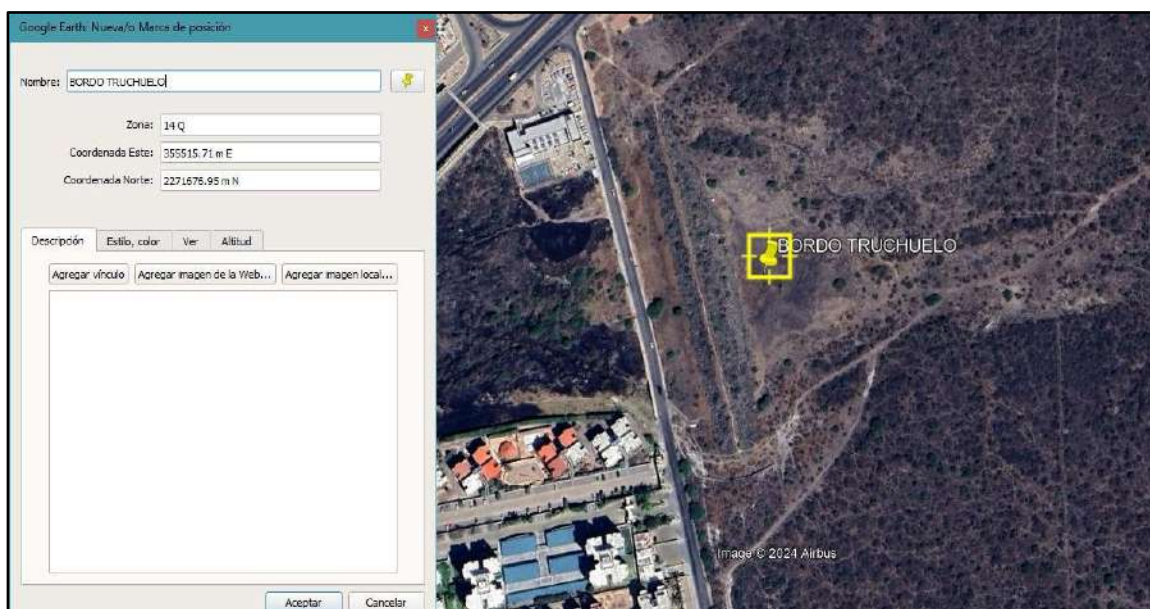


Figura 20. Localización del área de estudio.

Derivado de la visita que se realizó en campo se obtuvieron los siguientes resultados de los cuales se realizaron medidas en campo, así como una visualización para la definición de estos:

Tabla 3. Caracterización de la zona de estudio.

PARÁMETRO FISIOLÓGICO	VALOR
Longitud de vertedor	16 m
Altura de cortina	6.5 m
Altura de vegetación existente	Promedio de 70 cm
Área aproximada de vuelo	11 hectáreas
Material de obra de toma	Tubo de 60 cm de diámetro

6.2 Aspectos de planeación de vuelo con drone.



Figura 21. Condiciones de vuelo en aplicación UAV Forecast.

Dentro de los parámetros que se muestran, podemos observar que las condiciones climatológicas eran adecuadas para la obtención de una buena fotogrametría al utilizar el drone (Figura 20), siendo la más importante para seguridad de la aeronave, la velocidad del aire.

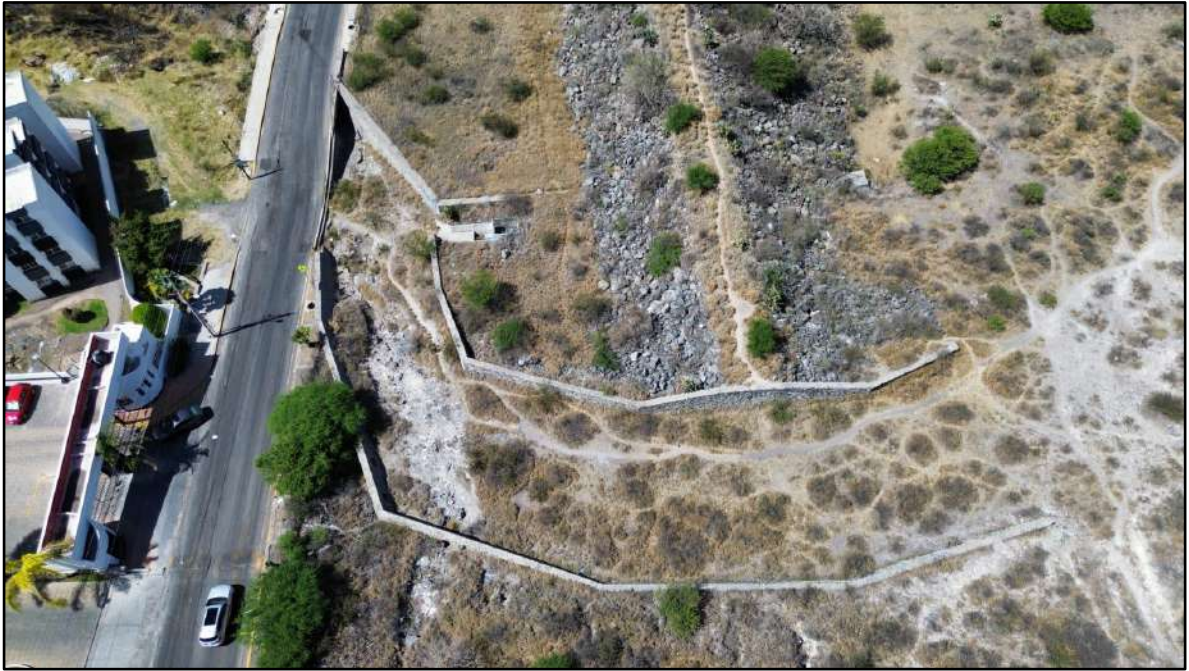


Figura 22. Vista aérea del vertedor, cortina y obra de toma.

Se observó que la zona de vuelo estaba libre de obstáculos para realizar el despeje y aterrizaje del dron, permitiéndonos volar el dron a una altura no mayor a los 80 metros para un vuelo seguro (Figura 21).

6.3 Levantamiento fotogramétrico.

Como resultado del vuelo previamente programado y ejecutado por la aplicación Pix4D Capture nos da un total de 84 fotos, esto después de depurar las imágenes capturadas durante la misión de vuelo, eliminando así, aquellas que tuviesen un exceso de iluminación que dificulta la apreciación de los resultados de manera clara, de igual forma, se depuraron aquellas imágenes que por el movimiento en la trayectoria del vuelo resultaron con alguna distorsión y con ello se visualice borrosa la imagen.

6.4 Resultados del análisis y procesamiento de la información para la obtención del EDM (Elevation Digital Model) y ortofoto, así como las curvas de nivel.

6.4.1 Resultados del análisis.

Derivado del procesamiento de la fotos capturadas con el drone, el programa con el cual se realizó el procesamiento nos arrojó una tabla de resultados en cuanto a la precisión que se obtuvo del levantamiento, recordando que esta, depende del correcto procedimiento y las condiciones adecuadas necesarias para que se obtuvieron resultados adecuados y que queden dentro de un rango mínimo de error en donde en la primer columna se nos muestra los errores en el procesamiento el error en X, en la segunda el error en Y en la tercero el error de Z.

Tabla 4. Error obtenido en reporte.

	Geolocation error X	Geolocation error Y	Geolocation error Z
Mean (m)	-0.000004	-0.000002	0.000209
Sigma (m)	0.042753	0.011784	0.018861
RMS Error (m)	0.042751	0.011784	0.018861

6.4.2 Obtención del EDM y ortofoto.

Al obtener las imágenes que representen de manera clara la superficie deseada, se continuó con el EDM, en dicho paso se hizo el procedimiento descrito en la metodología en donde se orientaron las fotos, se creó la nube de puntos densa, el mallado, la textura, el modelo de teselas y así se generó el modelo digital de elevaciones, obteniendo como resultado final el ortomosaico, el cual nos da una imagen unificada de lo que se capturó por medio del

levantamiento fotogramétrico. La representación de dicha ortofoto se muestra a continuación:

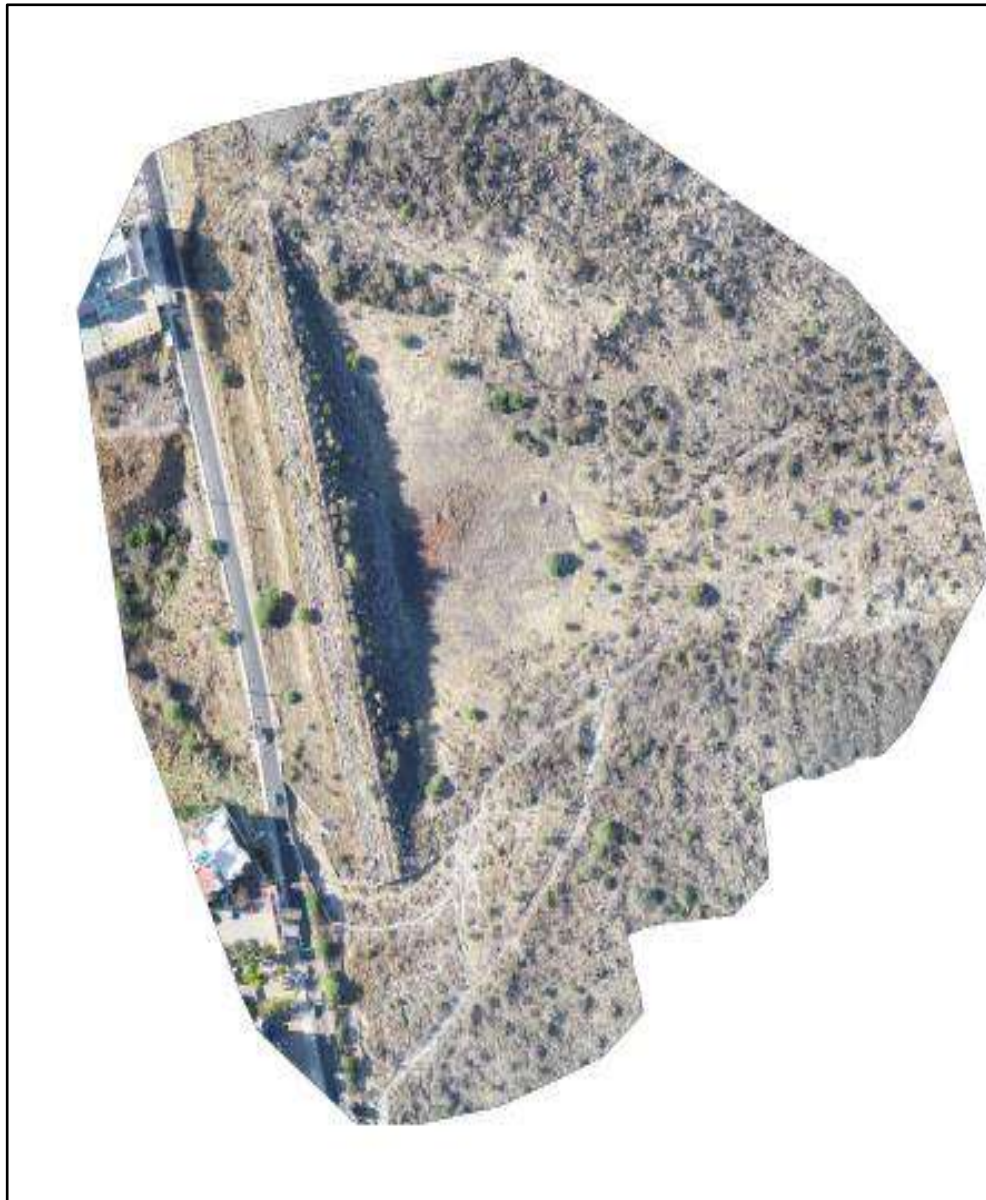


Figura 23. Ortofoto.

6.4.3 Obtención de las curvas de nivel.

Derivado del procesamiento en Agisoft PhotoScan, se extrae el archivo con extensión .SHP y se realiza la visualización en el programa de AutoCAD. En

primera instancia en la Figura 23 tenemos los puntos georreferenciados que obtuvimos del postproceso en Agisoft Photoscan.

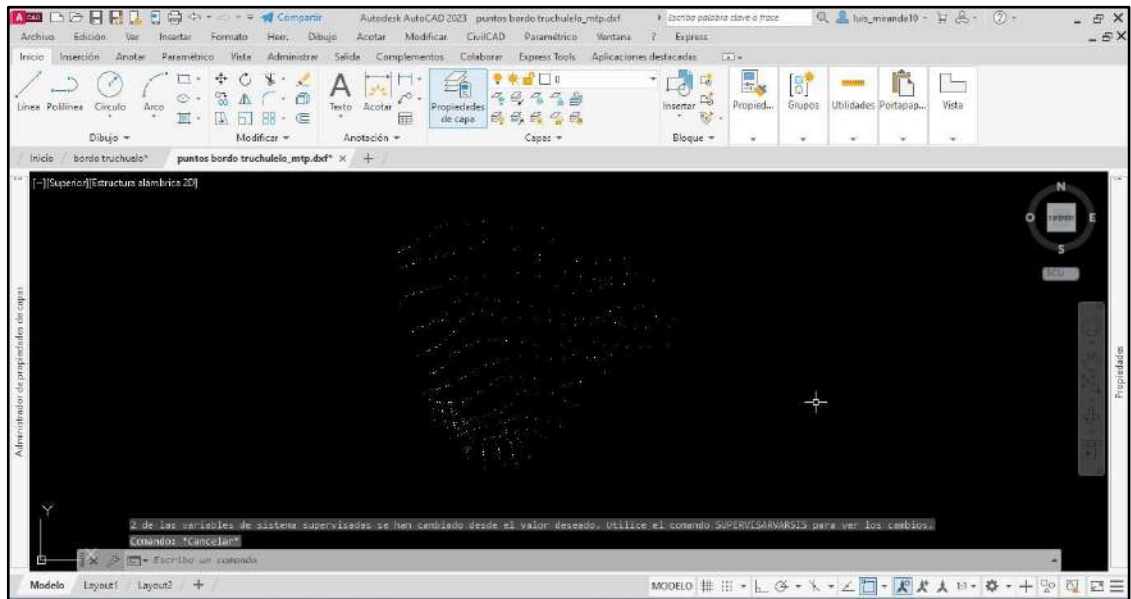


Figura 24. Visualización de puntos en AutoCAD.

