

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Generalidades

Un levantamiento batimétrico es la determinación de las coordenadas geográficas de una superficie subacuática ya sea de ríos, lagunas, embalses, etc. Esta información batimétrica se utiliza para estudios de sedimentación en embalses, para la evaluación de disponibilidad de recursos hídricos, para proyectos de mantenimiento del vaso y otros. Por lo tanto, para un estudio de la capacidad de almacenamiento y la sedimentación de un embalse es necesario contar con información sobre los métodos y técnicas para realizar levantamientos batimétricos.

El presente documento consiste en el estudio y la aplicación de dos métodos para levantamientos batimétricos, cuyos equipos fueron adquiridos por el laboratorio de Hidráulica de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, los cuales son el Q-Boat, método de Perfilador Acústico Doppler de Corriente y el Z-Boat, método de Ecosonda, los cuales están basados en el tiempo que emplea una onda acústica en recorrer la distancia que separa al sondador de la superficie subacuática, con la velocidad de sonido de la columna de agua y el tiempo empleado en regresar la señal, se puede conocer la profundidad.

La investigación de este tema se debe al interés de analizar los dos métodos para levantamientos batimétricos y detectar el equipo más eficiente y conveniente ya sea técnica y/o económicamente, realizando una aplicación práctica en la presa La Honduras, ubicada en el departamento de Tarija, provincia Méndez.

Con los resultados obtenidos se determinó la capacidad de almacenamiento del embalse y el volumen de sedimentación en función a datos de referencia adquiridos el año 2009, estos resultados fueron obtenidos con cada método para posteriormente realizar un análisis y comparación de la metodología utilizada, la precisión, el tiempo de ejecución con cada equipo y los recursos que fueron necesarios para realizar los levantamientos, como el equipo, el personal, los materiales y su respectivo costo.

1.2. Planteamiento del problema

Los levantamientos batimétricos son una herramienta indispensable para un estudio de la capacidad de almacenamiento y la sedimentación en embalses, ya que nos ayuda a realizar un adecuado manejo de los recursos hídricos y nos permite determinar el tiempo de vida útil que va a tener una presa de almacenamiento.

En las últimas décadas, a inicio de los años 90's, se trabajó con distintos equipos y métodos para realizar levantamientos batimétricos como los métodos que utilizan tecnología acústica, estos métodos obtienen mediciones más eficientes por su facilidad de uso, menor tiempo empleado y menores riesgos del personal encargado de la medición, en comparación con los métodos convencionales.

En la gestión 2016 se implementaron equipos para medición de caudales y batimetrías con tecnología acústica para equipar al Laboratorio de Hidráulica de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Algunos de los equipos adquiridos son el Perfilador acústico Doppler de Corriente más conocido como ADCP y la Ecosonda, los cuales funcionan transmitiendo pulsos sonoros de frecuencia fija y escuchando el eco de las partículas en suspensión, el tiempo que emplea una onda acústica en recorrer la distancia que separa al sondador de la superficie subacuática y la velocidad de sonido de la columna de agua nos determina la profundidad.

En la actualidad, en el departamento de Tarija, no se tiene un análisis comparativo con respecto a la parte técnica y económica de estos métodos, lo que ha generado una incertidumbre al momento de escoger en el Laboratorio de Hidráulica el método para realizar levantamientos batimétricos en embalses.

Es necesario realizar un análisis de levantamientos batimétricos con el método de "Perfilador Acústico Doppler de Corriente" (ADCP) y el método de "Ecosonda", para posteriormente realizar una comparación de la metodología, precisión, tiempo de ejecución y recursos económicos necesarios entre ambos métodos, determinando cuál de estos es más conveniente técnica y/o económicamente y que los resultados obtenidos sean de apoyo al laboratorio de Hidráulica.

1.3. Justificación

A consecuencia del desarrollo de fenómenos naturales impredecibles e incontrolables que traen consigo innumerables desastres, como ser deslizamientos, riadas o aludes de tierra, se da lugar al origen de corrientes con alto contenido de sólidos, los cuales se sedimentan en presas o en ríos de poca pendiente generando disminución de la capacidad de almacenamiento y un gran volumen de sedimentos en los embalses. En el departamento de Tarija, estos fenómenos están afectando a la vida útil de las represas existentes; es por ello que ante esta vulnerabilidad es necesario realizar estudios de sedimentación mediante levantamientos batimétricos.

Para realizar un levantamiento batimétrico es necesario conocer los diferentes métodos, realizando un estudio profundo de cada uno de ellos y su aplicación en un determinado embalse, para comparar sus aspectos técnicos y económicos y poder tener una guía al momento de escoger el método que se pueda emplear en levantamientos batimétricos en embalses.

En el laboratorio de hidráulica de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, se han implementado equipos para levantamientos batimétricos como el Q-Boat y el Z-Boat, los cuales, son equipos que emplean los métodos “Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP)” y “Ecosonda”, que están siendo utilizados actualmente para mediciones batimétricas en embalses del departamento de Tarija.

El presente trabajo se fundamenta, en la necesidad de realizar un análisis y comparación, de los métodos “Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP)” y “Ecosonda”, con respecto a la metodología, precisión de cada método, tiempo de ejecución y recursos económicos necesarios, para conocer las ventajas, desventajas de cada método y que sirva como una herramienta de apoyo al escoger un determinado método de levantamientos batimétricos adecuado en función a las características del embalse. Este análisis y comparación se respalda con un levantamiento batimétrico con cada uno de los métodos aplicado a la represa “La Hondura”.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Analizar los aspectos técnicos y económicos de los métodos “Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP)” y “Ecosonda” para levantamientos batimétricos en embalses.

1.4.2. Objetivos específicos

- Recopilar información bibliográfica de los métodos “Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP)” y “Ecosonda”, y de los sistemas específicos con los que cada uno trabaja al momento de realizar el levantamiento batimétrico.
- Efectuar un levantamiento batimétrico en la represa “La Hondura” con cada uno de los métodos; “Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP)” y “Ecosonda”.
- Realizar el pre - proceso, proceso y post - proceso de datos con el software “WinRiver II” para metodología ADCP y el software “Hypack” para metodología Ecosonda.
- Comparar técnicamente los métodos “Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP)” y “Ecosonda”, en función a su metodología, precisión y tiempo de ejecución; y la comparación económica en función a los recursos necesarios para su utilización.
- Determinar la capacidad de almacenamiento del embalse y el volumen de sedimentación de la presa “La Hondura” con cada uno de los métodos.

1.5. Alcance

“La Hondura” es una represa de tierra relativamente pequeña, de 320 m. de longitud y una altura máxima de 24 m., cuyo vaso de almacenamiento es de aproximadamente 12 Has. de área y un volumen total de almacenamiento de 1,187 hm³., por lo cual los resultados obtenidos de la comparación están en función del tamaño del vaso de almacenamiento y su forma.

El estudio está limitado para levantamientos batimétricos en embalses, es decir es un estudio para pequeñas cantidades de agua, no incluye el uso de los métodos de “Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP)” y “Ecosonda”, en ríos, lagos u otras fuentes de almacenamiento de agua para los cuales se deben realizar otro tipo de análisis y correcciones.

Los softwares utilizados generan diferentes datos y resultados, pero la determinación de la superficie subacuática de un embalse requiere únicamente la obtención de coordenadas y profundidades de cada punto, por lo tanto, en el presente trabajo se detalla solamente el procedimiento realizado para la obtención de los mismos.

Los resultados obtenidos están sujetos a las características de los equipos de acuerdo a sus especificaciones técnicas preestablecidas de fábrica.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1. Marco histórico

Desde el principio y hasta la fecha de la aparición del GPS, la orientación de la embarcación a lo largo de un perfil, se logró a través de la alineación de la lancha con la alidada fija de un teodolito situado en uno de los extremos del perfil. Como se comprenderá, se trataba de un procedimiento sumamente lento y costoso, que obligaba a posicionar el teodolito en diversos puntos de la costa y desde allí dirigir a la embarcación. Además, cada punto en la costa necesitaba ser vinculado mediante topografía de precisión a otros puntos de coordenadas conocidas, generalmente ubicados sobre obras de hormigón existentes en las presas.

Debido a esto, los relevamientos consistían en la realización de unos pocos perfiles transversales al valle del embalse. En algunos casos se complementaban con otros longitudinales, pero esto dependía de cuán largo era el perfil, ya que el operador del teodolito ubicado en una costa debía visualizar el jalón o marca en la costa opuesta y, además tener visualización con la embarcación que viajaba entre ambos puntos.

Con la aparición del GPS esta situación cambió radicalmente. El GPS diferencial permite obtener las coordenadas de cualquier punto con una precisión adecuada para los trabajos de batimetría, sin necesidad de emplear teodolito con un operador en la costa. A esta situación se sumó la aparición de ecosondas con registro digital de la información, lo que permitió juntar la información de profundidad de la ecosonda con la de posición del GPS diferencial en un solo archivo, para procesar posteriormente toda la información utilizando una computadora. (MMAyA y VRHR, 2016, pág. 4)

A mediados de los años 70s hasta fines de los años 90s, el único método para realizar los relevamientos batimétricos en los embalses consistió en métodos manuales y mecánicos precarios y de baja precisión.

Estos métodos consistían en amarrar un objeto con peso relevante y soltarla desde una embarcación hasta llegar al lecho del embalse o laguna, generando puntos de distancia

o profundidad sobre una sección transversal a la misma, de tal forma que entre dos secciones consecutivas, se calculase el volumen actual del embalse, aplicando fórmulas como la de Eakin, las del Prisma Modificado de Dobson o el Área Final Promedio, se calculaba el volumen del embalse, y a partir de esos datos se calculaba el volumen de sedimentos depositados.

Con estos métodos se cometían errores en la determinación de la capacidad de los embalses en un 10% y 30%. Pero la aparición de modernos instrumentos como GPS diferenciales, Perfilador acústico Doppler de Corriente (ADCP), Ecosondas, Etc., posibilitaron aumentar notablemente la cantidad de perfiles relevados y la precisión en la medición de profundidad, utilizando además los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el cálculo del volumen de agua. (MMAyA y VRHR, 2016, pág. 5)

En nuestro país, desde comienzos del siglo XXI, las tecnologías apuntan hacia el empleo de equipos con observaciones a satélites (GPS) y determinación de la profundidad por técnicas sónicas digitales, todo ello computarizado y controlado en tiempo real por un potente software capaz de gestionar los datos de los equipos.

El desarrollo técnico e informático hace que las tareas en un levantamiento batimétrico se reduzcan, disminuyendo tiempos de ejecución y gastos, como así también mejorando las precisiones finales, tanto en planimetría como en la determinación de la profundidad.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Sedimentos

Se da el nombre genérico de sedimentos a las partículas procedentes de las rocas o suelos que son acarreadas por las aguas que escurren y por los vientos. Todos estos materiales después de cierto acarreo, finalmente son depositados a lo largo de los propios cauces, en lagos, lagunas, embalses y en las partes bajas de la cuenca, principalmente en la planicie, lo que da origen a la formación de ésta y a su levantamiento. (García y Maza, 2009, pág. 5)

2.2.1.1. Sedimentación en embalses

Cuando un curso de agua entra en contacto con el agua embalsada se produce una disminución brusca de su velocidad, se frena, perdiendo en gran medida su capacidad para seguir transportando sedimentos. Como consecuencia de esto, los materiales más gruesos del conjunto de sólidos transportados, se depositan casi inmediatamente, formándose un depósito de materiales. En las inmediaciones de la presa el agua queda prácticamente inmóvil, permitiendo la decantación de los materiales más finos, formándose en ocasiones un “delta de presa”. Los sólidos de granulometría intermedia se distribuyen por el vaso del embalse según las corrientes existentes en el mismo.

Dichas corrientes se deben a varios factores, entre los que se puede citar el efecto Coriolis que genera en las zonas más profundas una corriente circular, ciclónica y ascendente que distribuye los materiales en la zona central del embalse. Otros factores que influyen en la distribución de los sedimentos son la geometría del vaso, la presencia de corrientes de convección y la existencia de aportes laterales. (Cobo, 2008, pág. 231)

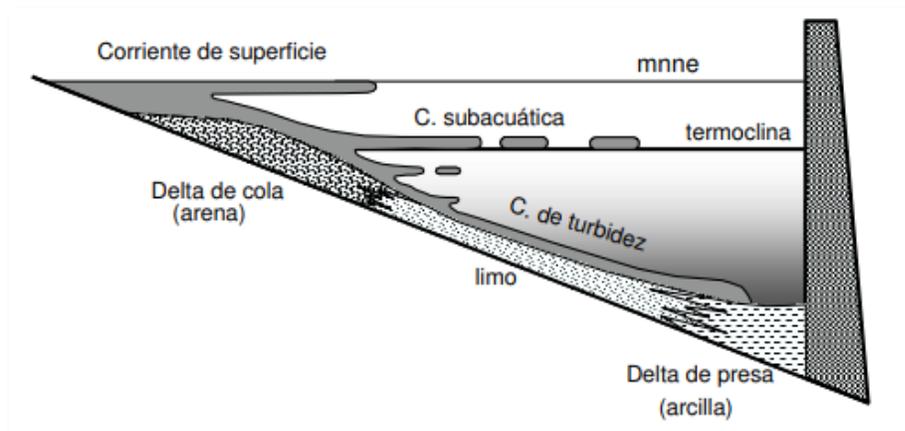


Figura 2.1. Entrada y distribución de los sedimentos en el vaso de un embalse.

Fuente: Los sedimentos de los embalses españoles.

La estratificación térmica de un embalse influye también en la entrada de la carga sólida, produciéndose corrientes de turbidez que tienden a moverse cerca de la superficie cuando tienen una temperatura elevada con respecto al agua del embalse o a moverse en profundidad si son más frías.