De igual forma, como parte del proceso que se hizo en Agisoft, nos es posible observar el mallado de manera triangular sobre toda la superficie que unifica los puntos anteriormente presentados. Esto se muestra en la Figura 24.

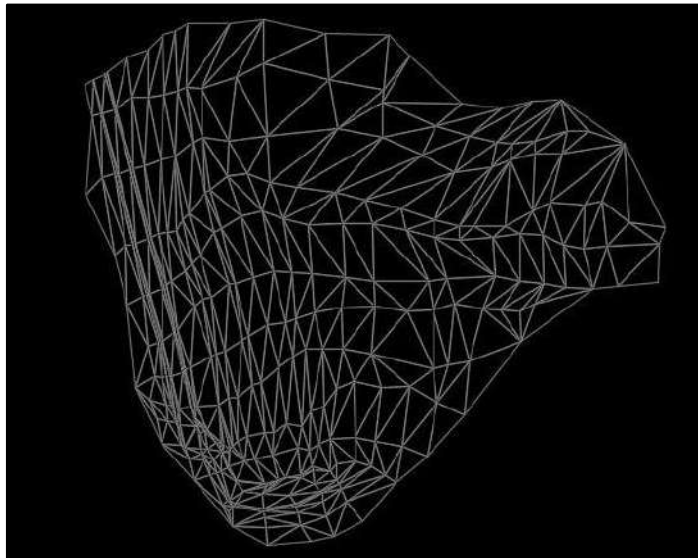


Figura 25. Triangulación visualizada en AutoCAD.

Continuando con la visualización en AutoCAD, se obtuvo la importación de la ortofoto la cual nos da una apreciación más clara del relieve y los elementos que conforman el cuerpo de agua. En la Figura 25 se muestra dicha ortofoto desde la parte posterior al mallado generado por las triangulaciones.

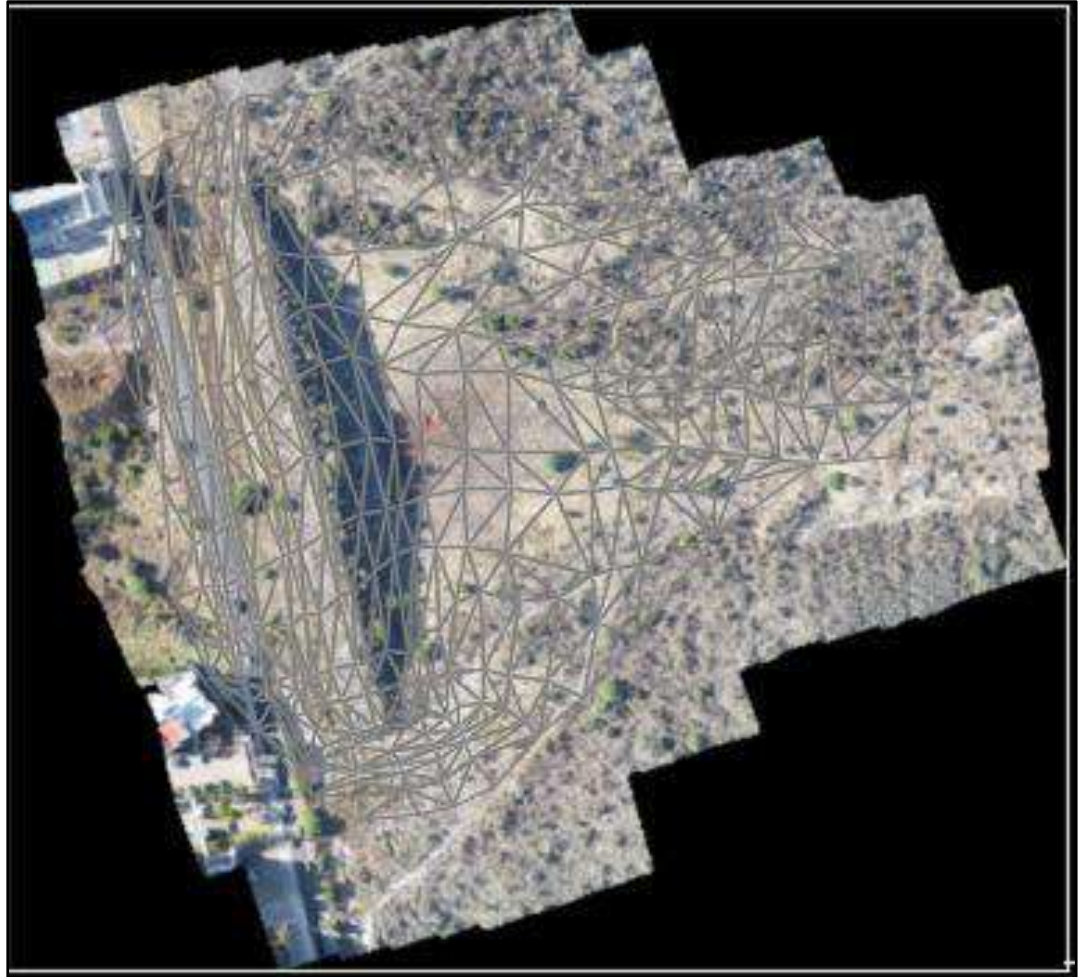


Figura 26. Ortofoto con mallado de triangulación visualizada en AutoCAD.

Como resultado previo al producto final, tenemos apreciación de lo que son las curvas de nivel generadas a cada 0.25 m sobre la verticalidad del vaso, las cuales se dividen en secundarias y primarias, representadas en color naranja

y rojo respectivamente y etiquetando únicamente las curvas primarias que representan un cambio en la vertical de 1 metro.

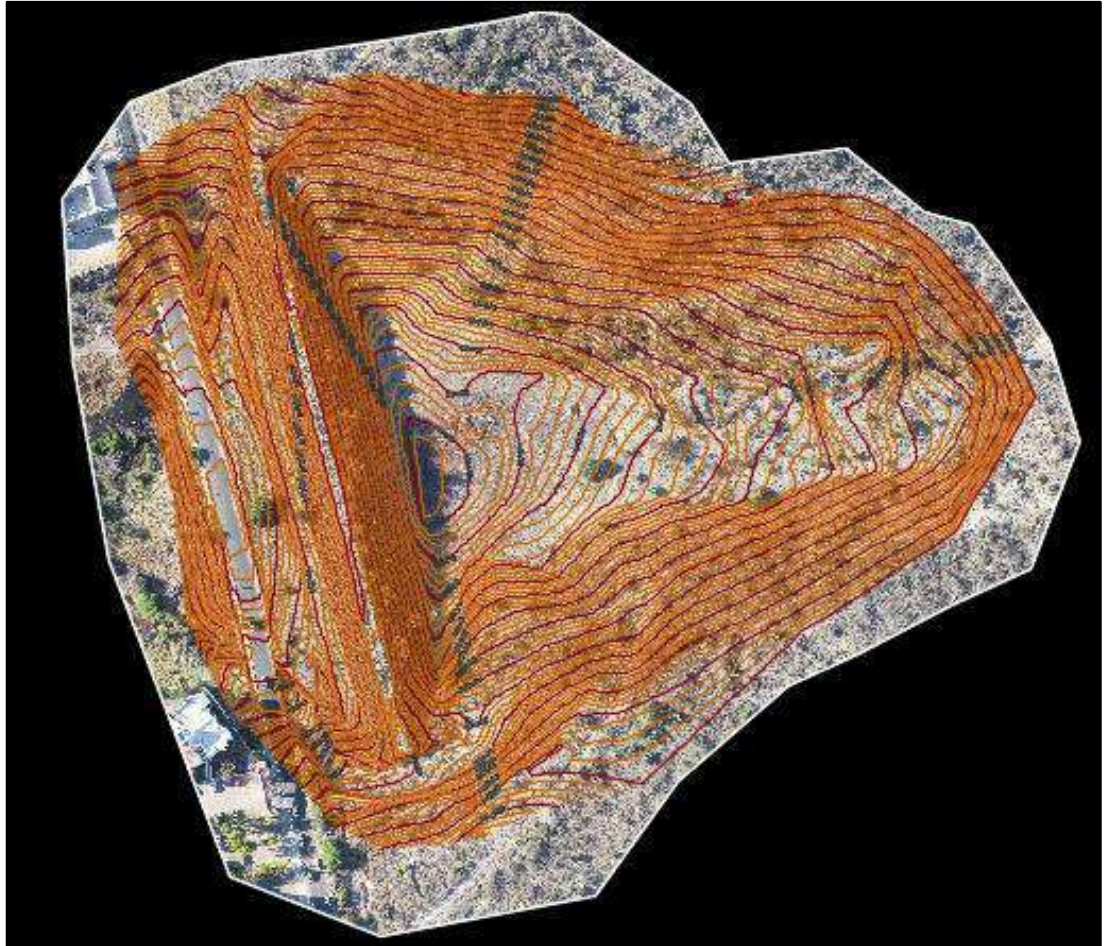


Figura 27. Representación de curvas de nivel.

Como resultado final se elaboró un plano en el programa AutoCAD en donde se puede visualizar los elementos que son de interés para el análisis y obtención de la curva área-capacidades. En este plano, se muestran las curvas de nivel tanto primarias como secundarias, el eje de proyecto, los cadenamientos que indican la longitud de este y la ortofoto que es una representación geo terrestre de la superficie (Figura 27).

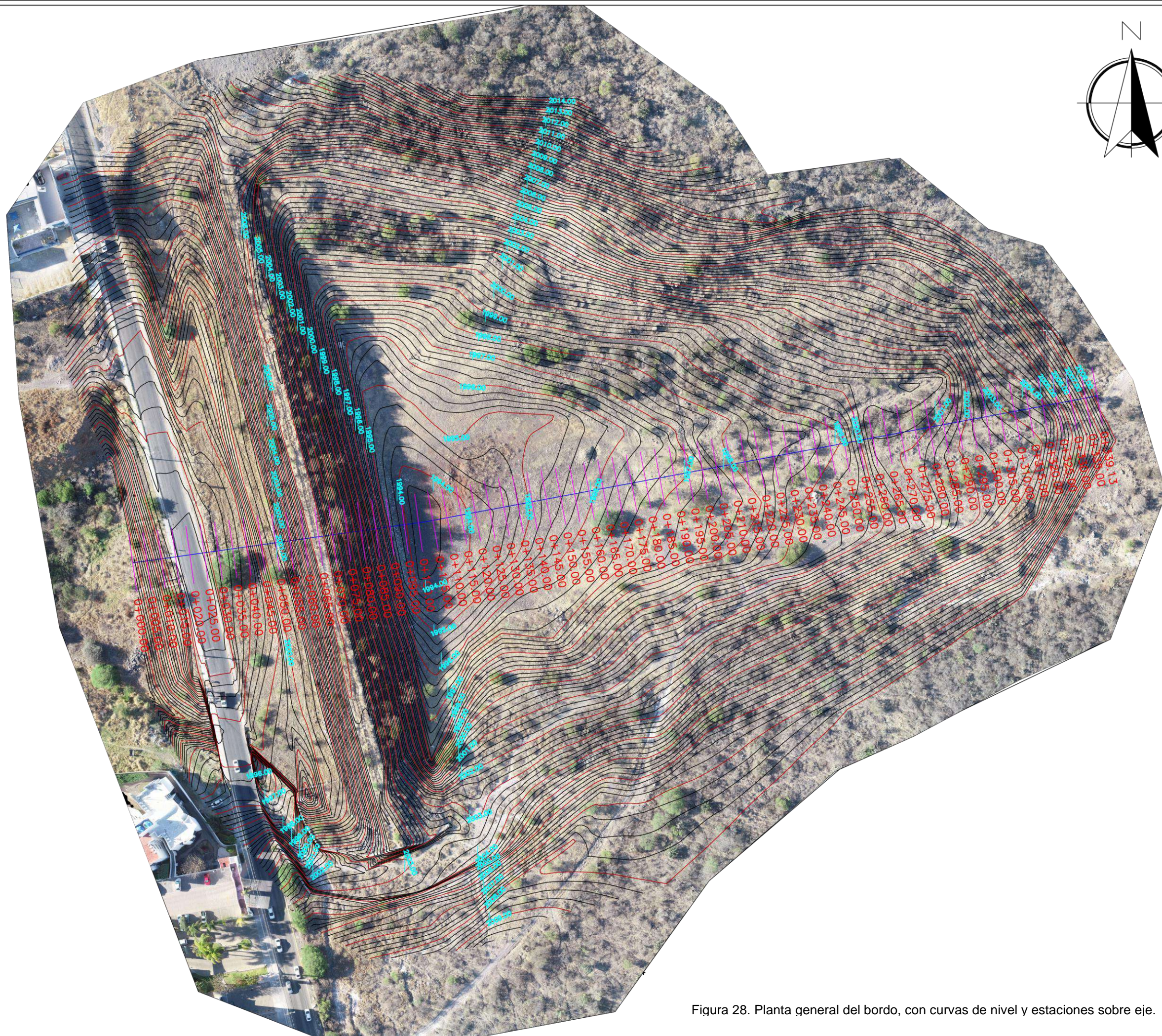


Figura 28. Planta general del bordo, con curvas de nivel y estaciones sobre eje.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-01	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 1300

6.4.4 Obtención de curva áreas capacidades.

Derivado de la obtención de las curvas de nivel y del trazo del eje sobre la superficie que comprende nuestro cuerpo de agua, se obtienen con el uso de CivilCad, la cual es una extensión de AutoCAD, las secciones tanto del eje como las secciones que se marcaron en cada estación separadas a una equidistancia dada por nosotros para precisar el resultado de los datos que se emplearán en la obtención de la curva áreas capacidades.