Las fluctuaciones del agua en el embalse tienen, asimismo, una influencia muy significativa sobre los sedimentos depositados. Cuando la lámina de agua desciende por debajo de su MNNE (Máximo Nivel Normal de Embalse), pueden quedar sedimentos al descubierto sobre todo en la zona de cola; en estas circunstancias, tanto el drenaje interno como la evaporación hacen que pierdan agua rápidamente, consolidándose y aumentando su densidad en poco tiempo. Si las aportaciones de agua desaparecen o se ven reducidas al mínimo, como suele suceder en los meses de verano, el agua del embalse se va reduciendo progresivamente, a la vez que aumenta la superficie de sedimentos en contacto con la atmosfera. Al reanudarse los aportes, estos pueden encontrarse, en un principio, con unos sedimentos en la zona de cola muy consolidados y, por tanto, difícilmente erosionables que pueden actuar incluso como barrera momentánea, reteniendo parte de los sedimentos que llegan. Si, por el contrario, los aportes de agua y sedimento no se interrumpen, al descender el nivel del embalse el delta de cola se puede erosionar parcialmente y los materiales del mismo son arrastrados hacia el interior del vaso. (Cobo, 2008, pág. 231)

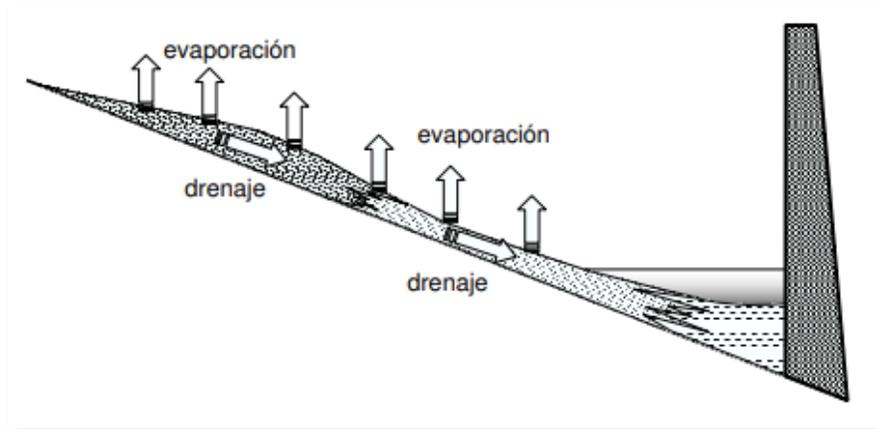


Figura 2.2. Efecto sobre los sedimentos de las variaciones de la lámina de agua.

Fuente: Los sedimentos de los embalses españoles.

2.2.1.2. Efectos de la sedimentación en embalses.

En ocasiones, y ya desde la fase de diseño, numerosos proyectos de obras hidráulicas no han contemplado la producción y movilización de sedimentos en las cuencas, lo

cual lleva a adoptar diseños inadecuados para los efectos de la sedimentación en embalses, especialmente en cuencas con altas tasas de erosión.

Entre los efectos de la colmatación en los embalses se pueden destacar:

- La pérdida de capacidad de almacenamiento de agua. Al cabo de los años se puede llegar a reducir de forma importante la capacidad de los embalses.
- La retención de sedimentos en los embalses puede generar problemas de estabilidad de las estructuras hidráulicas situadas aguas abajo. De esta forma, se pueden producir fenómenos de incisión del cauce y problemas de erosión localizada (pilas de puentes, etc.) aguas abajo de los embalses.
- Desde el punto de vista ecológico la retención de sedimentos supone además una modificación del transporte de nutrientes y de materia orgánica.
- La regresión de deltas. El curso del río se resiente hasta el mismo estuario, donde algunos deltas, como el del Ebro, están en retroceso por la falta de aporte de sedimentos.
- La alteración de la pendiente longitudinal del cauce.
- La limitación del uso recreativo de los embalses.
- La propensión a la eutrofia, etc. (Herrero, 2016, pág. 2)

2.2.1.3. Control de la Sedimentación.

En términos generales, para enfrentar el problema de la acumulación de sedimentos en los embalses existen dos procedimientos principales; la retención de los sedimentos en la cuenca, y la remoción de los sedimentos en el propio embalse. A su vez cada uno de estos procedimientos se puede aplicar mediante diferentes métodos, como se explica a continuación:

- **Retención de sedimentos en la cuenca:** Esto es tal vez uno de los medios más efectivos de controlar la sedimentación, especialmente desde un punto de vista

de sostenibilidad, aunque claramente uno de los más difíciles de implementar en cuencas grandes.

- **Desvío (“by-pass”) de los sedimentos:** Esta técnica incluye el “by-pass” de los sedimentos mediante un canal o un túnel alrededor del embalse.
- **Tránsito o “Ruteo” de sedimentos en el embalse:** Los sedimentos son acarreados a través del embalse en suspensión coloidal o turbulenta, por lo que este tipo de transporte puede mejorarse mediante la operación de compuertas, o bien mediante la formación de “corrientes de densidad”.
- **Remoción de los sedimentos acumulados mediante vaciado:** Este método consiste en provocar la socavación de los sedimentos depositados en el embalse mediante el vaciado o “flushing”.
- **Remoción de los sedimentos acumulados mediante dragado:** La remoción de los sedimentos puede ser mediante dragado hidráulico o dragado mecánico. (Jiménez y Farías, 2008, pág. 26)

Para conocer las condiciones de sedimentación en las que se encuentra un embalse y tomar las medidas necesarias, se realiza un levantamiento batimétrico de la superficie subacuática del embalse.

2.2.2. Batimetría

En Topografía se entiende por batimetría al levantamiento del relieve de superficies subacuáticas, tanto los levantamientos del fondo de mar, como del fondo de cursos de agua, de embalses, etc. Estos trabajos son denominados también topografía hidrográfica, cartografía náutica, etc. La labor del topógrafo consiste en realizar el levantamiento de los fondos como si de un terreno seco se tratase.

Al igual que en levantamientos convencionales, en las batimetrías la finalidad será la obtención de las coordenadas (X,Y,Z) de la superficie subacuática. La parte más compleja y que caracteriza a los diversos métodos de levantamientos batimétricos es la determinación de la profundidad. Esta tarea se denomina operación de sondeo o

simplemente sondear. La profundidad de un punto se obtendrá midiendo la distancia vertical entre el nivel del agua y la superficie del fondo.

Las últimas tecnologías apuntan hacia el empleo de equipos con observaciones a satélites (GPS) y determinación de la profundidad por técnicas sónicas digitales, todo ello computarizado y controlado en tiempo real por un potente software capaz de gestionar los datos del sondeo de los equipos.

El desarrollo técnico e informático hace que las tareas en un levantamiento batimétrico se reduzcan, disminuyendo tiempos de ejecución, aminorando gastos y mejorando las precisiones finales tanto en planimetría como en altimetría.

Comparando con los levantamientos terrestres, los levantamientos batimétricos presentan notables diferencias. La fundamental estriba en que en los levantamientos terrestres se cuenta con la estabilidad de los instrumentos de observación y con la repetitividad de las mediciones. El movimiento de la masa de agua ocasiona movimiento en los instrumentos durante la observación y por otro lado no se puede contar con la posibilidad de estacionar una y otra vez en un determinado punto.

Otro inconveniente en este tipo de trabajos es la necesidad de embarcaciones y equipos específicos de alto coste. El tipo de embarcación es una cuestión importante. (MMAyA y VRHR, 2016, pág. 5)

2.2.2.1. Uso de la información topo-batimétrica.

La información topo-batimétrica se utiliza para:

- Estudios de sedimentación en embalses.
- Evaluación de disponibilidad de recursos hídricos.
- Proyectos de mantenimiento del vaso.
- Actividades de investigación.

2.2.2.2. Estudios de sedimentación de embalses.

En los márgenes de los ríos de una cuenca, con el pasar del tiempo y debido a los eventos extraordinarios suscitados producto del ciclo hidrológico de la región a

estudiar, el agua tiende a mover grandes proporciones de material en suspensión, los mismos que con el tránsito de avenidas tienden a transportarse grandes distancias y sedimentarse debido al cambio de régimen de las aguas que circundan por dicha cuenca.

Así mismo si este transporte y decantación de los materiales en suspensión puede ser beneficioso de cierta manera (Recuperación de suelo cerca de una obra estructural como los estribos de un puente o una zona de taludes inestables en los márgenes de los ríos), es perjudicial en otra (Análisis de la vida útil del vaso de una presa).

Entonces se deberá realizar un estudio Topo batimétrico completo sobre la ubicación del vaso y cuerpo de la presa existente o proyectada, con el fin de proyectar obras hidráulicas (como desarenadores, compuertas de limpieza, compuertas de desfogue de fondo, etc.), de manera que todo el material en suspensión arrastrado por el caudal de un evento extremo pueda pasar por medio de estas obras hidráulicas y no colmar la presa, ya que de otra manera el volumen útil de la misma tiende a reducir provocando un déficit en las aguas para las cuales fue proyectado y estudiado. (MMAyA y VRHR, 2016, pág. 7)

2.2.3. Métodos para levantamientos batimétricos

En las batimetrías realizadas por métodos clásicos el trabajo se realiza siguiendo dos fases: una primera en la que se toman los datos precisos para la representación de la línea de costa (implantación de una red básica, trabajos de nivelación y radiación) y una segunda donde se procede al levantamiento del fondo submarino.

Para georreferenciar nuestros trabajos batimétricos con el sistema de coordenadas apropiado, nos apoyaremos en los vértices geodésicos o vértices pertenecientes a una red de orden superior. Para ello, habremos implantado previamente, una serie de bases a lo largo de la zona objeto de estudio.

Una vez llevado a cabo el levantamiento y estudio de la línea de costa se llevará a cabo el levantamiento batimétrico propiamente dicho, que a su vez consta de otras dos etapas:

1.- Determinar la posición de la embarcación planimétricamente.

2.- Realizar el sondeo.

Los levantamientos batimétricos se organizan en perfiles paralelos, consistentes en una serie de puntos alineados en una determinada dirección. A su vez, es apropiado tomar una serie de bandas transversales a la dirección principal para obtener una mayor cobertura de la zona. (Instituto español de oceanografía, 2010, pág. 2)

2.2.3.1. Métodos de posicionamiento planimétrico (x, y).

- **Métodos directos:** Es el más básico y menos preciso. Consiste en materializar mediante una cuerda la alineación de los puntos a levantar. Presenta los inconvenientes de la precisión y de las dimensiones de la zona a levantar.
- **Métodos ópticos:** Se emplean sextantes. Desde la embarcación se visa a dos puntos de coordenadas conocidas y se deduce su posición mediante una intersección inversa. Ofrece precisiones de entre 3 y 5 metros.
- **Radiación:** Se estaciona la estación total en tierra en un punto de coordenadas conocidas. Se orienta el aparato visando a otro punto del cual conocemos sus coordenadas. El prisma va en la embarcación. Se toma ángulos horizontales, verticales y distancias. Las operaciones de toma de datos desde tierra y el sondeo han de ser simultáneos ya que la embarcación está en movimiento.
- **Bisección:** Método análogo al anterior, con la salvedad de que se emplean dos aparatos o estaciones totales en tierra y únicamente se toman los ángulos horizontales. La posición planimétrica del punto de sondeo se obtiene resolviendo una intersección directa simple o bisección.
- **Metodología GPS:** Normalmente es necesario situar una estación de referencia en tierra, en las proximidades de la zona a levantar. Aumenta exponencialmente los rendimientos ya que proporciona las coordenadas planimetrías prácticamente de forma instantánea, la embarcación ha de ir provista de otro receptor GPS, y minimiza la influencia del movimiento de la embarcación.

- **Radiobalizas:** Está basado en el método de navegación Lorn y Decca. Consiste en la medición de distancias entre la embarcación y dos puntos de coordenadas conocidas por medio de ondas electromagnéticas. (Instituto español de oceanografía, 2010, pág. 3)

2.2.3.2. Métodos de posicionamiento altimétrico (Z).

Es la parte definitiva de cualquier batimetría y consiste en la determinación la cota de los puntos midiendo la distancia vertical existente entre la superficie o lámina de agua y el mismo punto proyectado sobre el fondo.

Es de vital importancia la simultaneidad entre la toma de datos planimétricos y altimétricos, ya que de otro modo los levantamientos llevados a cabo no se corresponderían con la realidad.

Para llevar a cabo la fase de sondeo se pueden emplear los siguientes instrumentos:

- **Escandallo:** Consiste en un peso de plomo de forma troncocónica unido a una cuerda (sondaleza). Se emplea para trabajos expeditos y cercanos a la orilla o costa.
- **Sondas mecánicas:** Compuesto por una bobina de cuerda de acero y un dispositivo de registro de profundidades. Como inconveniente principal tenemos que está muy influenciado por las corrientes.
- **Sondas eléctricas:** Consiste en un cilindro vertical (herméticamente cerrado) lleno de mercurio hasta una determinada altura. Este cilindro va unido a una cuerda provista de un doble conductor flexible y aislado, cuyos extremos son los polos de una pila que se encuentra en la embarcación y que sirve de alimentación a un timbre. En el momento del descenso del cilindro, el mercurio ocupa la parte inferior del mismo, pero al tocar fondo se inclina y el mercurio une eléctricamente ambos polos cerrando el circuito. Esto hace que suene el timbre indicando en la embarcación que hemos llegado al fondo. A su vez, la sondaleza hace girar un tambor al que va enrollada poniendo en marcha un contador que indica la profundidad.

- **Sondas acústicas:** Su principio fundamental consiste en registrar el tiempo que transcurre entre la emisión de un pulso sonoro desde la embarcación y su recepción de nuevo después de que haya sido reflejado en el fondo. Conociendo la velocidad de propagación del sonido en el agua, todo se reduce a medir el tiempo que emplea el pulso en hacer el doble recorrido. Fundamentalmente constan de:
 - Generador de alta tensión
 - Transmisor
 - Receptor
 - Amplificador
 - Aparato registradorExisten sondas acústicas portátiles (miden hasta 60 m de profundidad) e instalaciones permanentes que pueden sondear hasta 10-12 km de profundidad.
- **Sondas ultrasónicas:** Utilizan como fuente sonora las oscilaciones de frecuencia audible. Uso militar fundamentalmente inicialmente. (Instituto español de oceanografía, 2010, pág. 4)

2.2.4. Método de perfilador acústico Doppler de corriente (ADCP)

El método ADCP consiste en un perfilador de corrientes que puede medir la magnitud y dirección de las corrientes a diferentes profundidades, pero también puede entregar datos de dirección de oleaje, temperatura, salinidad y presión con dispositivos con algunos softwares y dispositivos adicionales. Los ADCP pueden instalarse sobre embarcaciones (mirando hacia abajo), estar fijos en el fondo (mirando hacia arriba) y en la orilla (mirando hacia un lado). También pueden estar anclados a una profundidad determinada (mirando hacia arriba o hacia abajo).