En la figura 28 se muestra cual es el perfil del bordo, en el cual se puede mostrar cuales es su configuración topográfica del terreno, así como, las cotas y las elevaciones a los cadenamientos a los que se obtiene el mismo. Cabe hacer mención que con este tipo de información podemos darnos una idea en donde se encuentran los puntos más bajos y obtener una elevación aproximada utilizando la escala mostrada.

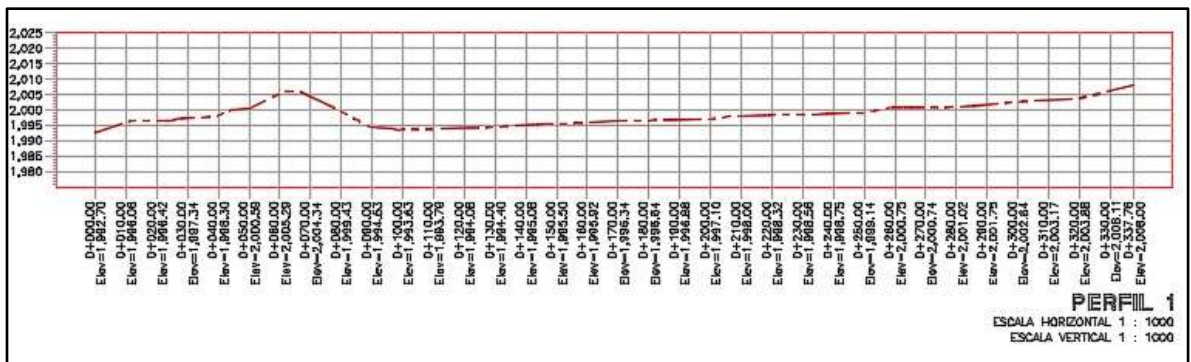
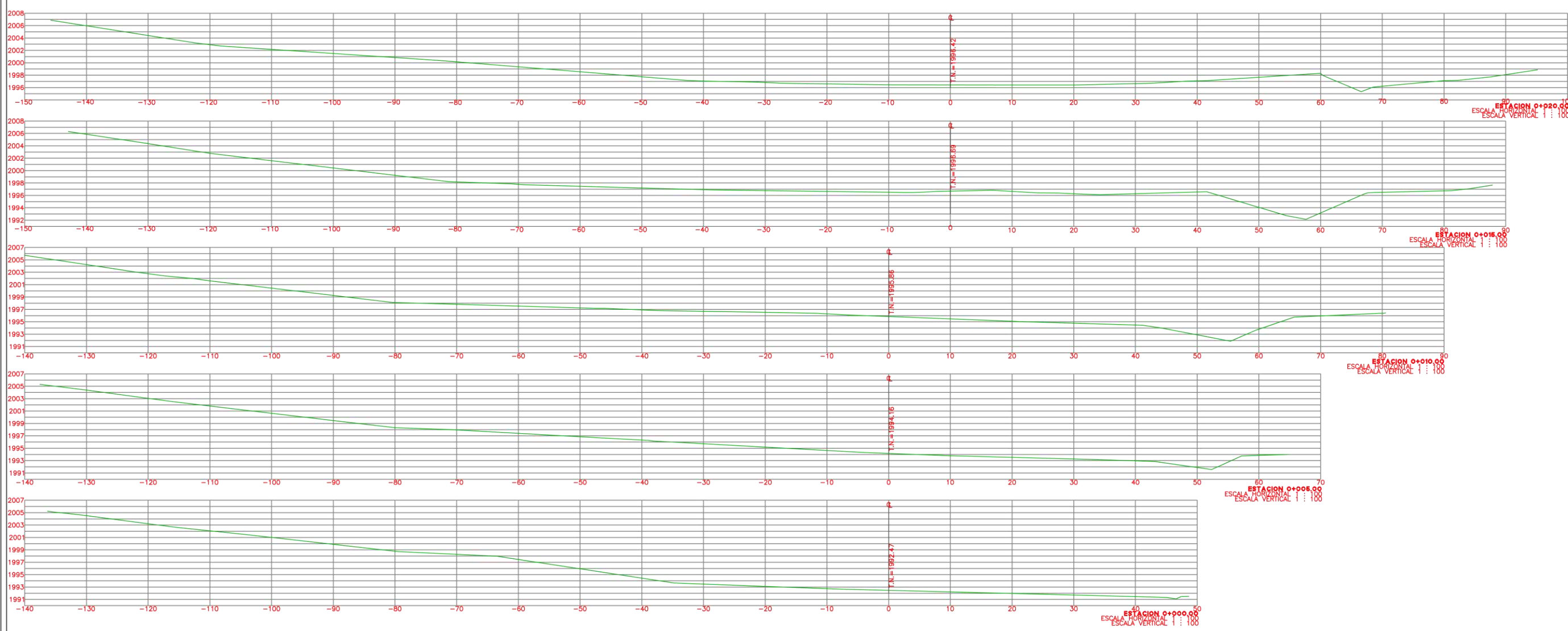


Figura 29. Perfil del bordo Truchuelo.

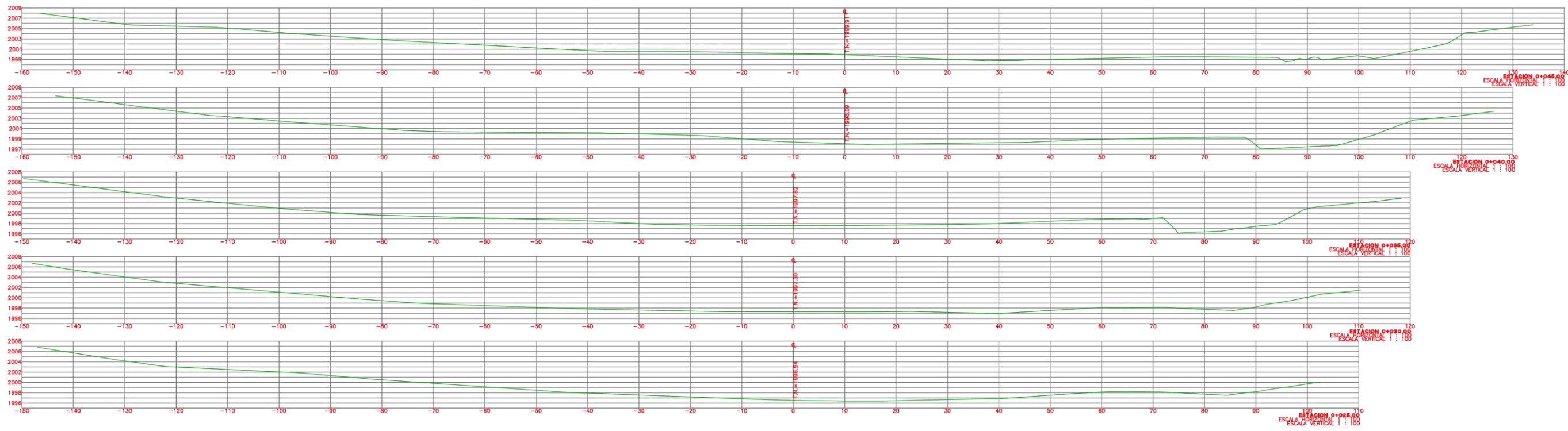


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
PL-02	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 700

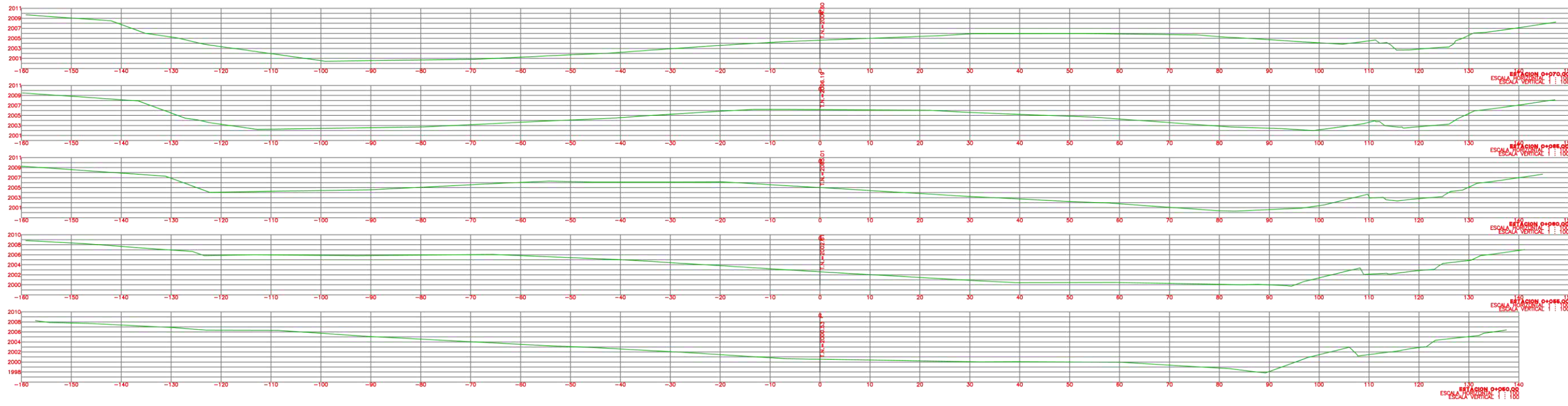
Figura 30. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-02)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-03	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 850

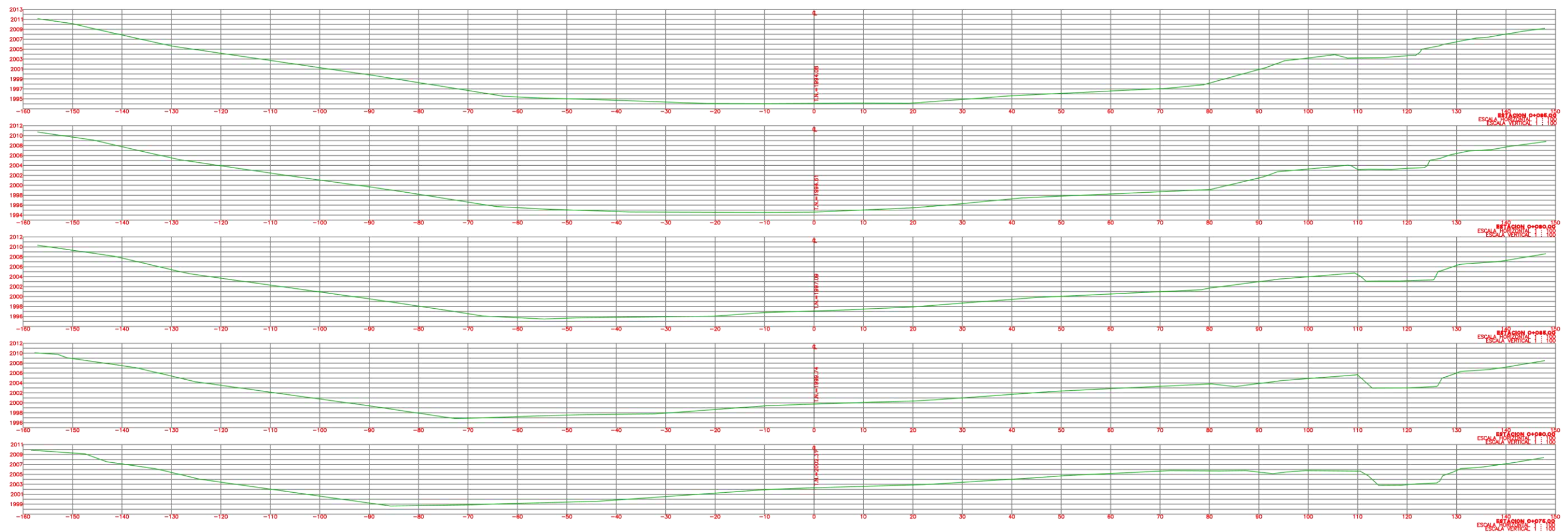
Figura 31. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-03)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-04	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 900

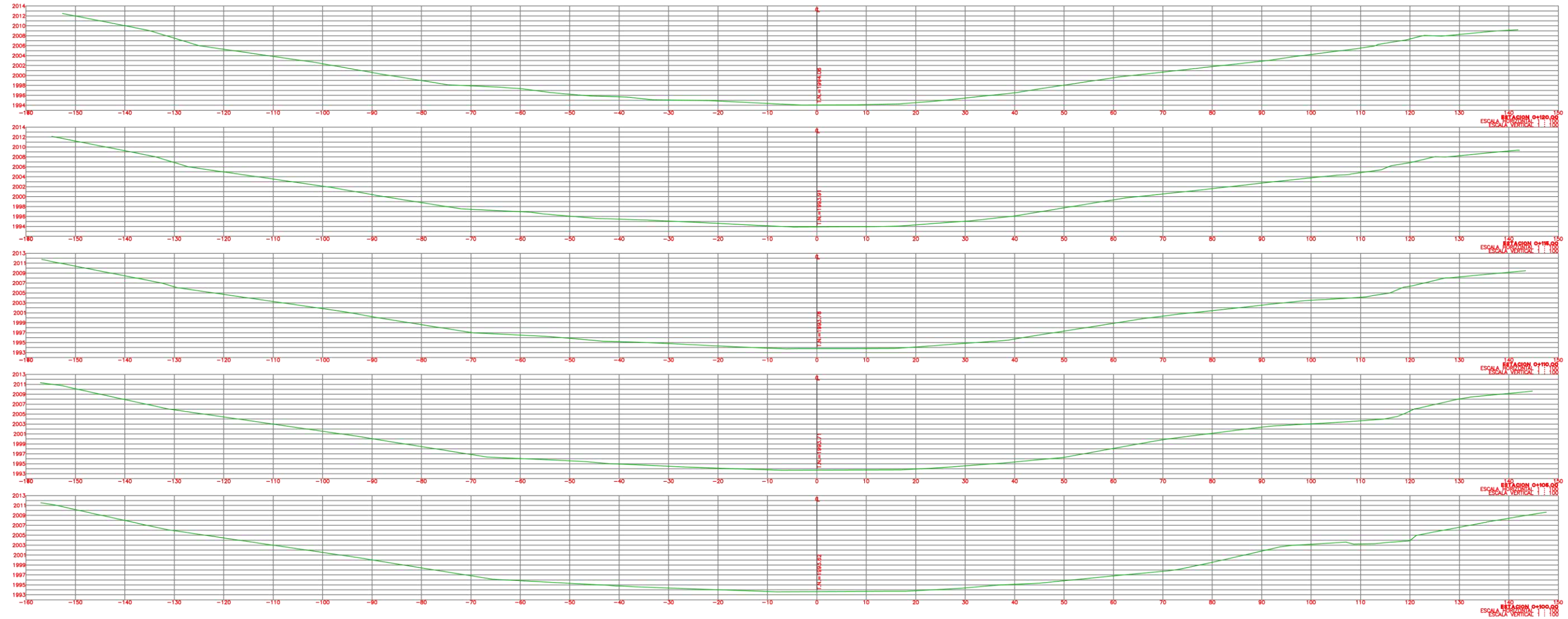
Figura 32. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-04)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-05	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 900

Figura 33. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-05)

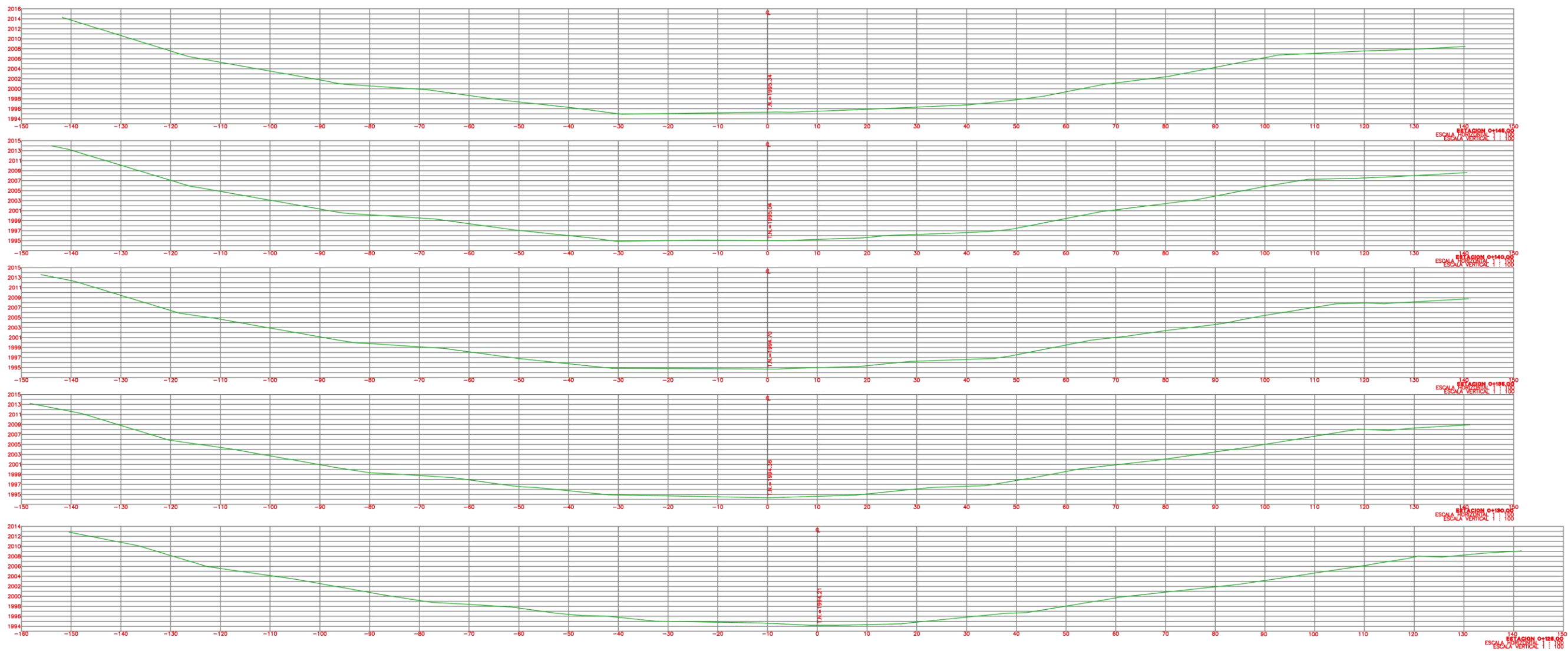


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-06	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 900

Figura 34. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-06)

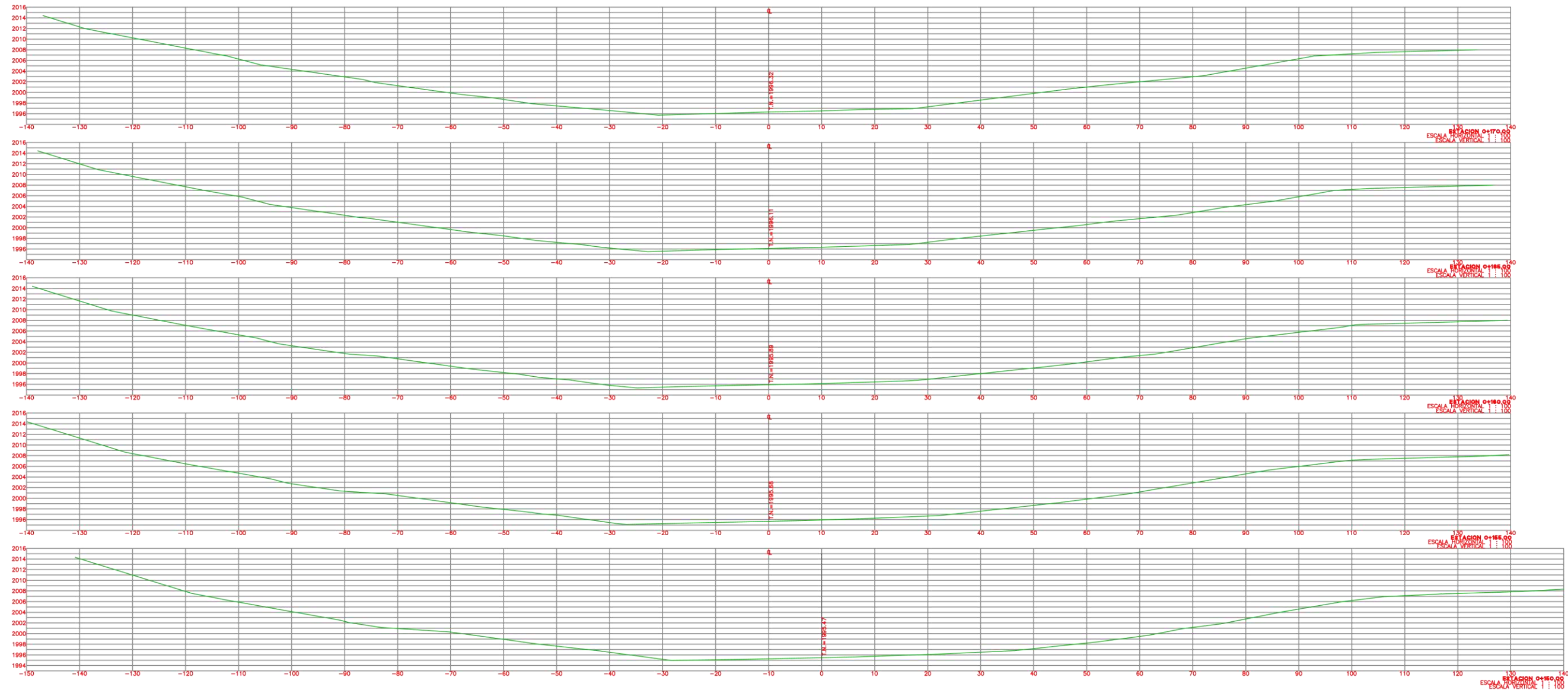


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-07	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 900

Figura 35. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-07)

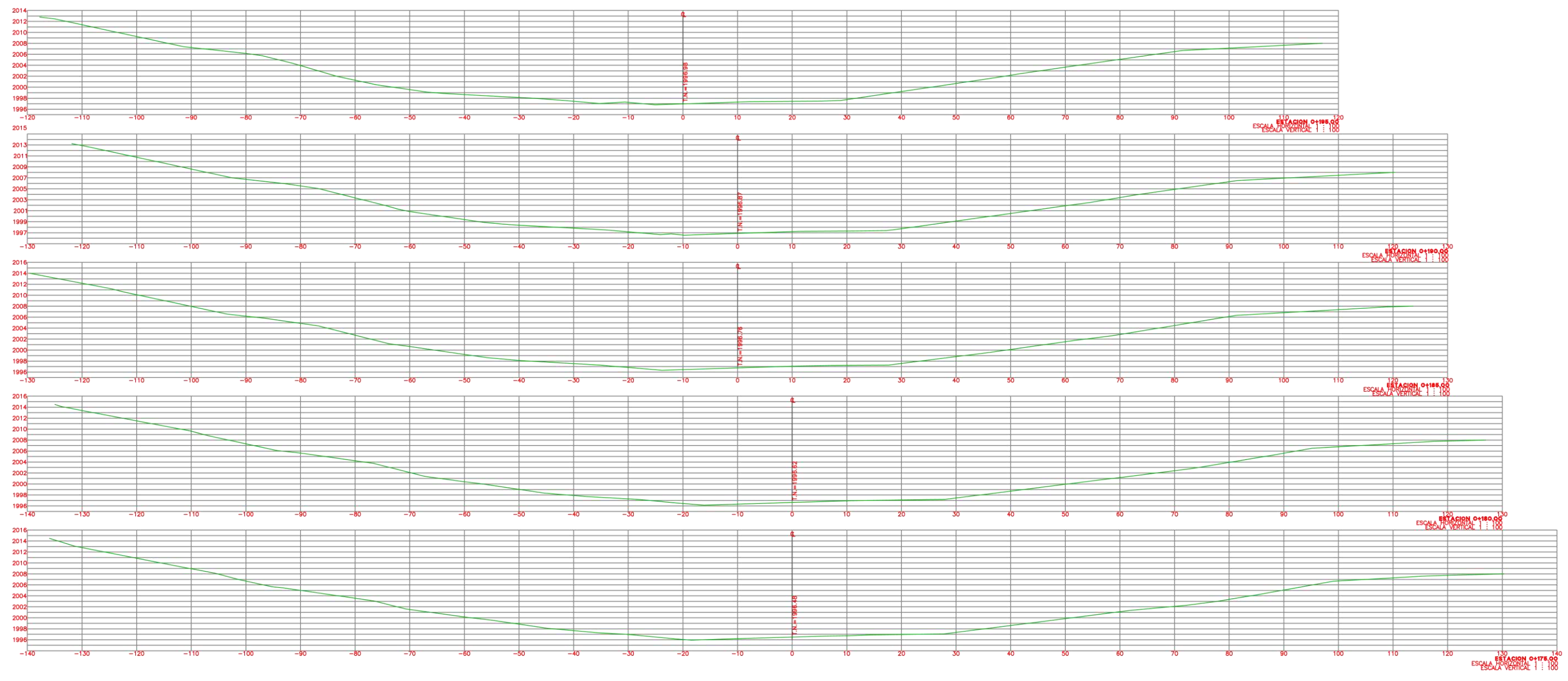


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-08	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 850

Figura 36. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-08)