Los ADCP necesitan que el sensor esté en contacto con el agua, para así poder transmitir y medir los pulsos sonoros dirigidos a través de la columna de agua. Usan el retorno acústico de alta frecuencia y el efecto Doppler para obtener mediciones de corrientes basados en el desplazamiento de las partículas suspendidas en el agua, las cuales producen ecos que son percibidos por el ADCP a partir de los cuales determina

la dirección y magnitud de las corrientes. El medidor tiene unos emisores de ondas de ultrasonido (un sonido con frecuencia más alta que la perceptible por el oído humano) y unos receptores de las mismas. Primeramente, el emisor envía una onda a una determinada frecuencia y el receptor capta las ondas que son reflejadas en el agua, inclusive, la onda puede reflejarse en partículas de sólidos en suspensión o en burbujas de aire. Si el agua está en movimiento, las ondas reflejadas tendrán una frecuencia diferente de la emitida; la diferencia de frecuencia indica al dispositivo la velocidad de la corriente. (Osorio, 2018, pág. 25)

2.2.4.1. Principios de operación.

Los ADCP contienen transductores piezométricos para transmitir señales de sonido. El tiempo de viaje de las ondas de sonido da una estimación de la distancia. El desplazamiento de frecuencia del eco es proporcional a la velocidad del agua a lo largo de la ruta acústica.

Para medir las velocidades 3D se requieren al menos 3 haces. En los ríos solo la velocidad 2D es relevante y los ADCP generalmente tienen 2 haces.

Otros componentes de un ADCP son un amplificador electrónico, un receptor, un reloj para medir el tiempo de viaje, un sensor de temperatura, una brújula para conocer el rumbo y un sensor de inclinación para conocer su orientación. Se requiere un convertidor analógico digital y un procesador de señal digital para muestrear la señal de retorno a fin de determinar el desplazamiento Doppler.

Se usa un sensor de temperatura para estimar la velocidad del sonido en la posición del instrumento usando la ecuación de estado del agua de mar. Este procedimiento supone que la salinidad tiene un valor constante pre configurado.

Los ADCPs determinan la velocidad del flujo utilizando el principio Doppler. El instrumento emite una onda acústica a una determinada frecuencia (f_1), la cual es luego reflejada por partículas en suspensión en el flujo (sedimentos, plancton, algas, etc.). La onda acústica reflejada es detectada por el instrumento y la misma posee una frecuencia (f_2) diferente con la que fue emitida. En la Figura se muestra el esquema de

funcionamiento del ADCP. Para minimizar el nivel de ruido presente en la determinación de velocidad de flujo, la técnica de análisis de señales implementada en los ADCP calcula las velocidades relativas entre el instrumento y el flujo a partir de la diferencia de fase entre dos muestras diferentes de un único pulso de retorno en cada celda, (modo incoherente) o a partir de la diferencia de fase entre dos pulsos acústicos sucesivos (modo coherente). (Osorio, 2018, pág. 28)

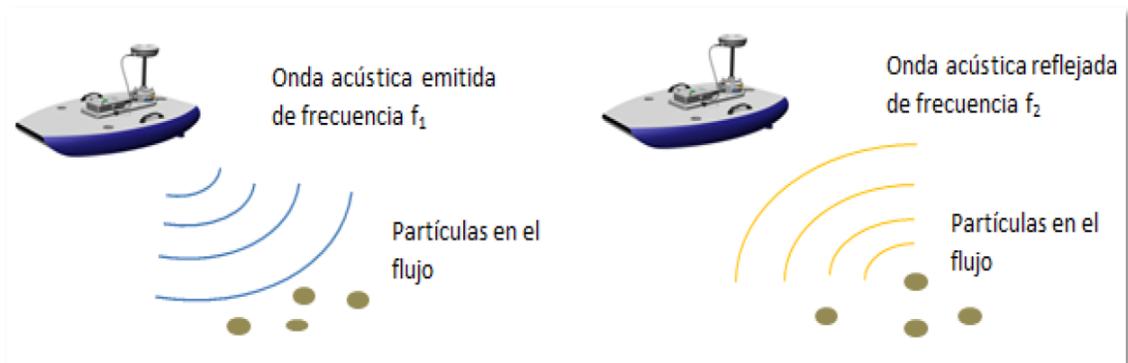


Figura 2.3. Esquema de funcionamiento de ADCP.

Fuente: Manual de usuario de Ecosonda.

2.2.4.2. RiverPro ADCP.

El RiverPro es un modelo de Perfilador Acústico Doppler de Corriente (ADCP) compuesto por:

- Cuatro haces de 20 grados de 1200 kHz de frecuencia.
- Un quinto haz de 600 kHz de frecuencia que recopila la verdadera velocidad vertical con un RSSI calibrado (indicador de intensidad de señal de retorno) y rango hasta el fondo.
- GPS totalmente integrado para geo-referencia.
- Muestreo auto adaptativo, que proporciona rápidamente mediciones precisas de descarga sin la necesidad de configuración del usuario.
- Una anulación manual, que permite a los usuarios avanzados la posibilidad de personalizar completamente la configuración de su sistema como alternativa al muestreo auto adaptativo.

El RiverPro de 1200 kHz ha sido diseñado específicamente para satisfacer dos necesidades específicas:

- Para proporcionar un ADCP diseñado específicamente para aplicaciones en ríos poco profundos (rango de 20 cm a 25 m).
- Para proporcionar una ruta de actualización para nuestro ADCP estándar de oro de la industria actual.

Aplicaciones de RiverPro:

- Hidrología de río
- Monitoreo de riego
- Estudios de impacto ambiental
- Estudios de pesca
- Advertencia de inundación
- Estudios de circulación

Las características técnicas de ADCP RiverPro 1200 son:

Tabla 2.1. Características del ADCP RiverPro 1200-I

Perfilado de la velocidad del agua	
Modo de operación:	Banda ancha/pulso coherente; Automático manual.
Rango de velocidad:	± 5 m/s por defecto, ± 20 m/s máx.
Rango de perfilado:	12 cm ¹ a 25 m ²
Exactitud:	$\pm 0,25$ % de la velocidad del agua relativa a RiverPro / RíoPro, ± 2 mm/s.
Resolución:	1 mm/s
Número de celdas:	15 - 30 típico, 200 máximo.

Tamaño de la celda:	2 cm a 5 m
Tasa de salida de datos:	1-2 Hz (típico)
Seguimiento de fondo	
Modo de operación:	Banda ancha
Rango de velocidad:	± 9 m/s
Rango de profundidad:	15 cm a 35 m ²
Exactitud:	$\pm 0,25$ % de la velocidad del fondo con respecto a RiverPro / RíoPro, ± 2 mm/s
Resolución:	1 mm/s
Vigas inclinadas (Medición de profundidad)	
Distancia:	15 cm a 35 m ²
Exactitud:	$\pm 1\%$ ^{3,4}
Resolución:	1 mm
RiverPro viga vertical (Medición de la profundidad)	
Distancia:	120 m ²
Exactitud:	$\pm 1\%$ ⁴
Resolución:	1 mm
Transductor y Hardware	
Frecuencia del sistema:	1200 kHz / 600 kHz (viga vertical - RiverPro solamente).
Ángulo de haz:	20°
Configuración:	4 transductores de pistón, disposición Janus /1 transductor orientado verticalmente (RiverPro solamente).
Memoria interna:	Grabador interno de 16 MB
Comunicaciones:	Puerto serial RS-232 salida binaria de 1200 a 115200 baudios. Salida binaria Bluetooth a 115200 baudios.

	Alcance hasta 200 m. Opcional Radio módem, alcance > 30 km (línea de visión).
Poder	
Batería (dentro del flotador):	12 V, 7 A-h plomo ácido celda de gel.
RiverPro/RíoPro DC Input:	10,50 a 18 VDC
El consumo de energía:	1,50 W típico
Capacidad de la batería:	> 40 horas de funcionamiento continuo.
Sensores estándar	
Temperatura (montada en el transductor)	
Distancia:	- 5° a 45° C
Exactitud:	± 0,50° C
Resolución:	0,01°
Inclinación (ISM)	
Distancia:	± 90°
Exactitud:	0,30° para la inclinación combinada < ± 70°
Resolución:	0,02°
Brújula (incluye la función de calibración de campo)	
Distancia:	0 a 360°
Exactitud:	±1° ⁵
Resolución:	0,01°
Inclinación máxima:	± 70°

Fuente: Elaboración propia.

2.2.4.3. RiverPro incorporado a “Q-Boat”.

El Q-Boat es un equipo que tiene forma de un pequeño barco, el cual tiene incorporado el RiverPro ADCP en su interior, está destinado a la medida en corrientes de agua dulce de caudal, velocidad de corriente, cantidad de agua descargada, etc. Es la primera opción cuando se desea realizar un levantamiento, reduciendo el tiempo de ejecución, manteniendo la seguridad de las personas para realizar el trabajo de campo o cuando el acceso a la zona de trabajo es complicado.

El Q-Boat está fabricado en ABS resistente a la luz UV y a impactos y puede disponer de uno o dos motores, el posicionamiento del Q-Boat puede realizarse a través de GPS o bien de estación total robotizada, dependiendo de si la zona de trabajo es complicada para el posicionamiento GPS.

El ADCP de RiverPro incorpora un módulo GPS interno diseñado para fines de referencia geográfica, el RiverPro captura las cadenas GGA y VTG NMEA del módulo GPS interno y las reporta en el flujo de datos PD0 utilizando el formato general NMEA. El GPS incorporado es un AtlasLink™ GNSS Smart Antenna GPS AtlasLink.

Teledyne Oceanscience (septiembre 2015) brinda sus características a continuación:

Tabla 2.2. Características físicas del Q-Boat.

Características físicas	
Eslora	180 cm
Anchura del casco	90 cm
Peso	30 kg
Carga útil	30 kg
Material del casco	Plástico ABS resistente a radiación UV
Motor: Q-Boat 1800	Single-Brushed DC Outdrive
Motor: Q-Boat 1800P (HS)	Dual Brushless 24 V DC Outdrive

Fuente: Manual Q-Boat.

Tabla 2.3. Manejo remoto de Q-Boat.

Manejo remoto	
Unidad de control remoto de navegación	Hitec con telemetría Vessel
Frecuencia del control remoto de navegación	2,40 GHz FHSS
Alcance del control remoto de navegación	1200 m
Alcance en la telemetría de datos - Bluetooth	600 m
Alcance en la telemetría de datos – 900MHz Hydrolink	> 2000 m
Alcance en la telemetría de datos – Ethernet de 5.8GHz	Hasta 1500 m

Fuente: Manual Q-Boat.

Tabla 2.4. Rendimiento de Q-Boat 1800.

Rendimiento	
Velocidad típica	3-4 nudos (1,50 – 2,00 m/s)
Velocidad máxima: Q-Boat 1800 D	4 nudos (2 m/s)
Velocidad máxima: Q-Boat 1800 P	10 nudos (5m/s)
Duración de la batería: Q-Boat 1800 D	Más de 150 minutos
Batería: Q-Boat 1800 D	1 x 12 V 10 Ah
Duración de la batería: Q-Boat 1800 P	Hasta 240 minutos
Batería: Q-Boat 1800 P	3 x 24 V 30 Ah

Fuente: Manual Q-Boat.



Fotografía 2.1. Equipo Q-Boat.

2.2.4.4. Software WinRiver II para mediciones con “Q-Boat”.

El software WinRiver II es un instrumento de Teledyne RD, el cual es un programa que colecta caudales a tiempo real. Este programa crea un archivo de medida para operar el ADCP, verifica cada comando, y verifica que el ADCP ha recibido los comandos. Este programa se encarga del proceso del levantamiento batimétrico y del post - proceso en la edición de datos.

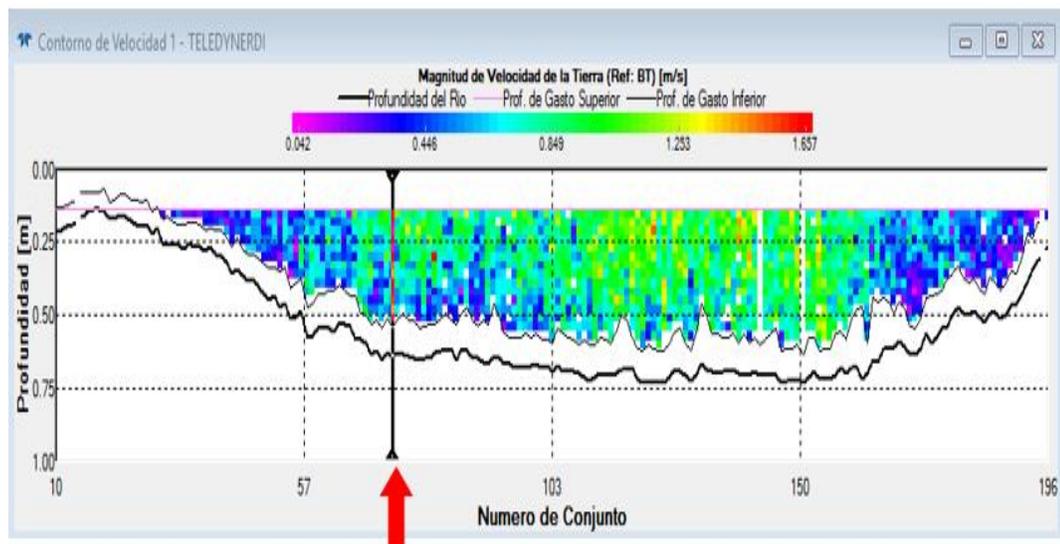


Figura 2.4. Perfil obtenido con WinRiver II.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. Método de sondadores acústicos para levantamientos batimétricos

La ecosonda o sonda es un instrumento que opera mediante ondas de sonido, usado para medir la distancia existente entre la superficie del agua y el fondo marino, así como objetos suspendidos en ésta o que reposan en el fondo.