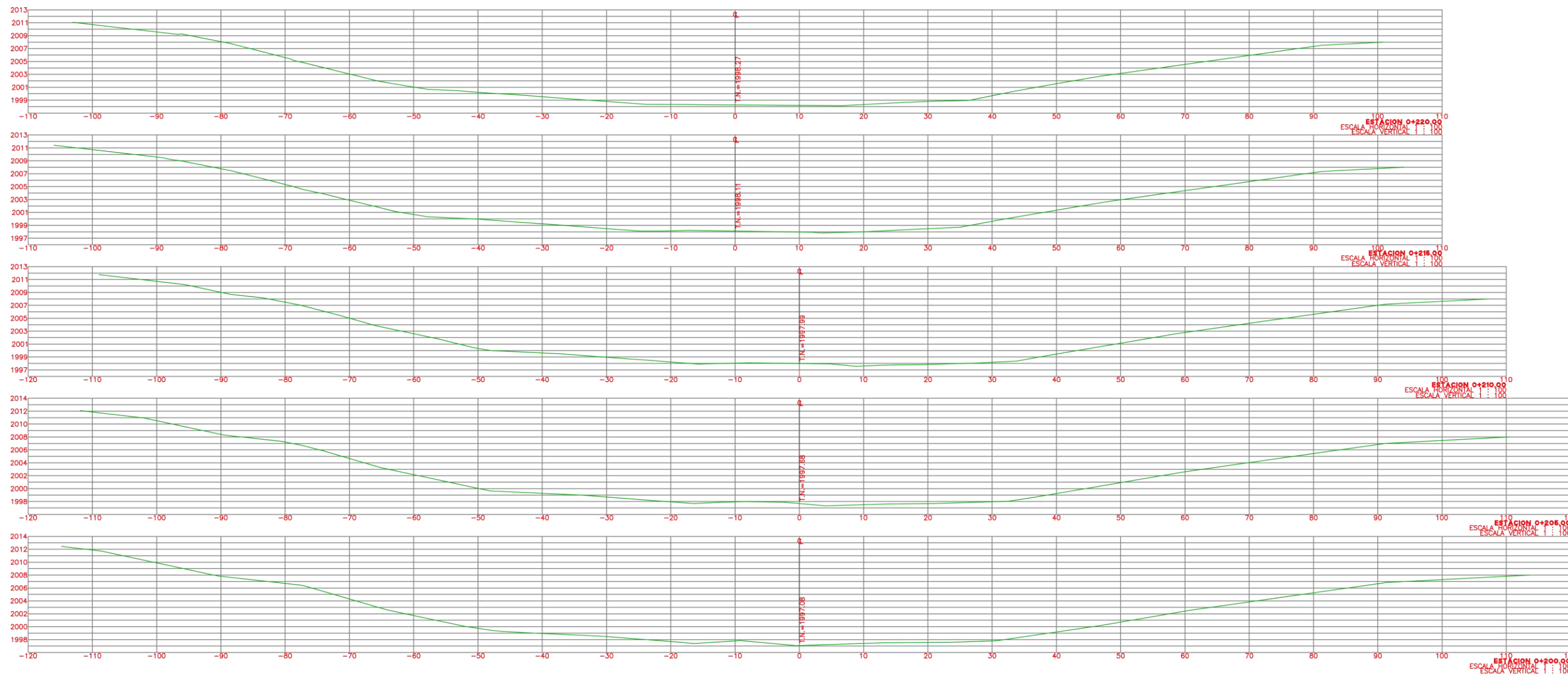


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
CLAVE: PL-09	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 800

Figura 37. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-09)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO:
 TOPOGRAFÍA

ELABORADO POR:
 SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL
 CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO

ESCALA:
 1 : 700

Figura 38. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-10)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
PL-11	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 600

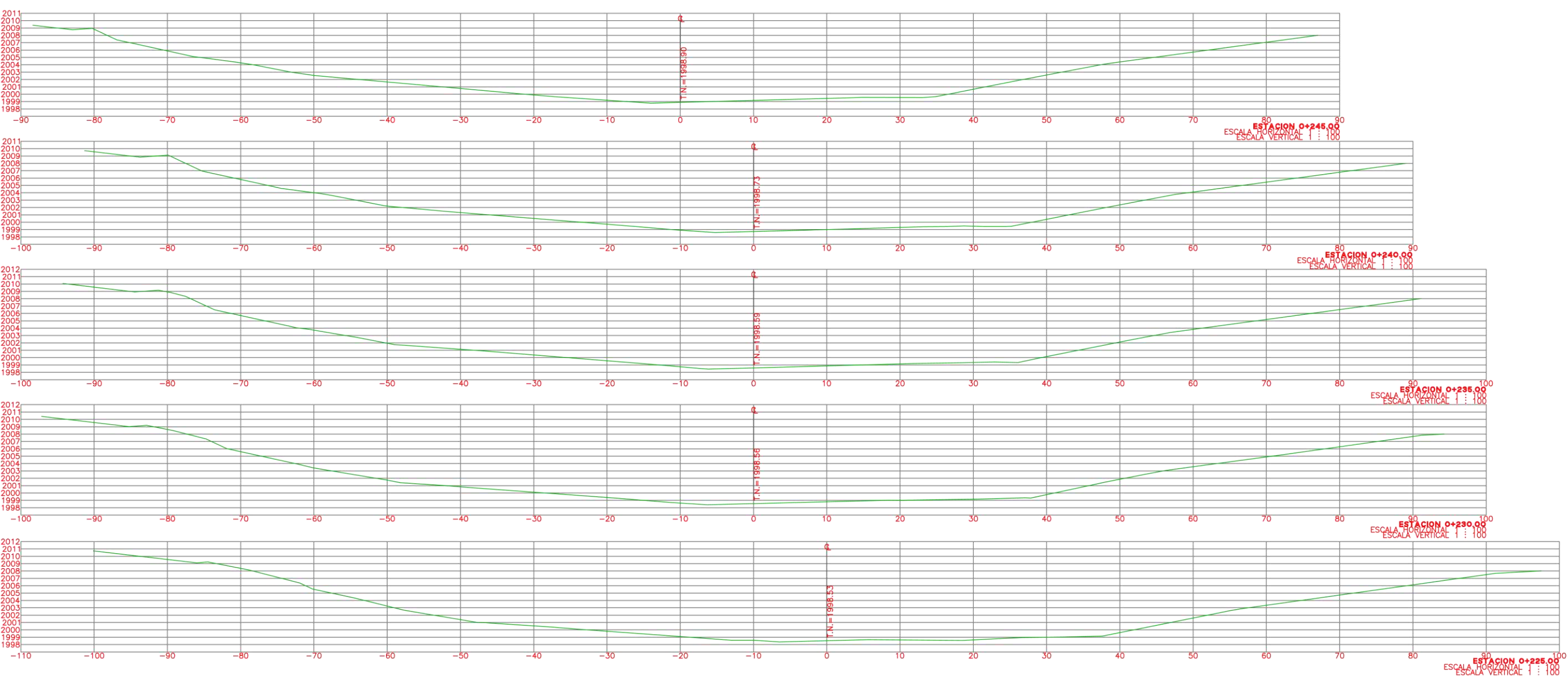
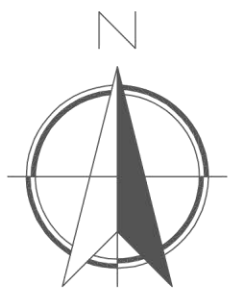
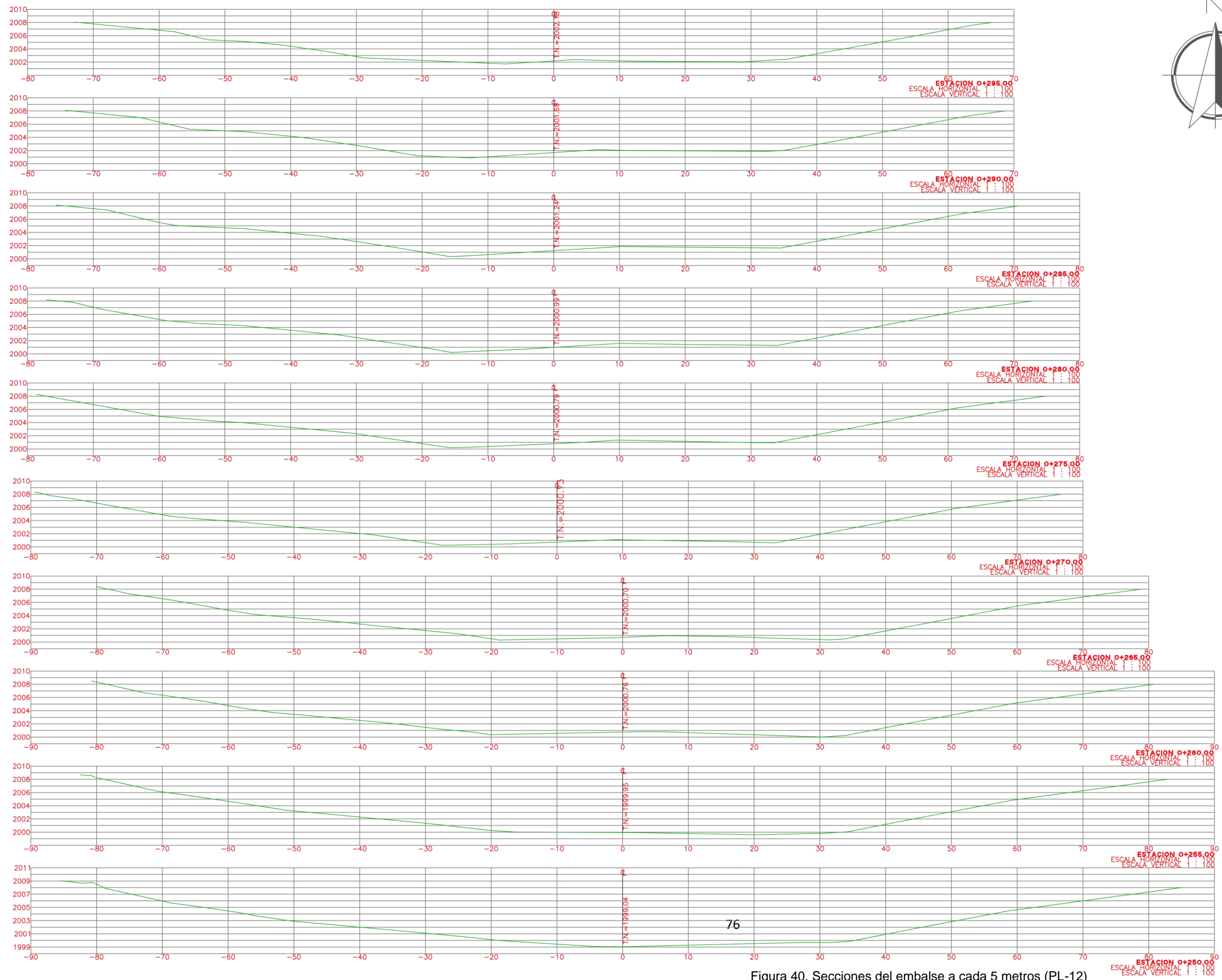


Figura 39. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-11)



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO
 OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN
 EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO: TOPOGRAFÍA	
PL-12	ELABORADO POR: SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO
	ESCALA: 1 : 550

Figura 40. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-12)

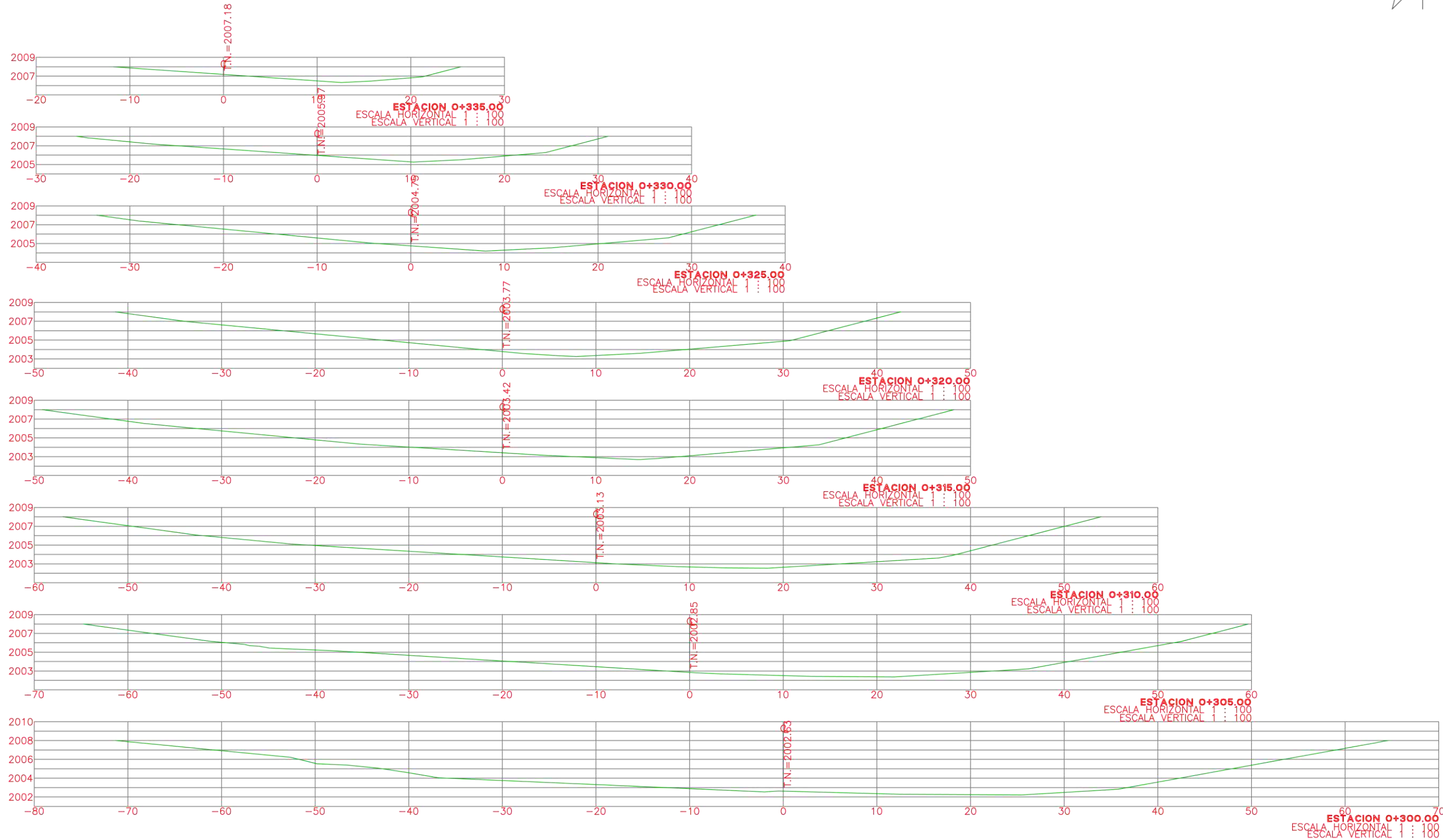


Figura 41. Secciones del embalse a cada 5 metros (PL-13)