La idea fundamental detrás del sondeo es la transmisión de un pulso o una señal acústica y la recepción de un eco del fondo marino. Se puede calcular la distancia (profundidad) de la fuente a la zona por el pulso en el lecho marino con base en la velocidad del sonido a través de la columna de agua y el tiempo que tarda en registrarse el reflejo del pulso acústico emitido. (Carriquí, 2012, pág. 33)

2.2.5.1. Principio de ecosonda.

Los sondadores acústicos son uno de los métodos de batimetría más empleados actualmente, están basados en el tiempo que emplea una onda acústica en recorrer la distancia que separa al sondador del fondo del agua, teniendo en cuenta que el tiempo es doble, ya que la señal transmitida deberá regresar al sondador. (Equipos y Consumibles de Occidente, 2007, pág. 3)

Suponga que la velocidad del sonido que se propaga en el agua es V . El transductor carga las señales del pulso, después la onda de sonido es enviada al fondo y es recibida por el transductor cuando la onda es reflejada. Así, obtenemos el tiempo que le toma a la onda de sonido en ir y retornar, como se indica en la figura.

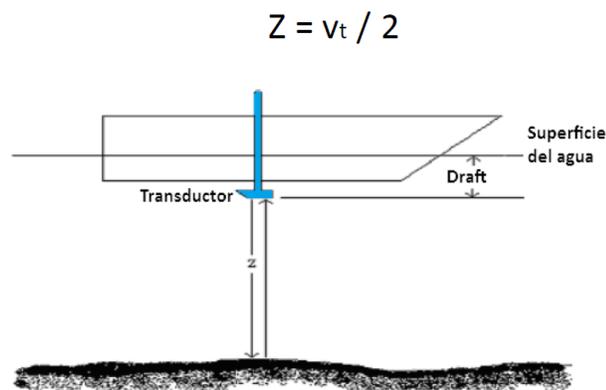


Figura 2.5. Longitud Z entre el transductor y el fondo.

Fuente: Manual de usuario de Ecosonda.

Z es la longitud entre el transductor y el fondo, por lo tanto la profundidad del agua es: $Z + \text{Draft}$.

El sistema consta de una pantalla que se instala en el puente de mando y además está compuesto de un registrador, un transmisor, un receptor y un transductor.

El registrador hace funcionar el transmisor y éste envía una señal eléctrica al transductor, que la devuelve al receptor, donde se amplifica el eco cerca de un millón de veces para que el registrador pueda almacenar esa información. El transductor es el encargado de convertir la energía eléctrica en acústica y viceversa. Normalmente va montado en la parte baja del casco del barco, como norma general en el primer tercio de la eslora (longitud del barco), para evitar el ruido de las hélices y las burbujas de aire que se forman en la superficie cuando el barco navega. Desde esta posición radia cortos pulsos de sonido en el agua y recibe los ecos desde el fondo. Se usa el mismo para radiación y recepción. (Equipos y Consumibles de Occidente, 2007, pág. 3)

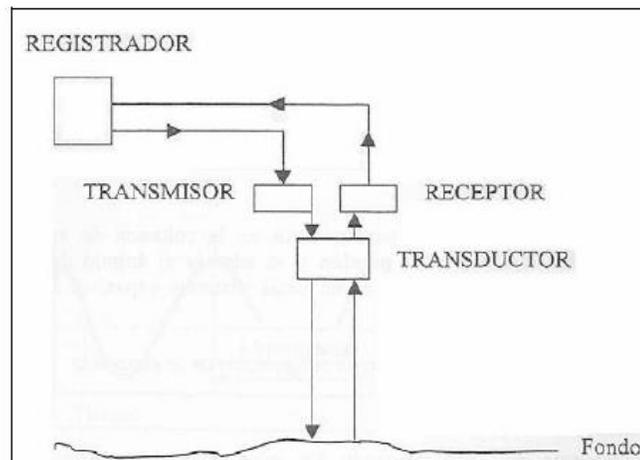


Figura 2.6. Esquema sobre el funcionamiento de una ecosonda.

Fuente: Manual de Usuario Ecosonda.

La onda emitida por el transductor viaja hasta el fondo, produciendo un eco que regresa al sensor, el cual mide el tiempo de respuesta (el retardo). Con la velocidad de sonido de la columna de agua y el tiempo empleado en regresar la señal, se puede conocer la distancia, en este caso la profundidad.

Los sondadores acústicos se clasifican según su ancho de haz, en sondadores de haz estrecho y sondadores de haz ancho. Dependiendo del número de haces se clasifican en sondadores de haz simple o Monohaz y sondadores de haz múltiple o multihaz. (MMAyA y VRHR, 2016, pág. 8)

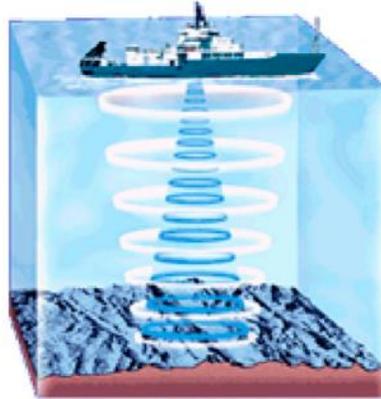


Figura 2.7. Sondador Monohaz

Fuente: Guía de estudios de topo-batimetría en embalses.

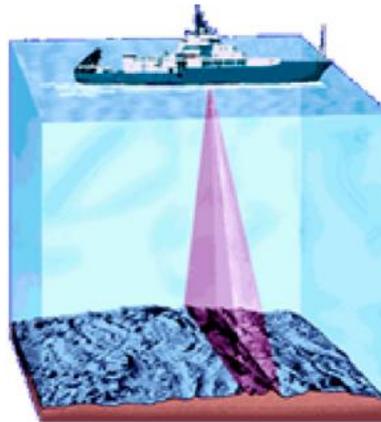


Figura 2.8. Sondador Multihaz

Fuente: Guía de estudios de topo-batimetría en embalses.

2.2.5.2. Ecosonda Monohaz CV 100.

El Echotrac CV100 de doble frecuencia proporciona la opción de obtener los datos de forma completamente digital. Con este modelo, se elimina la impresión en papel en favor de la grabación de datos en el PC que actúa como sistema de adquisición.

Algunas de las características de la ecosonda Monohaz CV 100 son:

- Curvas de ganancia variable de tiempo múltiple (TVG) (10, 20, 30 y 40 log).
- Digitalizador DSP con control de filtro manual.
- Cambios manuales o automáticos de escala (phasing).
- Menú de calibración con controles para proyecto de transductor e índice.
- Más controles de velocidad de sonido y profundidad de barra.
- Resistente e impermeable (IP65).
- Menús de ayuda.
- Memoria flash actualizable.
- Ganancia automática y modos de alimentación automática para una entrada mínima del operador.
- Adecuado para embarcaciones autónomas.

Tabla 2.5. Características de la ecosonda CV 100.

Características de Ecosonda CV100	
Configuración de doble canal	Alta: 100 kHz-340 kHz Baja: 24 kHz-50 kHz
Resolución	0,01m, 0,10 ft
Precisión (Corregida por la velocidad del sonido)	200 kHz-0,01 m +/- 0,10% profundidad 33 kHz-0,10 m +/- 0,10% profundidad
Potencia de salida	Arriba de 300 watts RMS < 1 watt
Rata de ping	Hasta 20 Hz en agua de poca profundidad (10 m).
Rango de profundidad	Desde -30cm hasta 600m (Dependiendo de la frecuencia y transductor seleccionado).
Requisitos de alimentación de entrada	9-32VDC < 15 watts

Peso	5 kg (11lbs)
Dimensiones	28 cm Largo x 23 cm Ancho x 11,50 cm Alto.
Montaje	Escritorio o mamparo montaje (piezas de fijación incluido).
Puertos/Interfaz	<p>Ethernet (LAN) plus</p> <p>4 x RS232 o 3 x 232 y 1 x RS422</p> <p>-Entradas de la computadora externa, sensor de movimiento, velocidad del sonido.</p> <p>-Salidas a la computadora externa o a la pantalla remota.</p> <p>-Cadena de salida: Odom Echotrac SBT, NMEA DBS, NMEA DBT, DESO 25.</p> <p>-Entrada de activación-TSS1 o "Sentencia de sonda".</p> <p>-Echotrac Control SW</p> <p>-Simple interfaz gráfica de usuario compatible con Windows.</p> <p>-Almacenamiento de ping completo en datos de fondos marinos en formato DSO con e-Chart.</p>
Ambiente	<p>Funcionamiento 0 - 50 ° C</p> <p>Almacenamiento -20 ° -70 ° C</p>
Opciones	Sensor de elevación
Software de control	Software basado en Windows incluido: eChart Display.

Fuente: Manual Ecosonda.

2.2.5.3. Ecosonda Monohaz CV 100 incorporado a “Z-Boat”.

El Z-Boat es un equipo que tiene incorporada la ecosonda Monohaz CV 100, el cual ofrece muchas facilidades para los levantamientos batimétricos. En vez de movilizar un barco tripulado o de poner a gente en el agua en una localización peligrosa, se pone

en marcha esta embarcación y se examina el sitio de trabajo. La ecosonda del Z-Boat y el GPS se integran con un sistema de transmisión de radio módem permitiendo que el operador vea la pista del barco en tiempo real en el ordenador portátil de la orilla.

Teledyne Oceanscience (septiembre 2015) brinda las características del Z- Boat 1800 citando las principales en los siguientes cuadros:

Tabla 2.6. Características físicas del Z-Boat.

Características físicas	
Eslora	180 cm
Anchura del casco	90 cm
Peso	30 kg
Carga útil	20 kg
Material del casco	Plástico ABS resistente a radiación UV.
Motor: Z-Boat 1800	Mono-motor con escobillas DC.
Motor: Z-Boat 1800 High Speed	Motor Dual sin escobillas 24 V DC.

Fuente: Manual Z-Boat.

Tabla 2.7. Manejo remoto de Z-Boat.

Manejo remoto	
Unidad de control remoto	Hitec con telemetría Vessel
Frecuencia del control remoto	2,40 GHz FHSS.
Alcance del control remoto	1500 m
Alcance en la telemetría de datos - Bluetooth	600 m
Alcance en la telemetría de datos – 900MHz Hydrolink	> 2000 m

Fuente: Manual Z-Boat.

Tabla 2.8. Rendimiento de Z-Boat 1800.

Rendimiento	
Velocidad típica	3-4 nudos (1,50 – 2,00 m/s)
Velocidad máxima: Z-Boat 1800 HS	4 nudos (2 m/s)
Duración de la batería: Z-Boat 1800 HS	Más de 240 minutos
Batería: Z-Boat 1800 HS	3 x 24 V 10 Ah

Fuente: Manual Z-Boat.

**Fotografía 2.2. Equipo Z-Boat.**

2.2.5.4. Software Hypack para mediciones con “Z-Boat”.

Hypack es un paquete que utiliza el Z-Boat para la obtención y procesamiento de datos, proporciona todas las herramientas necesarias para cada una de las etapas del trabajo ya sea para un levantamiento monohaz, multihaz o para dragado. En el trabajo a realizar hará uso del software enfocado en un levantamiento batimétrico con sondeo monohaz. Hypack es utilizado de principio a fin durante el proyecto y se cita a continuación las actividades que permite realizar en cada etapa:

Planificación y diseño, levantamiento, edición de datos y producto Final.

Permite la obtención de:

- Módulo de cálculo de volúmenes y secciones.
- Modelado de superficies.
- Generación de modelos 3D, curvas de nivel y cálculo de diferencias de volúmenes entre superficies.
- Generación de ficheros de dibujo para plotear con toda la información relacionada con el proyecto.
- Módulo de Exportación a programas CAD y GIS en formatos DXF o DGN.

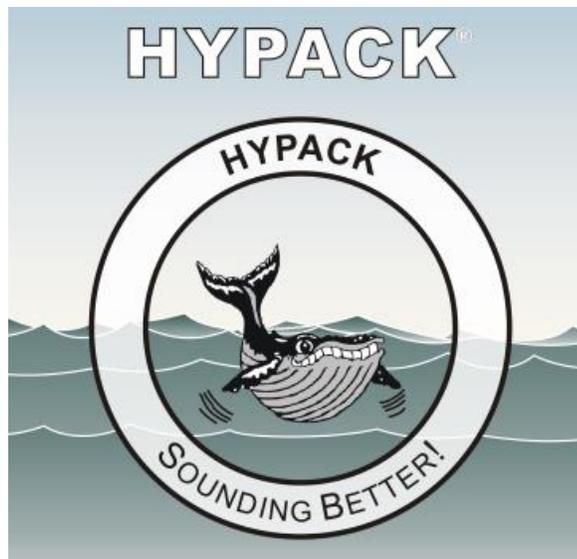


Figura 2.9. Software hidrométrico Hypack.
Fuente: Especificaciones Técnicas del equipo utilizado.

2.2.6. Capacidad de los instrumentos de medición

Las medidas experimentales están afectadas de cierta imprecisión en sus valores debido a las imperfecciones del aparato de medida o a las limitaciones de nuestros sentidos en el caso de que sean ellos los que deben registrar la información. El valor de las magnitudes físicas se obtiene experimentalmente efectuando una medida; ésta puede ser directa sobre la magnitud en cuestión o indirecta, es decir, obtenida por medio de los valores medidos de otras magnitudes ligadas con la magnitud problema mediante una fórmula física. (Posadas, 2010, pág. 2)

2.2.6.1. Precisión

La precisión es el grado de concordancia entre una medida y otras de la misma magnitud realizadas en condiciones sensiblemente iguales. Un aparato es preciso cuando la diferencia entre diferentes medidas de una misma magnitud es muy pequeña. (Posadas, 2010, pág. 3)

2.2.6.2. Exactitud

La exactitud es el grado de concordancia entre el valor verdadero y el experimental. Un aparato es exacto si las medidas realizadas con él son todas muy próximas al valor "verdadero" de la magnitud medida.

La exactitud implica normalmente precisión, pero la afirmación inversa no es cierta, ya que pueden existir aparatos muy precisos que posean poca exactitud debido a los errores sistemáticos tales como error de cero, etc. En general, se puede decir que es más fácil conocer la precisión de un aparato que su exactitud. (Posadas, 2010, pág. 2)

2.3. Marco conceptual

ADCP: Equipo acústico de medición de caudal que utiliza el efecto Doppler (cambio observado en la frecuencia de una onda cualquiera resultante del movimiento relativo entre la fuente y el observador) transmitiendo pulsos sonoros de frecuencia fija y escuchando el eco que retorna de las partículas en suspensión (sedimentos).

WinRiver II: Software hidrométrico de recolección y edición de datos que complementa el uso de Q-Boat, en el proceso y post-proceso de un levantamiento batimétrico.

Transductor: Dispositivo que tiene la misión de recibir energía de una naturaleza eléctrica, mecánica, acústica, etc., y suministrar otra energía de diferente naturaleza, pero de características dependientes de la que recibió.

Pings: Pulsos acústicos de una frecuencia conocida (Agua y fondo).

Ensamble: La media de un conjunto de pings para obtener el perfil de velocidad del agua.

Transecto: Grupo de ensambles que constituye una travesía al final de un valor de caudal.

Profundidad–celda: División del perfil vertical en segmentos igualmente espaciados.

Profundidad de ADCP: Profundidad de inmersión del perfilador.

Cabeceo: Inclinación del aparato en el sentido eje longitudinal de la embarcación.

Balanceo: Inclinación del aparato en el sentido transversal de la embarcación.

Latitud. - La latitud mide el ángulo entre cualquier punto y el ecuador. Las líneas de latitud se denominan paralelos.

Longitud. - La longitud mide el ángulo a lo largo del Ecuador desde cualquier punto de la Tierra. Se acepta que Greenwich en Londres es la longitud 0 en la mayoría de las sociedades modernas. Las líneas de longitud son círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos.

Red geodésica: La red geodésica nos define un conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio estableciendo físicamente mediante monumentos físicos permanentes legalmente establecidos.

GPS: Es un sistema mundial de localización constituido por una constelación de satélites, cada uno de ellos dotado con relojes atómicos, computadoras, emisores y receptores de radio y por estaciones terrenas que monitorean constantemente a cada uno de los satélites. Los receptores GPS utilizan a estos satélites como puntos de referencia para calcular la latitud, longitud, altitud (con aproximaciones en el orden de metros, inclusive centímetros), velocidad y tiempo exacto.

GNSS: Un sistema global de navegación por satélite es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire.

Hypack: Software hidrométrico de preparación, recolección y edición de datos que complementa el uso de Z-Boat.

Banda ISM: Las bandas ISM (Industrial, Scientific and Medical) son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

Led: El LED, acrónimo de diodo emisor de luz de estado sólido, constituye un tipo especial de semiconductor, cuya característica principal es convertir en luz la corriente eléctrica de bajo voltaje que atraviesa su chip.

CCM: Un Centro de Control de Motores (CCM) es aquel lugar confinado compuesto generalmente por un tablero de distribución que alimenta, controla y protege circuitos cuya carga esencialmente consiste en motores y que usa contactares o arrancadores como principales componentes de control.

ASCII: Sistema de codificación de caracteres alfanuméricos que asigna un número del 0 al 127 a cada letra, número o carácter especial recogidos; el ASCII extendido permite hasta.

Altura elipsoidal: La altura del elipsoide es la altura medida desde una superficie elipsoidal hasta un punto en la superficie de la Tierra. Los elipsoides de referencia son modelos matemáticos de la forma de la Tierra con forma de esfera aplanada.

Altura ortométrica: Distancia que separa la superficie topográfica terrestre y el geoide. Dicha separación se calcula sobre la línea perpendicular a este último. Este tipo de altura es usualmente denominada altura sobre el nivel del mar, y es obtenida a partir de métodos clásicos de nivelación más observaciones gravimétricas.

Hidrométrico: La hidrometría es una parte de la hidrología que mide el volumen de agua que circula por una sección de un conducto en un tiempo dado.

Teledyne RDI: Compañía que forma parte del grupo Teledyne Marine, Teledyne RD Instruments como líder mundial en innovaciones acústicas de Doppler utilizadas para el perfilado actual y la navegación de precisión, continúa siendo una fuerza innovadora en la industria al diseñar, mejorar y fabricar soluciones innovadoras que se utilizan para la generación de perfiles actuales, la medición de olas y la navegación de precisión.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Instrumentos de investigación

Los instrumentos empleados en el presente trabajo de investigación que fueron adquiridos por el laboratorio de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho el año 2016 fueron los siguientes:

- Q-Boat ADCP
- Z-Boat Ecosonda

Para la aplicación de estos equipos utilizados para levantamientos batimétricos, se realizó la recopilación de información y herramientas necesarias, las cuales fueron:

- Software WinRiver II y su Manual de Usuario
- Software Parani Win y su Manual de Usuario
- Software Hypack y su Manual de Usuario
- Software Odom eChart
- Manual de Usuario Q-Boat
- Manual de Usuario Z-Boat
- Manual de Usuario RiverPro 1200-I
- Manual de Usuario Ecosonda CV 100
- Programa Google Earth Pro
- Programa Civil 3D

Estos instrumentos forman parte del desarrollo tecnológico de los métodos para levantamientos batimétricos, los cuales nos permiten realizar mediciones de forma más eficiente, mejorando principalmente el tiempo de aforo e incrementando la seguridad del personal encargado de la actividad. Las especificaciones técnicas de los equipos se encuentran detalladas en los Anexos A y B.

3.2. Descripción del desarrollo del proceso batimétrico

3.2.1. Metodología para un levantamiento batimétrico con Q-Boat ADCP

El procedimiento para la realización de las mediciones con el equipo Q-Boat se divide en las siguientes etapas:

- Pre - proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.
 - ✓ Obtención de mapas del embalse “La Hondura”, mediante Google Earth.
 - ✓ Trazado previo de las líneas de sondeo mediante Google Earth.
 - ✓ Ubicación de la red geodésica en el embalse La Hondura.
 - ✓ Estudio e inspección preliminar del lugar.
 - ✓ Reconocimiento del terreno.
 - ✓ Gestión de insumos para llevar a cabo el estudio.
 - ✓ Ingreso a la zona de estudio para realizar el levantamiento batimétrico.

- Proceso o trabajo de campo: Recolección de datos.
 - ✓ Conexiones físicas previas del equipo.
 - ✓ Conexión entre el equipo y el computador mediante radio Bluetooth con la asistencia del software ParaniWin.
 - ✓ Configuración de los parámetros de medición mediante el software WinRiver II.
 - ✓ Calibración de compas y/o calibración de fondo móvil.
 - ✓ Trazado de transectos, recolectando datos con el software WinRiver II.

- Post - Proceso: Procesamiento de datos.
 - ✓ Selección de los transectos y eliminación de datos dispersos y defectuosos.
 - ✓ Exportación de coordenadas y profundidades.
 - ✓ Planos de la superficie subacuática mediante Civil 3D.
 - ✓ Interpretación de datos, comparación con superficie de referencia del sitio.
 - ✓ Determinación del volumen de almacenamiento y volumen de sedimentación.

3.2.1.1. Pre - proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.

Paso N° 1: Obtención de mapas del embalse “La Hondura”, mediante Google Earth.

Obtención de mapas del embalse mediante Google Earth para obtener una referencia aproximada de la forma, tamaño del embalse y sus vías de acceso.

Paso N° 2: Trazado previo de las líneas de sondeo mediante Google Earth.

Para un levantamiento batimétrico con el equipo Q-Boat ADCP se traza un recorrido previo con la finalidad de definir los puntos de inicio y fin de las correspondientes trayectorias de las secciones a levantar. La separación entre líneas de sondaje se la realiza en función a la magnitud del embalse, condición climática, tiempo de trabajo proyectado y precisión del proyecto.

Para este proyecto la separación entre líneas de sondaje es de aproximadamente 20m. las cuáles son dibujadas mediante Google Earth para referencia al momento del sondeo.

Paso N° 3: Ubicación de la red geodésica en el embalse La Hondura.

La presa “La Hondura” cuenta con cuatro puntos geodésicos colocados y bien monumentados alrededor del embalse los cuales son identificados y ubicados mediante una imagen satelital. Estos puntos nos ayudan con la georreferenciación para el levantamiento batimétrico a realizarse.

Paso N° 4: Estudio e inspección preliminar del lugar.

La inspección tiene como objetivo evaluar en campo lo proyectado en los mapas y ver la accesibilidad a la zona para no tener contratiempos cuando se esté transportando al equipo y personal competente, a la zona de estudio.

Paso N° 5: Reconocimiento del terreno.

El reconocimiento del terreno se realiza con el fin de posicionar físicamente los puntos de inicio y final de los recorridos sobre el vaso de almacenamiento de la presa, con una separación entre transectos de aproximadamente 20m. En el levantamiento con el

equipo Q-Boat no es necesario mucha precisión en esta señalización, ya que el equipo nos brinda directamente las coordenadas de cada punto de sondeo.

Paso N° 6: Gestión de insumos para llevar a cabo el estudio.

La gestión de los insumos se la efectúa con el fin de contar con todo el material, equipo y personal necesario para llevar a cabo el estudio, entre los cuales podemos mencionar:

- Transporte del equipo Batimétrico (Q-Boat) al sitio del estudio.
- Transporte del material complementario al equipo batimétrico a utilizar (computador, control remoto, baterías, etc.).
- Transporte de las herramientas secundarias para realizar un levantamiento batimétrico (mesa, sillas, toldo, etc.).
- Transporte del personal competente.

Paso N° 7: Ingreso a la zona de estudio para realizar el levantamiento batimétrico.

Una vez ingresados a la zona de estudio, se sitúa las herramientas en un lugar donde se pueda observar la mayor parte del embalse y donde haya suficiente espacio para realizar la preparación del equipo.

3.2.1.2. Proceso: Recolección de datos.

Paso N° 1: Conexiones previas para la preparación del equipo.

Para poder utilizar de manera correcta los dispositivos y el Software WinRiver II, es necesario tener el Q- Boat encendido y los dispositivos en correcto funcionamiento, para ello se realiza conexiones previas a este punto.

Se considera que el equipo Q-Boat cuenta con el sistema RiverPro 1200 ADCP incorporado, el cual está conectado al GPS AtlasLink que a la vez está conectado al bote. Para el funcionamiento se conecta cuatro baterías de 24 V al motor del bote y dispositivos, y se cuenta con la disponibilidad del software WinRiver II con licencia de uso, además de la instalación del software complementario ParaniWin para la conexión del bote vía Bluetooth con el computador.

Es importante aclarar que las otras conexiones dentro del bote son realizadas por los vendedores del equipo, como lo es el sistema RiverPro ADCP y el Módulo de Control y Comunicaciones (CCM), los cuales no deben ser movidos sin asesoramiento, ya que se requiere de conocimientos adicionales para poder lograr un correcto funcionamiento y no se generen problemas. Las características de RiverPro ADCP y del CCM se encuentran detalladas en el Anexo A. El capítulo utilizado del manual de usuario de RiverPro ADCP se especifica en el Anexo C.

Las conexiones a continuación son aquellas necesarias para el funcionamiento del equipo que no llegan conectadas al momento de la compra y pueden ser removibles. Estas conexiones son:

- GPS
- Antenas
- Baterías
- Radio Hidrolink-S

Conexión del GPS

El Q-Boat está incorporado al sistema RiverPro 1200, el cual cuenta con la conexión interna del GPS AtlasLink, que a la vez se conecta en la parte superior del bote de donde es desmontable.

El GPS AtlasLink es un equipo Smart Antenna con capacidad multi-GNSS, pre configurado para recibir las señales de correcciones del servicio de Atlas de Hemisphere GNSS. Las especificaciones técnicas del GPS AtlasLink se encuentran detallados en el Anexo A.

Conexión con antenas

El equipo Q-Boat cuenta con dos antenas (Air 802) omnidireccionales ANOM2408, ideales para la transmisión de datos WIFI y Bluetooth, en la banda de los 2,4 GHz, con una ganancia de 8 dBi, las cuales han sido diseñadas para montajes de mástil para muro atornillable, estas antenas sirven para transmitir los datos combinados de GPS, ADCP e información de rumbo a la costa.

También el equipo Q-Boat cuenta con una antena HG2404U de la marca HyperLink, la cual es una antena omnidireccional económica y de alto rendimiento diseñada para la banda ISM de 2,4 GHz, esta antena compacta y liviana es ideal para Bluetooth, aplicaciones de punto de acceso inalámbrico público y otras aplicaciones multipunto donde se desea una amplia cobertura. Esta antena se utiliza para el sistema de control remoto del Q-Boat, el sistema de control remoto no solo transmite órdenes a la embarcación, sino que el voltaje de la batería de alimentación principal se transmite continuamente al transmisor de tierra. Se puede observar las características y el manejo del control remoto, en el Manual de usuario de Q-Boat detallado en el Anexo D.

Conexión con las baterías

El Q-Boat 1800 utiliza cuatro baterías de 24V conectadas al Módulo de control de comunicaciones por conectores “Anderson” rojos/negros. Cada paquete dura más de tres horas a la velocidad típica de inspección de 3kts. La conexión y el procedimiento de carga de las baterías se encuentran detallados en el Anexo D.

Conexión con radio Hidrolink-S

La adición de la radio Hidrolink-S aumenta la distancia sobre la que los datos combinados de la encuesta de batimetría pueden transmitirse eficientemente hasta y más allá del límite efectivo del rango de control remoto (aproximadamente 1200 m). Esta opción de radio se suele utilizar en lugar de la radio Bluetooth, pero ambas pueden funcionar simultáneamente en dos puertos COM separados, ya que los enlaces de radio son independientes.

En el Q-Boat la radio Hidrolink-S está conectada al puerto HIDROLINK en el CCM usando un cable especial de Teledyne oceanscience y también está conectada a una antena de alta ganancia de 2,4 GHz y a una antena de 900 MHz en la parte trasera del Q-Boat dependiendo de la frecuencia de la radio utilizada.