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL

TÍTULO

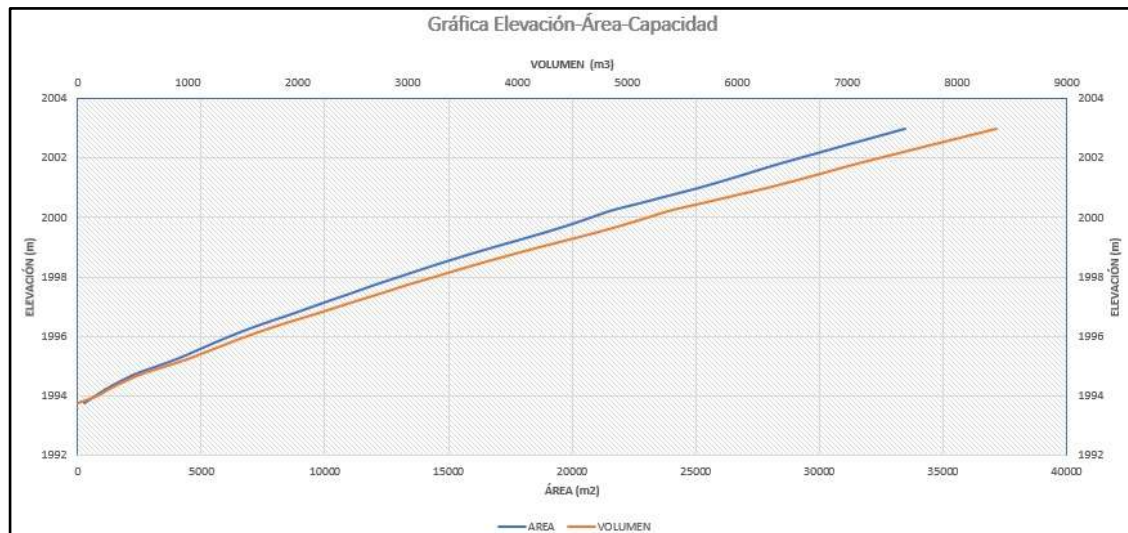
OBTENCIÓN DE BATIMETRÍA A PARTIR DE PROCESOS FOTOGRAMÉTRICOS EN EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES.

CONTENIDO DEL PLANO:
TOPOGRAFÍA

ELABORADO POR:
 SÁNCHEZ REZA EZEQUIEL
 CANO PIÑA JOSÉ ALBERTO

CLAVE: **PL-13**
 ESCALA:
1 : 450

A raíz de la información obtenida tenemos como resultado la siguiente curva áreas capacidades (Gráfica 1), en la cual se nos muestra en su eje inferior los valores del área, en los ejes verticales se tiene los datos de la elevación y en el eje superior se muestran los valores del volumen, obteniendo así como resultado el siguiente gráfico en donde nos indica que a un área aproximada de 32500 m² un volumen de 7700 m³, siendo este valor del gráfico el que nos indica que a ese nivel, se tiene aproximadamente la mejor capacidad sin abarcar un espejo de agua de mayores dimensiones.



Gráfica 1. Curva Área-Capacidades.

6.5 EVALUACIÓN DE COSTO, TIEMPO-EJECUCIÓN, CALIDAD DE RESULTADOS.

6.5.1 Evaluación del costo

Derivado de nuestro procesamiento de toma de información, se generó por medio de OPUS y con base a los aranceles del CICQ, nuestro costo por trabajo ejecutado siendo este, un total que desglosa tanto el costo por el uso de este equipo, el tiempo de ejecución y el procesamiento de la información.

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: 00070018						
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE TERRENO CON ESTACION TOTAL, TRAZANDO EJES, ESTABLECIENDO NIVELES Y REFERENCIAS NECESARIAS, PARA SUPERFICIE MAYOR DE 500.00 M2. INCLUYE: ESTACAS, MOJONERAS, BANCOS DE NIVEL, CONTROL Y SUPERVISIÓN DE LOS NIVELES DEL PROYECTO INCLUYE; PROCESAMIENTO DE INFORMACION, GENERACION DE PLANOS, EQUIPO, HERRAMIENTA, MANO DE OBRA Y TODO LO NECESARIO PARA SU COMPLETA EJECUCION.						
						Unidad : M2
						Cantidad : 110,000.00
						Precio unitario : \$ 0.24
						Total : \$ 26,400.00
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Mano de Obra						
+	GRUPO 011 TOPO	GRUPO 011 (1.00 Topografo + 1.00 Cadenero).	Jor	0.00007	\$ 2,632.09	\$ 0.18
Total de Mano de Obra						\$ 0.18
Equipo						
H	ESTACION TOTAL	Estacion total marca Sokkia, modelo SET620K. Incluye topografo y estadalero.	hora	0.00050	\$ 29.61	\$ 0.01
Total de Equipo						\$ 0.01
Costo Directo						\$ 0.19
Indirectos (3.37%)						\$ 0.01
Indirectos de Campo (12.18%)						\$ 0.02
Subtotal						\$ 0.22
Financiamiento (1.00%)						\$ 0.00
Subtotal						\$ 0.22
Utilidad (10.00%)						\$ 0.02
Precio Unitario						\$ 0.24
** CERO PESOS 24/100 M.N. **						

OBTENCION DE BATIMETRIA APARTIR DE PROCESOS
 FOTOGAMETRICOS EN EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES

Análisis de Precio Unitario						
Descripción						
Clave: 00007125						
LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE TERRENO CON EQUIPO FOTOGRAFICO (DRON), ESTABLECIENDO NIVELES Y REFERENCIAS NECESARIAS, PARA SUPERFICIE MAYOR DE 500.00 M2. INCLUYE: BANCOS DE NIVEL, CONTROL Y SUPERVISION DE LOS NIVELES DEL PROYECTO INCLUYE: PROCESAMIENTO DE INFORMACION, GENERACION DE PLANOS, EQUIPO, HERRAMIENTA, MANO DE OBRA Y TODO LO NECESARIO PARA SU COMPLETA EJECUCION.						
					Unidad :	M2
					Cantidad :	110,000.00
					Precio unitario :	\$ 0.08
					Total :	\$ 8,800.00
Ci	Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Total
Mano de Obra						
	TRAB-010	TOPOGRAFO	jor	0.00002	\$ 1,097.78	\$ 0.03
	TRAB-019	ESTADALERO	jor	0.00002	\$ 720.64	\$ 0.02
Total de Mano de Obra						\$ 0.05
Herramienta						
	H MENOR	HERRAMIENTA MENOR	(%)mo	0.03000	\$ 0.05	\$ 0.00
Total de Herramienta						\$ 0.00
Equipo						
	H DRON PHATOM 4.	DRON PHANTOM 4	hora	0.00020	\$ 71.73	\$ 0.01
Total de Equipo						\$ 0.01
					Costo Directo	\$ 0.06
					Indirectos (3.37%)	\$ 0.00
					Indirectos de Campo (12.18%)	\$ 0.01
					Subtotal	\$ 0.07
					Financiamiento (1.00%)	\$ 0.00
					Subtotal	\$ 0.07
					Utilidad (10.00%)	\$ 0.01
					Precio Unitario	\$ 0.08
** CERO PESOS 08/100 M.N. **						

OBTENCION DE BATIMETRIA APARTIR DE PROCESOS
 FOTOGRAFICOS EN EMBALSES DE ESCURRIMIENTOS INTERMITENTES

A continuación, se generó la tabla 4 correspondiente a la comparativa entre los precios obtenidos con base a los datos del CICQ y la página llamada “cotizador de topografía” del precio anteriormente obtenido de nuestro análisis.

Tabla 5. Comparación de precios en actividades.

	ACTIVIDAD	PRECIO	
		Con base a datos del CICQ	Cotizador de topografía
1	Levantamiento con estación total	\$ 26,400.00	\$ 29,850.00
2	Levantamiento con dron (metodología propuesta)	\$ 8,800.00	\$ 10,350.00

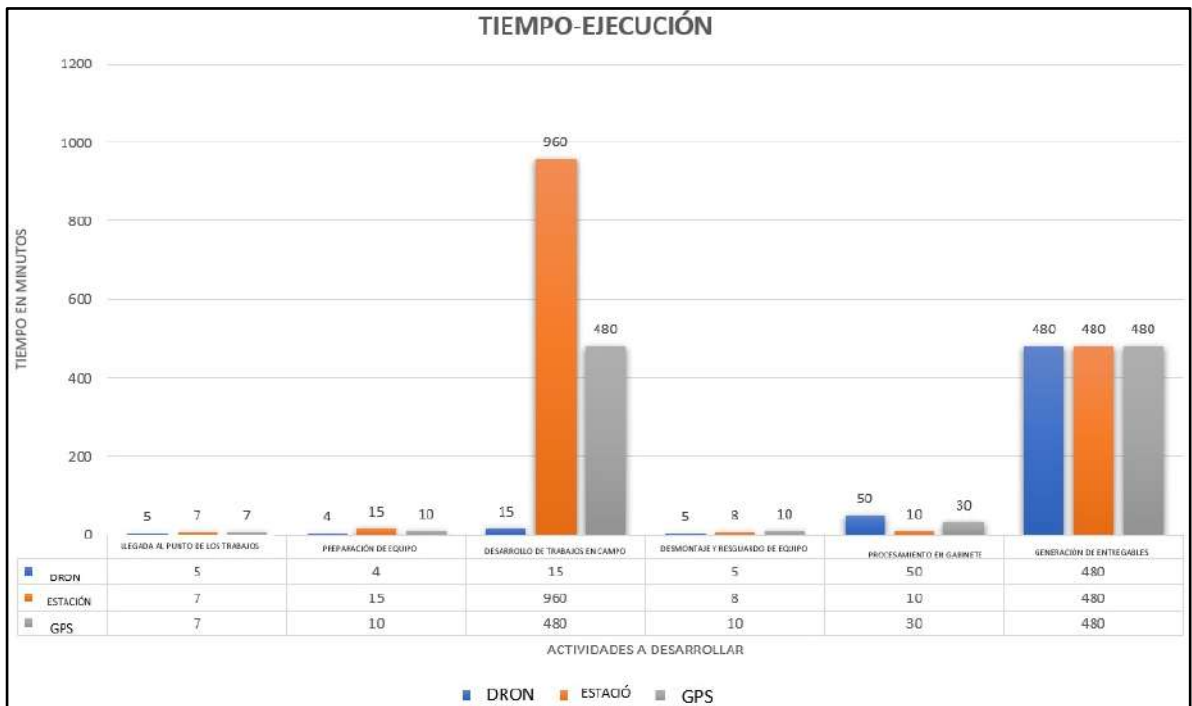
6.5.2 Evaluación del Tiempo-Ejecución

En primera instancia se muestran todos los procesos a ejecutar dentro de nuestra metodología propuesta, para ello, cada actividad fue registrada con un periodo de ejecución derivado de las acciones a desarrollar (Tabla 5).

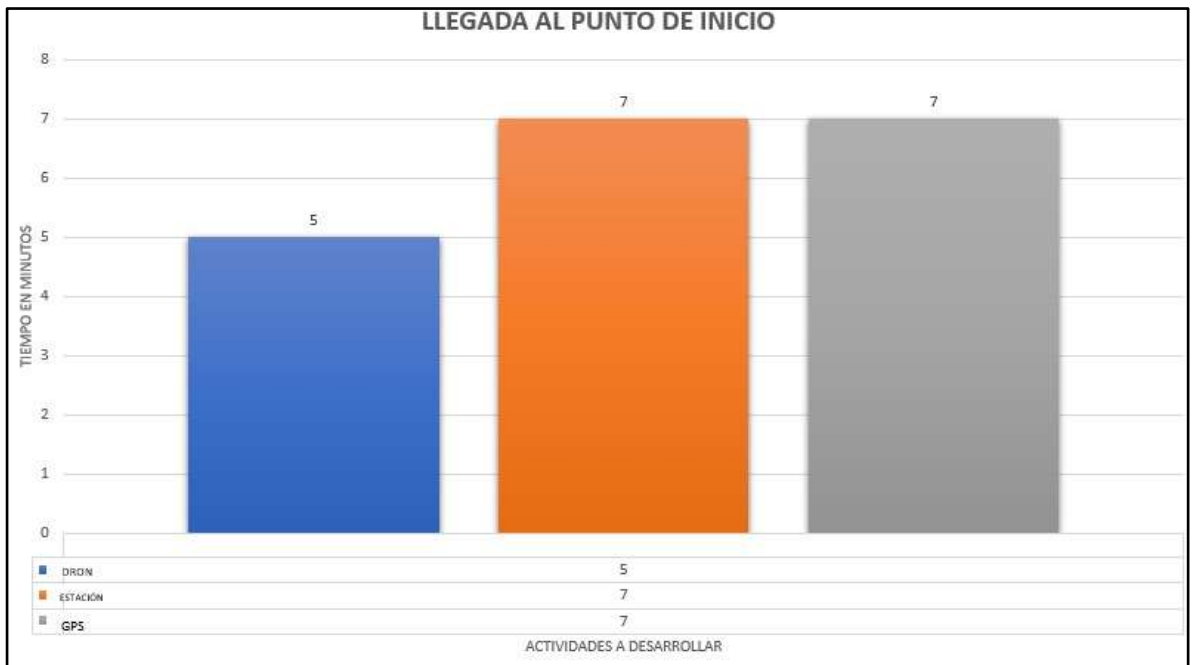
Tabla 6. Comparación de tiempos en técnicas de levantamiento topográfico.