Tanto la orilla como los radios Hidrolink-S de Q-Boat deben tener una luz CONNECT verde sólida cuando se dispone de una conexión. La luz Tx/Rx debe parpadear rápido cuando los datos fluyen, si la luz parpadea una vez cada 1 ó 2 segundos, no se

transmiten datos. La alimentación para la radio en tierra es suministrada por un adaptador automático de 12 V o una batería recargable. El Hidrolink-S puede suministrarse con una potencia de salida de 0,05 – 0,5 W a 2,4 GHz o una potencia de salida de 0,1 – 1 W a 900 MHz. La velocidad de transmisión de datos se establece siempre en 115200 bps para que coincida con la velocidad en baudios de salida del puerto HYDROLINK.

Paso N° 2: Conexión entre el equipo y el computador mediante radio Bluetooth con la asistencia del software ParaniWin.

Es un punto requerido para el funcionamiento del ADCP que esté conectado con el software WinRiver II mediante bluetooth, para que empiece a recolectar datos.

El módem de radio Bluetooth de orilla suministrado para la transmisión de datos en el CCM Q-Boat estándar es un módulo Bluetooth SENA Parani SD1000. La radio en tierra tiene una batería que se carga conectando el cable de carga a un puerto USB. El emparejamiento entre el Bluetooth interno del ADCP y un módulo SENA Parani SD1000 se lo realiza mediante la asistencia del software ParaniWin, una vez emparejados ambos dispositivos se procede a la conexión con el software WinRiver II, el cual es el programa que se encarga de la recopilación de datos en tiempo real y su post procesamiento.

Para la conexión entre el equipo y el computador se sigue el siguiente procedimiento:

- 1.- Encienda el interruptor de alimentación flotante, el cual se encuentra ubicado en el Módulo de control de comunicaciones (CCM). Verifique que los LEDs rojo y verde se enciendan. Después de unos segundos, el LED rojo se apagará y el LED verde parpadeará dos veces y luego permanecerá encendido. Esto indica que la autoprueba RiverPro / RioPro ha pasado.
- 2.- Conecte el dispositivo SD1000U a un puerto USB y determine el puerto COM utilizado.
- 3.- Ejecute el programa ParaniWin y conéctese al ADCP.
- 4.- Salga del programa ParaniWin.

El detalle de la conexión con un módulo SENA Parani SD1000 se encuentra detallado en el anexo F.



Fotografía 3.1. Llave de encendido del ADCP.

Paso N° 3: Configuración de los parámetros de medición mediante el software WinRiver II.

WinRiver II es el programa de recopilación de datos de descarga en tiempo real de Teledyne RD Instrument (TRDI). Este programa crea un archivo de medición para operar el ADCP, verifica cada comando y verifica que el ADCP haya recibido los comandos.

Una vez realizada la conexión del ADCP con la computadora mediante un módulo SENA Parani SD1000 se debe continuar con el siguiente procedimiento para su configuración:

- 1.- Inicie WinRiver II haciendo doble clic izquierdo en el ícono del software.

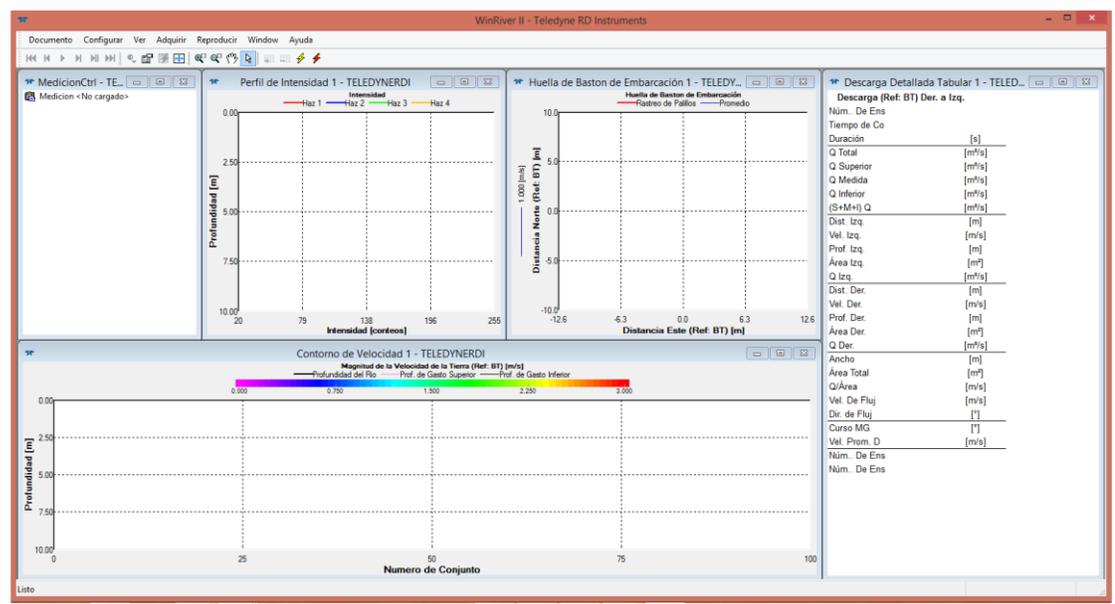


Figura 3.1. Pantalla principal de WinRiver II.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez ingresado al software se puede observar que en la parte superior se encuentran las pestañas principales que permiten desarrollar las actividades correspondientes al pre proceso, levantamiento y post proceso de datos.

En la parte inferior a las pestañas principales se encuentran iconos que permiten realizar una actividad específica según la etapa del proyecto.

En la parte central se encuentra la pantalla, la cual se divide en diferentes ventanas, las cuales pueden ser colocadas de acuerdo a la preferencia del usuario. Las ventanas que están predeterminadas por el software son;

- Ventana de control de medición
- Perfil de intensidad
- Huella de bastón de embarcación
- Contorno de velocidad
- Descarga detallada en tiempo real

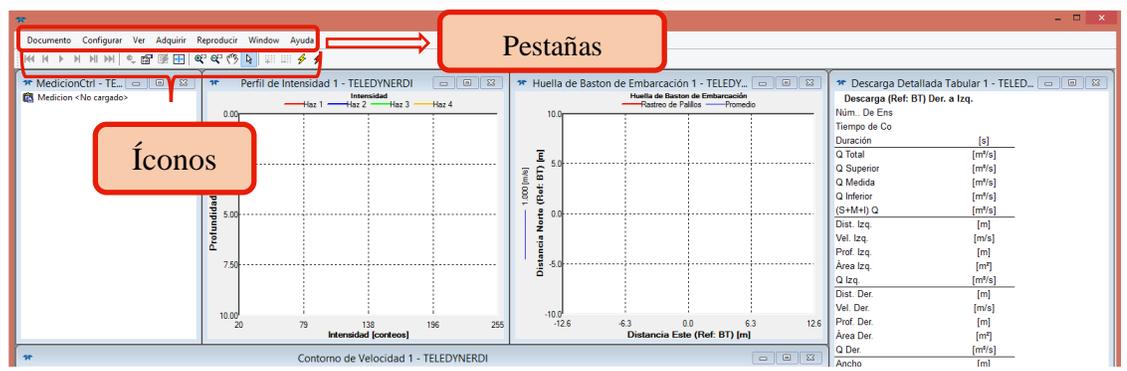


Figura 3.2. Ubicación de pestañas e íconos.

Fuente: Elaboración propia.

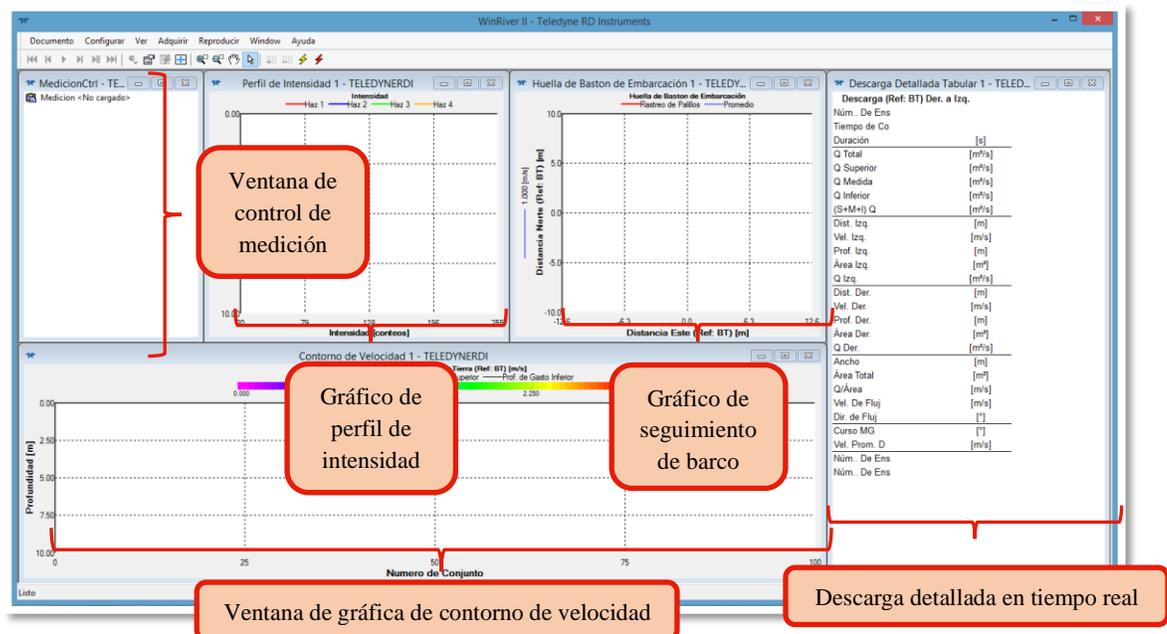


Figura 3.3. Ubicación de ventanas predeterminadas.

Fuente: Elaboración propia.

2.- En el menú Configurar de la lista de pestañas de la parte superior del software WinRiver II, seleccione Periféricos para configurar la conexión del ADCP con el software como se muestra a continuación:

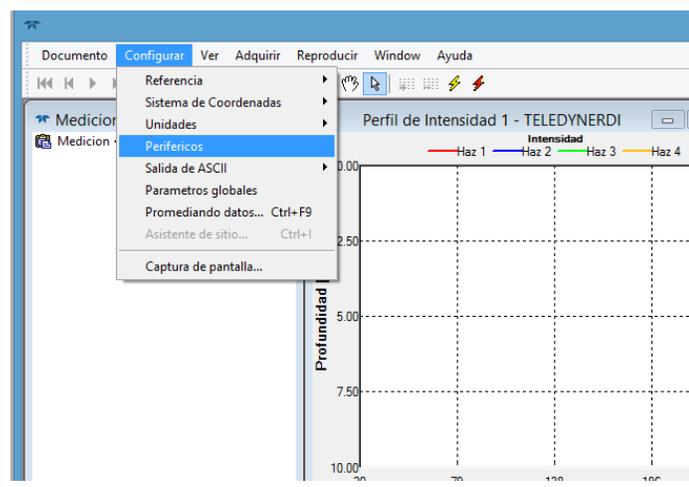


Figura 3.4. Procedimiento de configuración.

Fuente: Elaboración propia.

3.- Seleccione Puerto: ADCP Serial Port y haga clic en el botón Configurar.

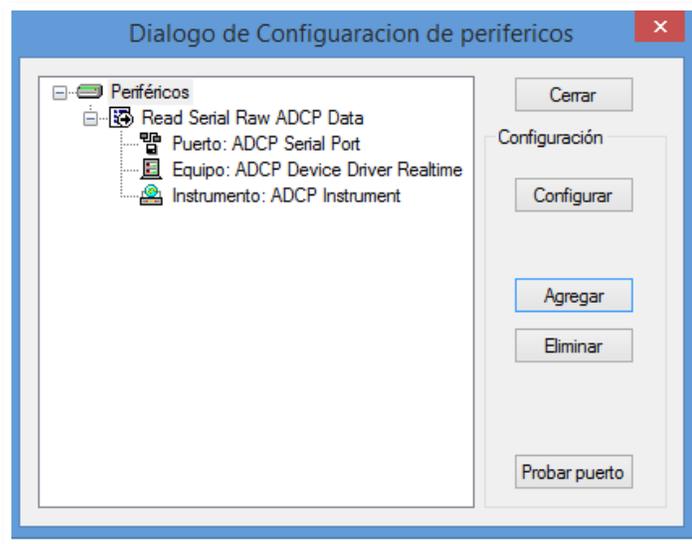


Figura 3.5. Diálogo de configuración de periféricos.

Fuente: Elaboración propia.

4.- Seleccione la opción Com. Número de puerto y seleccione el puerto al que está conectado. La Velocidad de transferencia debe estar en 115200. Deje los Databits, Parity y Stopbits como se muestra.

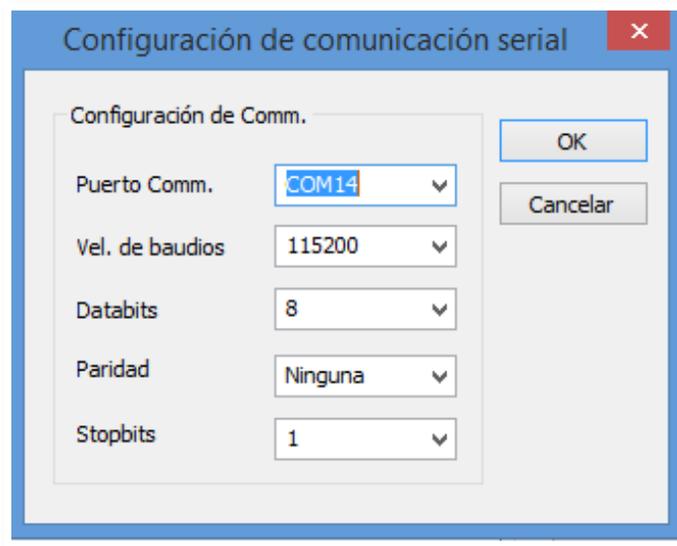


Figura 3.6. Selección del puerto COM.

Fuente: Elaboración propia.

5.- Haga clic en OK para cerrar la pantalla Configuración de comunicación serial.

6.- Haga clic en el botón Probar puerto. El banner de RiverPro aparece.

```
>break

RiverPro/RioPro
Teledyne RD Instruments (c) 2015
All rights reserved.
Firmware Version: 56.xx
>
```

Figura 3.7. Banner de RiverPro.

Fuente: Elaboración propia.

7.- Haga clic en el botón Cerrar para salir del diálogo Test Port.

8.- Haga clic en el botón Cerrar una vez más para salir del cuadro de diálogo Configuración de periféricos.

9.- Inicie una nueva medición en WinRiver II, haciendo clic en la pestaña Documento.

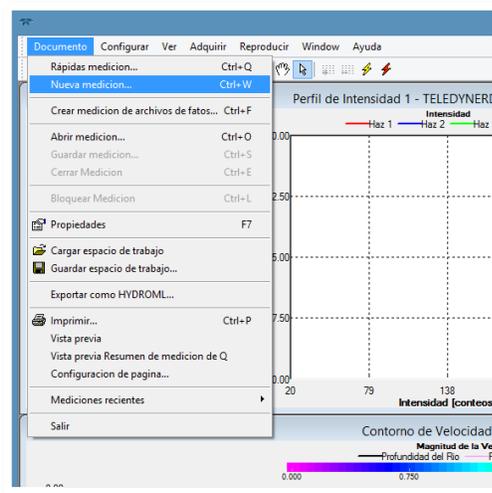


Figura 3.8. Nueva medición.

Fuente: Elaboración propia.

10.- Al abrir una nueva medición, aparece la ventana de Diálogo de configuración que se muestra a continuación. Haga clic en información del sitio introduciendo los datos que posee, estos datos no son indispensables sirven únicamente para la creación del archivo de medición.

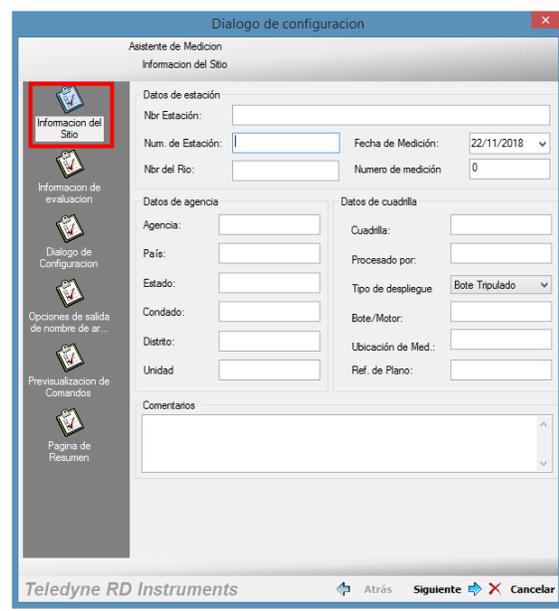


Figura 3.9. Ventana de Diálogo de configuración, información del sitio.

Fuente: Elaboración propia.

11.- Haga clic en información de evaluación, introducir los datos con los que se cuenta, estos datos son necesarios para realizar la medición, pero pueden ser reemplazados en el post procesamiento de datos.

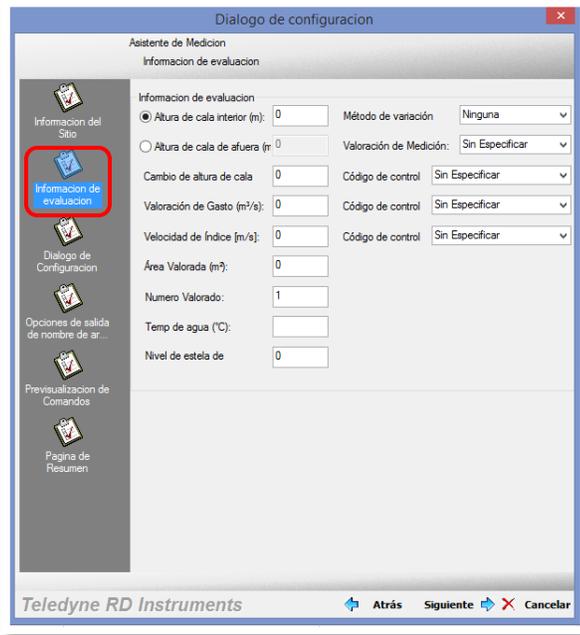


Figura 3.10. Ventana de Información de evaluación.

Fuente: Elaboración propia.

12.- Posteriormente haga clic en diálogo de configuración, asegúrese de que el tipo de ADCP coincida con el RiverPro y el indicador junto al RiverPro sea color verde. Verifique que el LED azul del RiverPro ADCP esté encendido.

Ingrese sus elecciones para la sección de configuración del asistente del ADCP. En función de la información ingresada, el asistente ingresará los comandos en la página de comandos, WinRiver II dará mensajes de advertencia si la configuración no es recomendable. Como por ejemplo la profundidad a la que se encuentra el transductor generalmente es de 0,08 a 0,20 m. y si se coloca un valor fuera del rango WinRiver II dará ventanas de advertencia.

Profundidad del transductor (m). - Es la profundidad del transductor medida del espejo de agua al final del transductor, que en nuestro caso es de 0,20 m.

Profundidad máxima del agua. - Ingrese la profundidad máxima esperada de la secuencia, en nuestro caso la profundidad máxima del embalse es de 20 m.

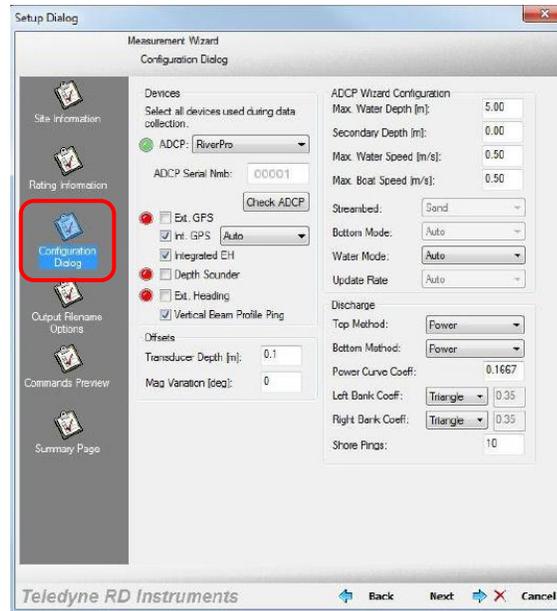


Figura 3.11. Diálogo de configuración.
Fuente: Guía de Usuario RiverPro ADCP.

12.- Después de ingresar los datos necesarios haga clic en el botón siguiente de las ventanas posteriores para crear la nueva medición, la ventana de medición cambia como se muestra a continuación:

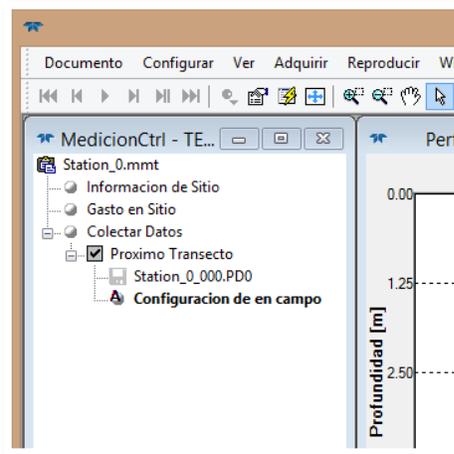


Figura 3.12. Ventana de control de medición preparada para iniciar el pingeo.
Fuente: Elaboración propia.

Paso N° 4: Calibración de compas y/o calibración de fondo móvil.

Para la obtención de mediciones más precisas se pueden ejecutar pruebas y calibraciones, dependiendo de la precisión que se requiere en la medición como ser:

- Prueba de fondo móvil.
- Prueba de ADCP.
- Calibración de compás.

Para esta investigación se realizó la prueba de ADCP y la calibración de compás, ya que la prueba de fondo móvil se la realiza para saber si el lecho es estable o inestable y normalmente se la realiza en ríos; al ser un lecho de embalse donde no hay corrientes fuertes de agua se lo considera como un lecho estable.

Prueba de ADCP:

Para realizar la prueba de ADCP se sigue el siguiente procedimiento:

En el menú Adquirir, haga clic en Ejecutar prueba ADCP para verificar que RiverPro está funcionando correctamente. Las pruebas de ADCP deben realizarse en vehículos no móviles o muy lentos para obtener los resultados más precisos.

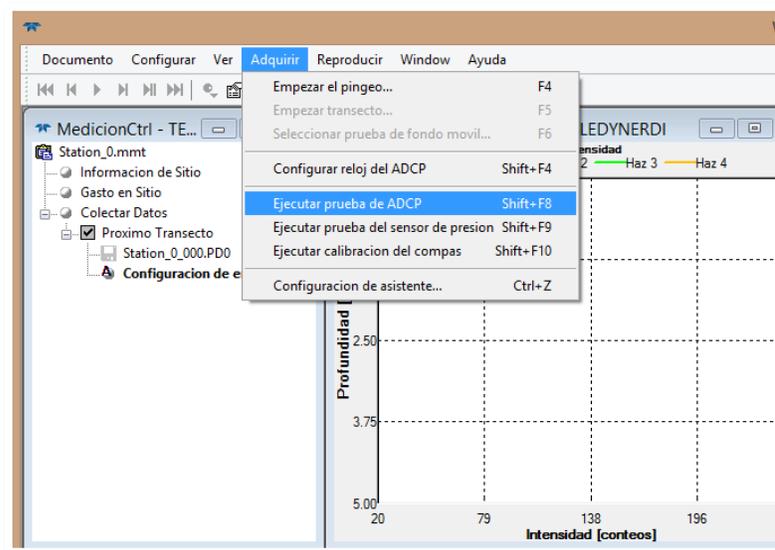


Figura 3.13. Procedimiento para ejecutar prueba de ADCP.

Fuente: Elaboración propia.

La prueba de ADCP se la realiza con el objetivo de que el RiverPro ADCP este en correcto funcionamiento. El RiverPro tiene la orden de realizar una prueba BIT y destella sus luces LED para indicar los resultados de la prueba. Transmite simultáneamente los resultados de la prueba BIT, el estado de la conexión GPS interna y todos los dispositivos auxiliares conectados al mismo ordenador central.

Calibración de compás o calibración de la brújula:

Después de asegurarse de que el sistema está bien alejado de fuentes de interferencia magnética, se comienza la calibración de la brújula dentro de la aplicación. Durante el proceso de calibración, se proporciona al usuario información sobre la calidad de los datos del campo magnético recogido en cada partición de la rotación 360°. El procedimiento para la calibración de la brújula con WinRiver II se encuentra detallado en el Anexo C.

Paso N° 5: Trazado de transectos, recolectando datos con el software WinRiver II.

Una vez realizada la prueba de ADCP y la Calibración de compás se ingresa el equipo al embalse y se enciende las hélices móviles del Q-Boat mediante el botón rojo de parada de emergencia.

1.- El Q-Boat está equipado con un botón rojo de parada de emergencia, pulsando este botón se apaga el sistema de propulsión, pero no el resto de la operación del Q-Boat. Para activar los motores después de pulsar la Parada de Emergencia, el botón debe ser elevado a su posición normal.

La electrónica de carga, como la sonda y el GPS, no se ven afectadas por la Parada de Emergencia y permanecen encendidas incluso después de pulsar el botón.

Al realizar el mantenimiento en el Q-Boat, donde la seguridad personal podría estar en juego (si limpia los desechos de las hélices, por ejemplo), la acción más segura es primero apagar el interruptor principal del CCM y desconectar las baterías. El cable de parada de emergencia debe estar conectado al CCM para que el botón de parada de

emergencia funcione. Si este cable está desconectado, los motores siguen funcionando incluso después de haber presionado la parada de emergencia.

La seguridad es importante cuando se trabaja alrededor de las hélices móviles. Se debe tener extrema precaución al trabajar en o alrededor del Q-Boat. Las hélices Q-Boat 1800 HS pueden girar a más de 3.000 RPM y producir 750 W (1.0 HP) cada una.

Hay peligro extremo de lesión si se tocan las hélices mientras se está operando. Siempre mantenerse alejado de las hélices cuando las baterías están a bordo.

El interruptor de parada de emergencia rojo grande puede ser deprimido (cubierta delantera del barco) para cortar inmediatamente la energía a los motores en un acontecimiento inesperado.

2.- Ingrese el equipo al embalse en el punto de inicio señalado en el mapa de referencia.

3.- Para iniciar la medición se debe hacer ping. En el menú Adquirir, haga clic en Iniciar pingeo o use la tecla de acceso directo F4.

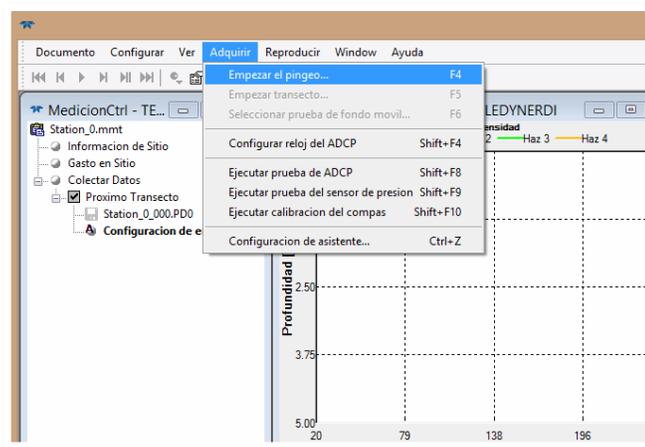


Figura 3.14. Empezar pingeo.

Fuente: Elaboración propia.

4.- Posteriormente haga clic en Empezar transecto.

5.- Ingrese la distancia de banco, la cual es la distancia desde la orilla al bote, cuando se le solicite y determine si se trata del banco izquierdo o derecho. Al mirar hacia abajo, la orilla izquierda está en su lado izquierdo.

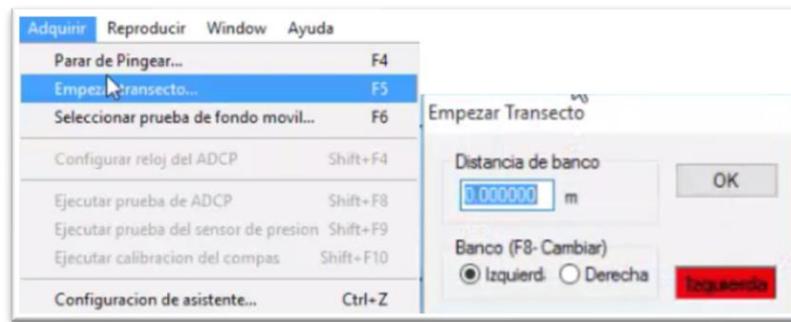


Figura 3.15. Procedimiento para empezar transecto.