TIEMPO - EJECUCIÓN						
No.	METODOLOGÍA PROPUESTA (DRON)		METODOLOGÍA CON ESTACIÓN TOTAL		METODOLOGÍA CON GPS	
	Actividad	Duración en minutos	Actividad	Duración en minutos	Actividad	Duración en minutos
1	Llegada al punto de inicio de los trabajos	5	Llegada al punto de inicio de los trabajos	7	Llegada al punto de inicio de los trabajos	7
2	Preparación del equipo para inicio de las actividades	4	Preparación del equipo para inicio de las actividades	15	Preparación del equipo para inicio de las actividades	10
3	Desarrollo del vuelo para captura de la información requerida	15	Toma de puntos y cambios de estación	960	Toma de puntos y registro de datos para base GPS	480
4	Áterrizaje y desmantelamiento del dron para resguardo	5	Desmontaje de equipo y resguardo	8	Desmontaje de equipo y resguardo	10
5	Procesamiento de la información en gabinete	50	Procesamiento de la información en gabinete	10	Procesamiento de la información en gabinete	30
6	Generación de entregables	480	Generación de entregables	480	Generación de entregables	480
	Tiempo total=	553	Tiempo total=	1480	Tiempo total=	1017

A continuación, se muestra la gráfica 2, correspondiente a la comparativa entre los tiempos mostrados anteriormente que se ocupan para ejecución de los trabajos correspondientes.

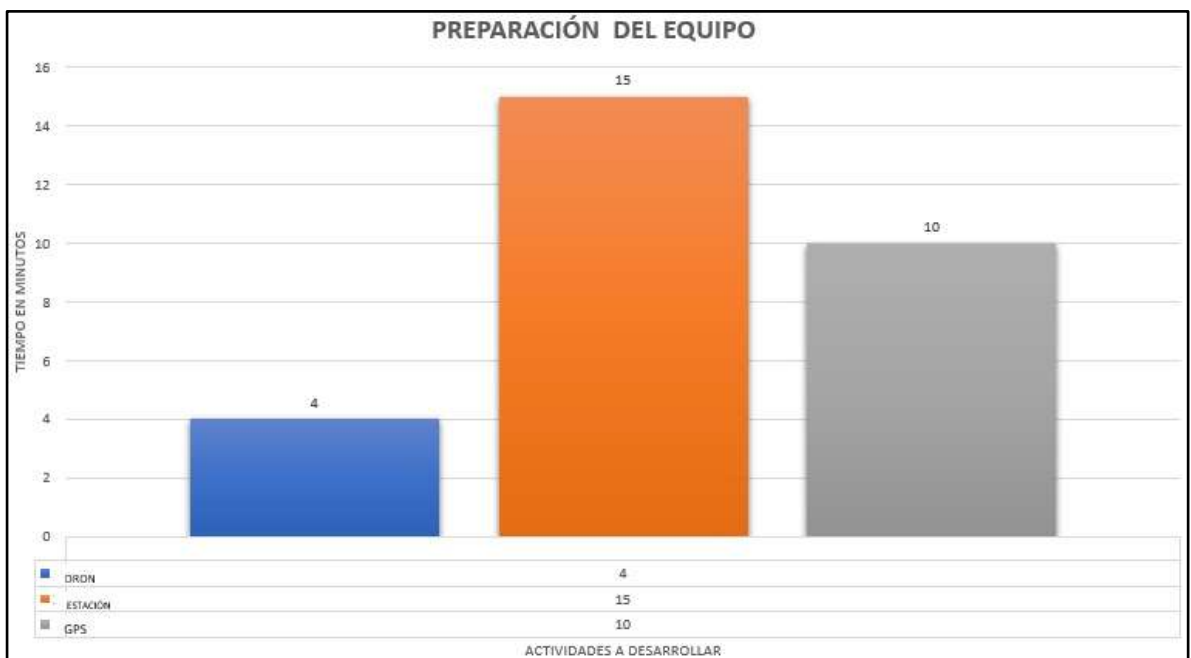


Gráfica 2. Tiempo-Ejecución de las actividades.



Gráfica 3. Llegada al punto de inicio de los trabajos.

La grafica 3 nos muestra la comparativa de los tiempos que nos lleva el llegar al punto donde se van a realizar los trabajos, tomando en cuenta el descenso del vehículo y movimiento del equipo al punto donde se instalaran para el inicio de los trabajos, teniendo como resultado que nuestra metodología conlleva un menor tiempo, aunque la diferencia únicamente es de 2 minutos. Es importante que para cualquier otro trabajo se pudiera demorar más tiempo, siendo consecuencia de una mayor distancia a recorrer, dependiendo de que tan lejos quede el vehículo de dicho punto.



Gráfica 4. Preparación del equipo para inicio de actividades.

Un punto importante, es la preparación del equipo, como se observa en la gráfica 4, los tiempos considerados es desde el punto en que se empieza a retirar de los maletines los equipos, pre-nivelación del tripié, colocación y nivelación final así como la configuración del equipo para iniciar con la captura de datos; la instalación de la hélices y la colocación de la batería así como el encendido de la aeronave para que se empiecen a cargar los datos y la lectura

con satélites para su posicionamiento del drone. Todo esto para poder ejecutar los trabajos.



Gráfica 5. Desarrollo de los trabajos para obtención de información.

Para el desarrollo de las actividades como se señala en la gráfica 5, podemos observar una considerable inversión de tiempo, las actividades que se contemplan para la representación de dichos tiempos, en el caso del drone, inicia con el despegue, recorrido de la trayectoria programada, captura de las fotografías, todo esto dependiendo de la velocidad a la que se programó el vuelo y la altura a la que se está volando, ya que a menor altura de vuelo se requiere mayor tiempo para capturar mayor número de fotos y viceversa, a mayor altura, menor tiempo de vuelo, hasta finalizar con el descenso en el punto de despegue. Por otra parte, las otras dos metodologías implican el recorrido a pie portando la baliza o el rover., para el caso de estación total y GPS (respectivamente), así mismo ir capturando los datos. Cabe señalar que en ocasiones la medida de los puntos requiere repetirse y el tiempo es el que se alarga puesto que no se abarca la misma área que en una foto, ni mucho menos se tiene la misma velocidad de desplazamiento, sin olvidar que, al usar estación total, resulta necesario realizar

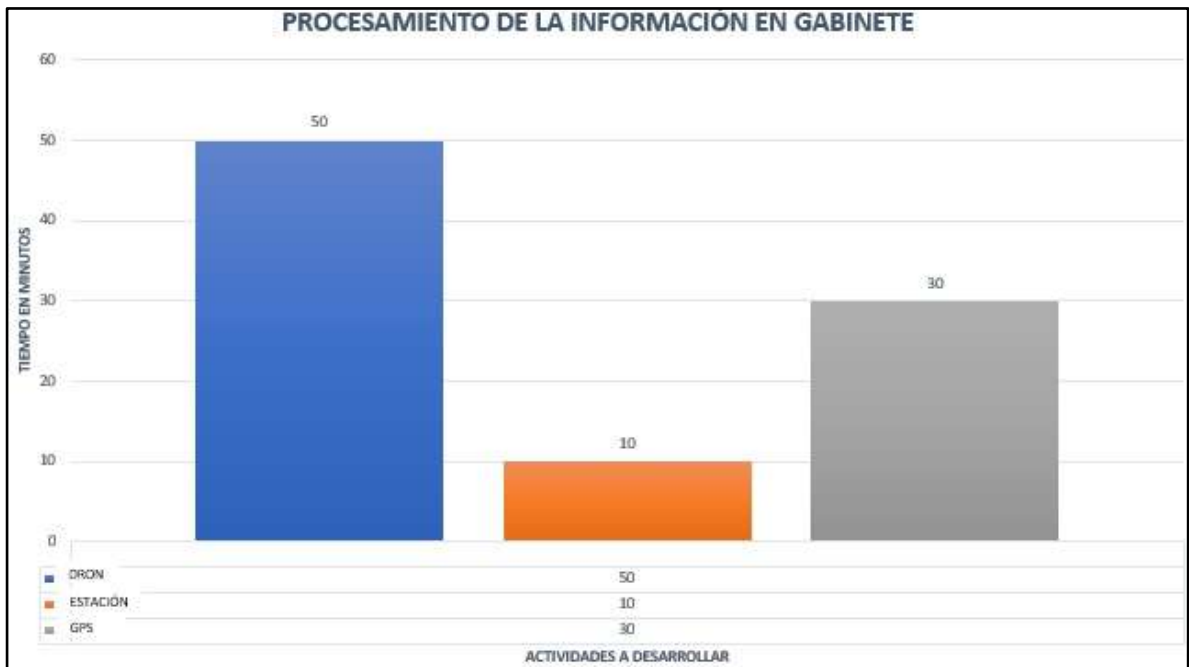
cambios de estación debido a que la visibilidad no es la misma en algunas áreas de interés impidiendo la visualización del prisma.



Gráfica 6. Desmontaje y resguardo de los equipos.

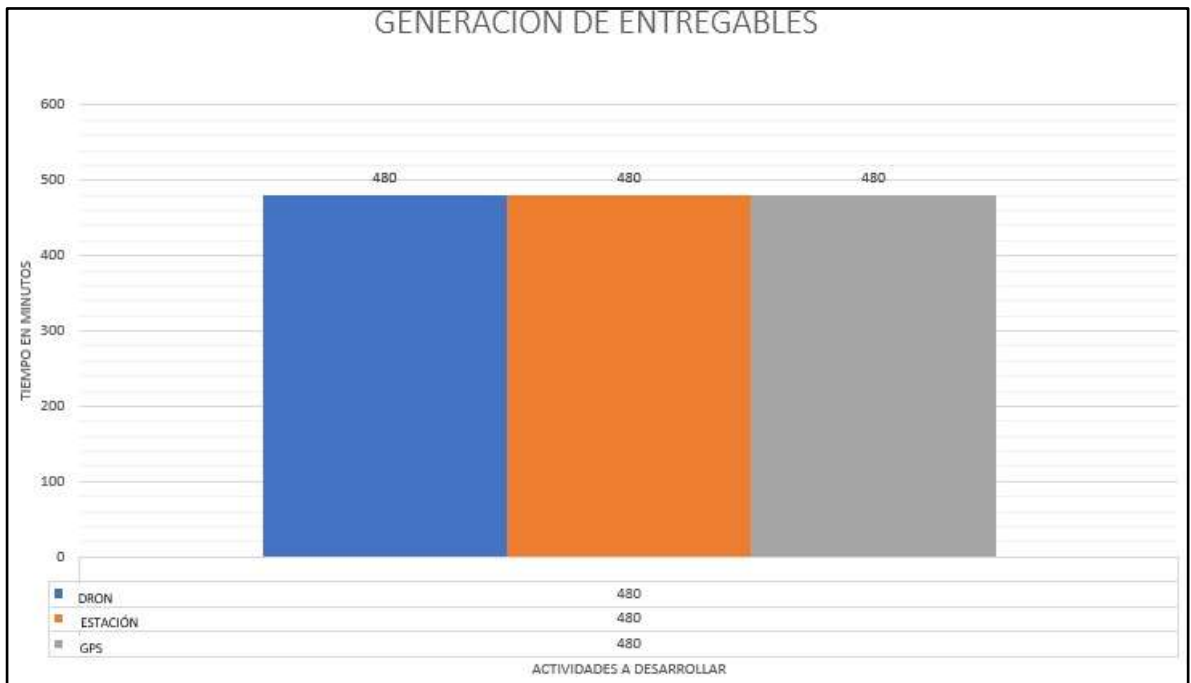
En este punto, observando la gráfica 6, se tiene que el tiempo invertido no es el mismo, ya que, el desmontaje y resguardo del dron solo implica el retirado de las hélices, así como de la batería, terminando por doblar los brazos del dron para un correcto resguardo.

Por otra parte, el uso de la estación y el GPS implican una pequeña verificación de que la información se haya guardado correctamente, posterior del desmontaje y resguardo de los equipos en los maletines para finalizar con el desmontaje de las balizas y tripies que soportan los mismos, siendo mayor el tiempo como se aprecia.



Gráfica 7. Procesamiento de la información en gabinete.

En este punto tomamos en cuenta los diferentes procesos mencionados en la metodología, dándonos un tiempo mayor para nuestra metodología debido a que incluye una ortofoto, la cual conlleva más acciones que únicamente procesar una geolocalización cómo funciona en los métodos revisados. La estación total conlleva un menor tiempo de trabajo en cuanto a procesamiento de la información ya que los datos obtenidos del levantamiento únicamente requieren de la extracción directamente del equipo y plasmarlos en el programa por medio de CivilCad. En cuanto al GPS este igual lleva un proceso que requiere mayor tiempo que la estación total ya que los puntos deben tener un proceso de correlación de coordenadas satelitales entre los puntos levantados y un punto fijo de lectura de datos satelitales.



Gráfica 8. Generación de entregables.

Para la generación de entregables, se realizó la presentación de planos que son requeridos para visualizar de mejor forma la información; el tiempo que esto conlleva es similar en las tres metodologías ya que se entrega un producto de características similares, con diferentes presentaciones, resaltando que el uso de dron implementa una ortofoto, la cual le dio una visualización de mayor calidad a lo que es la planta general y que en ocasiones programas como Google Earth o Google Maps por lo regular las imágenes tienen un desfase de tiempo de hasta dos años.

7. CONCLUSIONES

La metodología propuesta reduce 921 minutos, lo que equivale a 15 horas y 21 minutos los tiempos respecto a el mismo trabajo generado con estación total y reduce 457 minutos, equivalente a 7 horas y 37 minutos con una metodología empleando GPS, por lo que se concluye que nuestra propuesta cumple con ser de mayor rapidez en cuanto a la ejecución de los trabajos.

Derivado del análisis entre la metodología propuesta y dos de las convencionales más usadas que son el GPS y la Estación Total, tenemos que los tiempos de preparación del equipo y llegada al sitio son muy similares pero el equipo a utilizar dentro de nuestra metodología requiere un menor tiempo ya que el acceso al lugar de los trabajos se vuelve más fácil debido a la practicidad del equipo. La toma de datos se redujo en 945 y 465 minutos respecto a estación total y GPS, siendo nuestra metodología más rápida con una duración de solo 15 minutos, por lo que la metodología propuesta reduce notoriamente los tiempos de la toma de datos y el trabajo en campo.

Los tiempos de procesamiento de la información nos dice que la metodología propuesta requiere de mayor tiempo debido a que se tiene un mayor número de etapas y los entregables de dicho procesamiento nos dan una ortofoto la cual no se obtiene de ninguna de las otras dos metodologías, garantizando así un mejor trabajo el cual va a ser más visual y de mejor comprensión para cualquiera que disponga de la información. Por lo tanto, los entregables requieren el mismo trabajo, pero, como se mencionó anteriormente, la metodología propuesta nos da el plus de una mejor visualización del relieve.

Es importante mencionar que el ahorro en tiempos de ejecución de actividades nos permite tener una reducción de personas como en costos de ejecución, llegando a ser hasta una sola persona la que pueda realizar el trabajo en campo utilizando drone.

Al evaluar los costos y tomando en cuenta los aspectos de trabajos en obra y trabajos de gabinete, se reducen \$15,600 pesos comparando la cotización realizada con base a los datos de aranceles del Colegio de Ingenieros Civiles del Estado de Querétaro y \$19,500 pesos del cotizador de topografía en internet, dándonos un promedio de \$17,550 pesos, esto respecto a la diferencia que existe en el uso de la estación total y el dron, lo que nos indica que la propuesta implementando drones, resulta ser más económica respecto a la comparada con estación total para este tipo de cuerpos de agua en los cuales se basó nuestro estudio.

Derivado de nuestro análisis y proceso de la información, así como de la metodología y los resultados obtenidos, tenemos que, el embalse que se analizó cumple con las características para ser considerado como un embalse de escurrimiento intermitente.

Con lo anterior, el análisis nos da como resultado la curva área capacidades, observando que el embalse ocupa un área de 33,462.24 m² con un volumen de 144,754.86 m³, siendo así, un cuerpo con baja eficiencia en almacenamiento. Concluyendo que es un cuerpo en el cual se debe tener considerable observación en tema de cantidad de azolves para garantizar un mejor almacenamiento en el vaso.

Con esta metodología, tuvimos un fácil acceso al lugar de los trabajos, obteniendo resultados con una precisión aceptable, ya que los errores obtenidos varían por centímetros haciendo que nos facilite el medir niveles de azolve de una manera más sencilla con un margen de error permisible. Del modelo digital de elevaciones obtenido, tenemos que el error en X es de 4 centímetros, así como en Y y en Z es 2 centímetros, concluyendo así, que el nivel de confiabilidad en los resultados obtenidos es aceptable, ya que los errores son mínimos considerando el procedimiento que se empleó.

Por último, se concluye que, esta metodología puede implementarse en el monitoreo de azolves para cuerpos de agua en los cuales las áreas son extensas y tienen un bajo o alto volumen de almacenamiento, esto para poder prevenir desastres naturales que generen inundaciones y afectaciones para zonas aledañas ya que normalmente suelen encontrarse aguas arriba de alguna población. Esta metodología nos permitirá una fácil toma de datos en los momentos que no se pueda acceder a zonas que resulten en su momento con riesgos para las personas que se encuentren realizando los trabajos de monitoreo, así mismo, nos permitirá tener una base de datos para generar una proyección futura del comportamiento del embalse en cuanto a sus niveles de azolve, el área que abarque y volumen de captación que se tenga a raíz del arrastre generado por el flujo del agua.

8. REFERENCIAS

- Allouis, T., Bailly, J. S., Pastol, Y., & Le Roux, C. (2010). Comparison of LiDAR waveform processing methods for very shallow water bathymetry using Raman, near-infrared and green signals. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 35(6), 640-650.
- Jawak, S., Vadlamani, S. and Luis, A. (2015) A Synoptic Review on Deriving Bathymetry Information Using Remote Sensing Technologies: Models, Methods and Comparisons. *Advances in Remote Sensing*, 4, 147-162. doi: 10.4236/ars.2015.42013.
- Lubczonek, Jacek, Witold Kazimierski, Grzegorz Zaniewicz, and Malgorzata Lacka. 2022. "Methodology for Combining Data Acquired by Unmanned Surface and Aerial Vehicles to Create Digital Bathymetric Models in Shallow and Ultra-Shallow Waters" *Remote Sensing* 14, no. 1: 105. <https://doi.org/10.3390/rs14010105>
- Vázquez-Figueroa, V., Canet, C., Prol-Ledesma, R. M., Sánchez, A., Dando, P., Camprubí, A., ... & Hiriart Le Bert, G. (2009). Batimetría y características hidrográficas (mayo, 2007) en las Cuencas de Consag y Wagner, Norte del Golfo de California, México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, 61(1), 119-127.
- Lizano Rodríguez, O. G. (2010). Batimetría, modelos de elevación digital y sus aplicaciones.
- Grządziel, Artur. (2023). "Método de estimación del tiempo para los levantamientos batimétricos realizados con un sistema de ecosonda

multihaz" Ciencias Aplicadas 13, no. 18: 10139.
<https://doi.org/10.3390/app131810139>

- Grządziel, Artur. (2023). "Método de estimación del tiempo para los levantamientos batimétricos realizados con un sistema de ecosonda multihaz" Ciencias Aplicadas 13, no. 18: 10139.
<https://doi.org/10.3390/app131810139>
- Avilés, M. P., & Gareca, J. P. Z. (2022). Aplicación de aerofotogrametría con UAV para la actualización de la superficie topobatimétrica en embalses de montaña. Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 9(1), 15-29.
- Klemas, V. (2015). Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview. Journal of Coastal Research, 315, 1260–1267. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00005.1>
- Basile, P. A. (2018). Transporte de sedimentos y morfodinámica de ríos aluviales.
- Romero, F., & Pineda, N. M. (2007). Batimetría del lago de Yojoa. Revista Técnico-Científica Tatascan, 19.
- Bilbao La Vieja Bracamonte, M. (2020). Propuesta metodológica para el monitoreo de volumen de la represa Milluni (Doctoral dissertation).
- Miguel Ángel, M. P., & José Aniceto, P. P. (2021). Análisis de la utilización de drones para el levantamiento topográfico en sitios habitados donde se presentan aguas estancadas en el municipio de Ciénaga Magdalena.

- Guevara, A. F. A. (2006). Caracterización Geológico-Ambiental de la Cuenca del Río Chichimequillas, Estado de Querétaro (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO).
- Escalante Torrado, J. O., & Porras Díaz, H. (2016). Ortomosaicos y modelos digitales de elevación generados a partir de imágenes tomadas con sistemas UAV. *Tecnura*, 20(50), 119-140.
- Ardila, J. A. C., Risco, J. A. C., Barrios, L. G. L., & Reina, M. J. I. (2021). La aplicación de técnicas fotogramétricas para la documentación del patrimonio: el caso de la Noria de Autrán (Puerto Real, Cádiz). *Matagorda: Revista de estudios puertorrealeños*, (3), 13-40.
- Jie Shan, Zhihua Hu, Pengjie Tao, Lei Wang, Shenman Zhang & Shunping Ji (2020) Toward a unified theoretical framework for photogrammetry, *Geospatial Information Science*, 23:1, 75-86, DOI: 10.1080/10095020.2020.1730712
- Schuch, H., C. L Nogueira, F. R Rutz, and Kevin L Rens.2019. "Photogrammetric Modelling of a Stone Bridge for Structural Analysis." In *International Conference on Arch Bridges*, 273–279. Springer.
- Likun Wang, Zi Wang, Peter Kendall, Kevin Gumma, Alison Turner & Svetan Ratchev (2023) Digital-twin deep dynamic camera position optimisation for the V-STARS photogrammetry system based on 3D reconstruction, *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2023.2252108.
- Mavrincac, Aaron, and Xiang Chen. 2013. "Modeling Coverage in Camera Networks: A Survey." *International Journal of Computer Vision* 101 (1): 205–

- Costales Acurio, G. A. (2018). Análisis comparativo entre los softwares de prueba Agisoft Photoscan y Pix4D para el procesamiento de datos obtenidos con fotogrametría de vehículo aéreo no tripulado (UAV) de bajo costo aplicado a proyectos de medio ambiente (Tesis de licenciatura, Quito, 2018.).
- Abel Nájera Ramos, D. R. V. J., Vázquez Jiménez, R., Rocío Ramos Bernal, D. N., Gloria Rojas Sánchez, I., & Ana Ma Liborio Vicente, I. (2019). Propuesta Metodológica Para La Generación De Ortofotos Y Modelos Digitales De Elevación De Alta Resolución A Través De Vuelos Con Drones No-Fotogramétricos.
- Inegi. (2023). Publicaciones mapas.<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463598428> y
- Sabina, J. Á. R., Valle, D. G., Ruiz, C. P., García, J. M., & Laguna, A. G. (2015). Aerial photogrammetry by drone in archaeological sites with large structures. Methodological approach and practical application in the medieval castles of Campo de Montiel. *Virtual Archaeology Review*, 6(13), 5. <https://doi.org/10.4995/var.2015.4366>
- Arredondo-Figueroa, J. L., Borrego-Enríquez, L. E., Castillo-Domínguez, R. M., & Valladolid-Laredo, M. A. (1983). Batimetría y morfometría de los lagos “maars” de la cuenca de Oriental, Puebla, México. *Biótica*, 8(1), 37-47.)
- Kharuf-Gutierrez, Samy, Hernández-Santana, Luis, Orozco-Morales, Rubén, Aday Díaz, Osmany de la C., & Delgado Mora, Irenaldo. (2018). Análisis de imágenes multiespectrales adquiridas con vehículos aéreos no tripulados.

Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 39(2), 79-91. Recuperado en 23 de octubre de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282018000200007&lng=es&tlng=es.

- Kabata, S., López, J., Muñoz, A., & Fukuhara, H. (2016). Mapeo y registro de artefactos en 3D utilizando Agisoft PhotoScan y Drone en el Proyecto Arqueológico Tlalancaleca, Puebla. Boletín del Instituto de Estudios Latinoamericanos de la Universidad de Estudios Extranjeros de Kyoto, 16, 121-140.
- INEGI Agua. Cuéntame de México. (s/f). Org.mx. Recuperado el 26 de octubre de 2023, de <https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/agua/presas.aspx?tema=T>
- Arreguín-Cortés, F. I., Murillo-Fernández, R., & Marengo-Mogollón, H. (2013). Inventario nacional de presas. Tecnología y ciencias del agua, 4(4), 179-185.
- CONAGUA. (2014). Estadísticas del Agua en México edición 2014. Gob.mx. <https://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- Agua en el planeta. (2017, marzo 17). Agua.org.mx. <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
- SEMARNAT, S. (2014). Informe del Medio Ambiente. Recuperado 6 de agosto de 2023, de <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap6.html>

- Jom, S. (2010). Medición batimétrica para determinar el volumen de material sedimentado acumulado durante el tiempo de servicio del embalse pueblo viejo, de la central hidroeléctrica chixoy. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Civil. Guatemala. Consultado el 23 de oct. 2014. Formato PDF. Pág. 31–32.
- Berrío, V. A., Mosquera, J., & Alzate, D. F. (2015). Uso de drones para el análisis de imágenes multiespectrales en agricultura de precisión. @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 13(1).
- Costales Acurio, G. A. (2018). Análisis comparativo entre los softwares de prueba Agisoft Photoscan y Pix4D para el procesamiento de datos obtenidos con fotogrametría de vehículo aéreo no tripulado (UAV) de bajo costo aplicado a proyectos de medio ambiente (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).
- Sánchez Vargas, Irvin Jonathan. (2017). Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la Plaza San Luis-2017. Escuela académico profesional de ingeniería civil.
- Phantom 4 Pro v2.0 -DJI. (2023). DJI Official. https://www.dji.com/mx/phantom-4-pro-v2?site=brandsite&from=eol_phantom-4-pro
- Roberto. (2017). Agisoft PhotoScan, ortomosaicos para drones -Gis&Beers. Gis&Beers. <https://www.gisandbeers.com/agisoft-photoscan-ortomosaicos-para-drones/>
- Aqua pro omnibus. (2017). Aqua pro Omnibus. <https://aquaproomnibus.blogspot.com/2017/01/curvas-de-capacidad-de->

embalses.html

- Fontán, A., Albarracín, S., & Alcántara-Carrió, J. (2009). ESTUDIOS DE EROSIÓN EN COSTAS SEDIMENTARIAS MEDIANTE GPS DIFERENCIAL Y ECOSONDAS MONOHAZ/MULTIHAZ. Alcántara-Carrió, J., Correa, ID, Isla, F., Alvarado, M., Klein, AH F., Cabrera, JA y Barlow, R. (Eds.): Métodos en teledetección aplicada a la prevención de riesgos naturales en el litoral. Servicio de publicaciones del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Madrid, 100-122.
- Suárez Romero, D. A., Chasiluisa Jima, D. L., & Pillajo Caiza, E. P. (2013). Posicionamiento, batimetría y levantamiento topográfico del puerto Itaya y su entorno sobre el río Coca.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2019). NOM-107-SCT3-219. Que establece los requerimientos para operar un sistema de aeronave pilotada a distancia (RPAS) en el espacio Aéreo Mexicano. Estados Unidos Mexicanos. Ciudad de México.