Fuente: Elaboración propia.

- 6.- Haga clic en Aceptar para comenzar.
- 7.- Conduzca el Q-Boat mediante el control remoto siguiendo la trayectoria indicada en los mapas de referencia a una velocidad lenta y constante.
- 8.- Al llegar al punto final del recorrido, haga clic en terminar transecto e introducir la distancia de banco final.
- 9.- Repite los pasos del 4 al 8 para cada transecto.
- 10.- Al terminar de medir todos los transectos se hace clic en terminar pingeo, de esta forma se culmina la medición y WinRiver II guarda su archivo de medición.

A medida que el bote realiza su recorrido, en WinRiver II se observa en las ventanas centrales del programa algunas de las características descritas anteriormente en tiempo real.

3.2.1.3. Post - proceso: Procesamiento de datos.

Paso N° 1: Selección de los transectos y eliminación de datos dispersos y defectuosos.

WinRiver II se usa para el procesamiento posterior de datos, en esta investigación se utiliza WinRiver II para realizar un levantamiento batimétrico y así obtener la superficie subacuática del embalse “La Honduras”, por lo tanto, nos enfocamos en la determinación de las coordenadas y profundidades de cada punto del recorrido.

Para obtener los datos de la medición se realiza el siguiente procedimiento:

1.- Inicie WinRiver II.

2.- En el menú Archivo, haga clic en Abrir medición. Seleccione el archivo de medición (* .mmt) a reproducir guardado en la carpeta de WinRiver II y haga clic en Abrir.

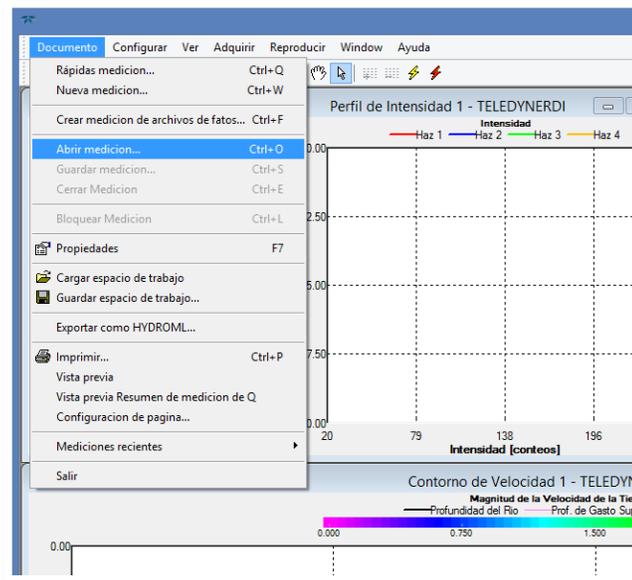


Figura 3.16. Procedimiento para abrir una medición.
Fuente: Elaboración propia.

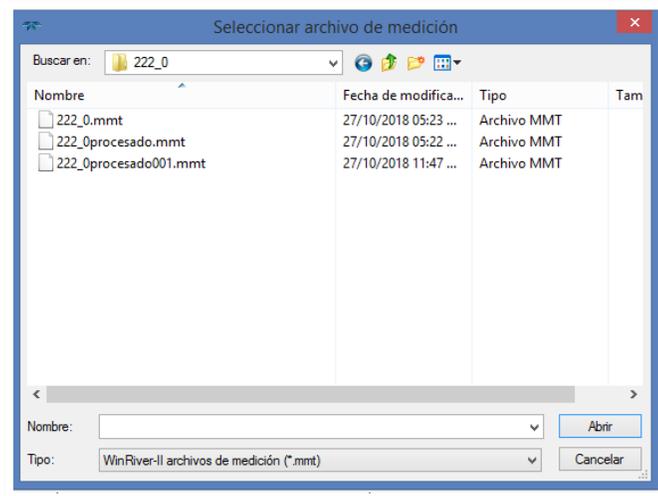


Figura 3.17. Selección del archivo de medición.
Fuente: Elaboración propia.

3.- Para reproducir un archivo de datos, use el menú Reproducir y seleccione Reprocesar transectos seleccionados (haga clic en la casilla de verificación para seleccionar los archivos). Esto crea una copia del nodo Configuración de campo y crea un nodo de configuración de reproducción. Los archivos de datos se reproducen automáticamente hasta el final del archivo.

Para reproducir un solo archivo de datos, haga clic en el transecto para seleccionarlo y luego use el menú Reproducir y seleccione Reprocesar el transecto seleccionado.

Para reproducir el siguiente archivo de transecto, en el menú Reproducir seleccione Reprocesar siguiente transecto.

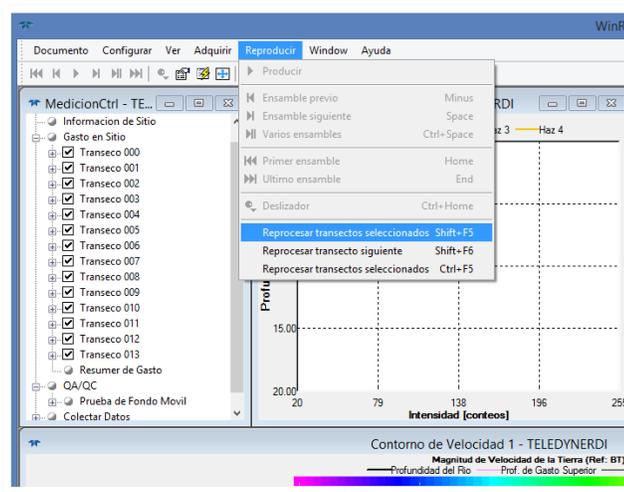


Figura 3.18. Reprocesar transectos seleccionados.

Fuente: Elaboración propia.

4.- En el menú Reproducir, haga clic en Primer conjunto para ir al principio del archivo de datos. Haga clic en Reproducir para revisar los datos. Para reproducir rápidamente a través de los datos, en el menú Reproducción, seleccione Control deslizante o arrastre el marcador de conjunto en el trazado de contorno.

La barra de herramientas de reproducción también tiene funciones para iniciar, detener, rebobinar e ir al final del archivo de datos.

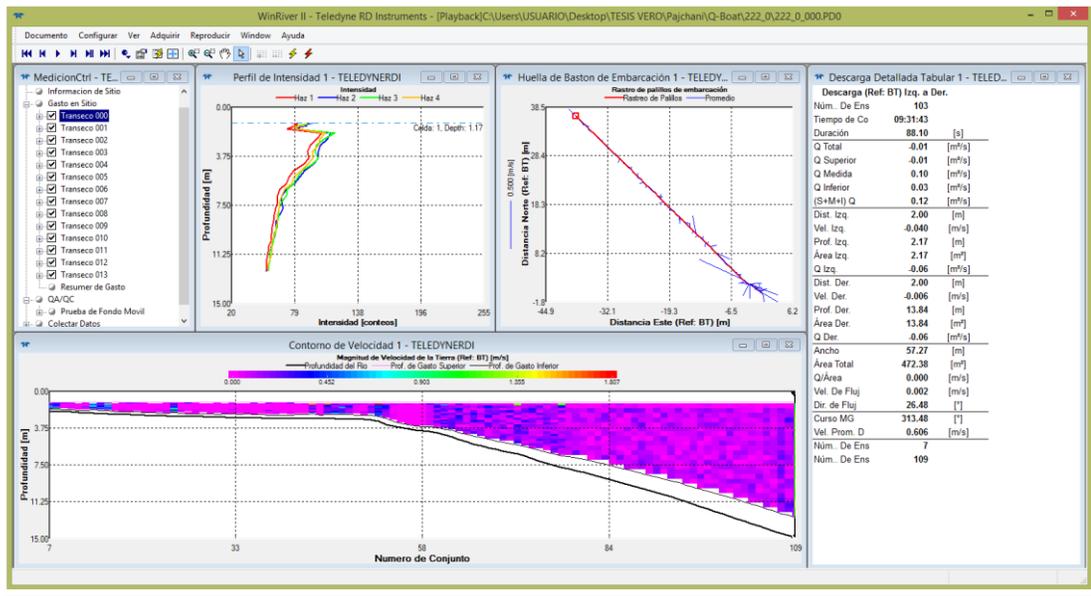


Figura 3.19. Pantalla de WinRiver II al cargar una medición.
Fuente: Elaboración propia.

5.- Para ver los datos en forma tabular o gráfica, Haga Clic en Ver y seleccione la pantalla gráfica o tabular que desea ver.

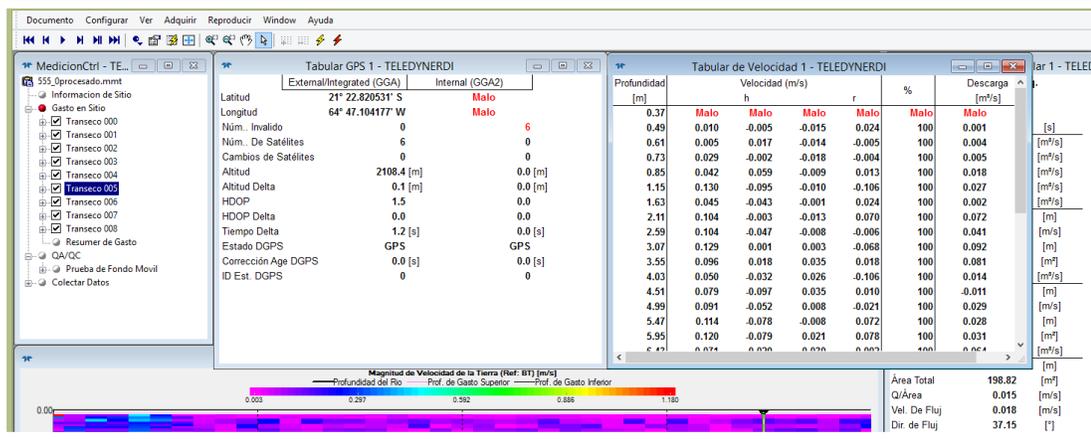


Figura 3.20. Pantallas tabulares de GPS y Velocidad.
Fuente: Elaboración propia.

6.- Verifique cada dato de la medición a través de la ventana de descarga detallada o de las ventanas que se requieren para el estudio y si existe algún dato disperso o defectuoso no se lo debe tomar en cuenta.

Paso N° 2: Exportación de coordenadas y profundidades.

Es necesario realizar la exportación de los datos medidos para poderlos emplear en otros programas. Esta operación se la realiza a través de Archivos de salida ASCII, estos archivos contienen texto ASCII que se puede crear durante el procesamiento posterior para usar estos archivos en otros programas (hojas de cálculo, bases de datos y procesadores de texto).

A continuación, se describe el procedimiento para la salida de datos mediante un archivo ASCII.

1.- Una vez reproducidos y verificados los datos, en el menú configurar, haga clic en Salida de ASCII y seleccione Generic ASCII Output. La salida ASCII genérica le permite seleccionar qué datos ASCII y en qué orden desea que se muestren en el archivo.

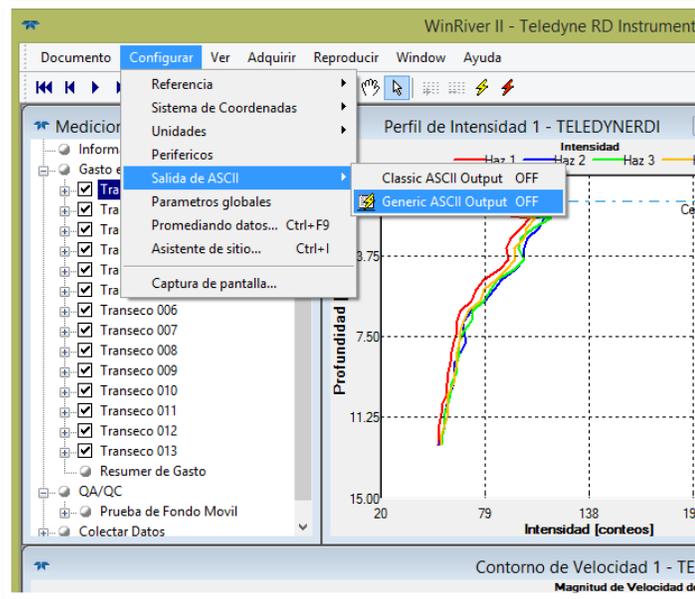


Figura 3.21. Selección de Generic ASCII Output.

Fuente: Elaboración propia.

2.- En la ventana de diálogo de configuración seleccione Crear y Renovar plantilla de Salida ASCII y haga clic en siguiente.

3.- En la lista de artículos seleccione Depth y posteriormente haga clic en la flecha que apunta hacia la derecha para agregar a artículos seleccionados y obtener las profundidades medidas y haga clic en siguiente.

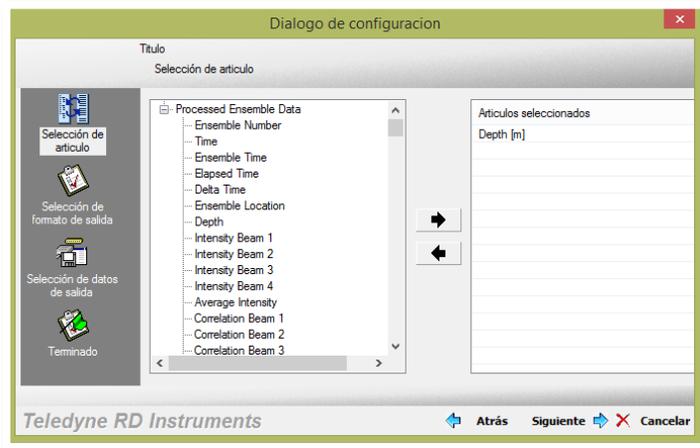


Figura 3.22. Selección de artículo para la salida ASCII.

Fuente: Elaboración propia.

4.- En la selección de formato de salida se puede incluir encabezado de mensaje y la forma de delimitación de los resultados, haga clic en siguiente.



Figura 3.23. Selección de formato de salida.

Fuente: Elaboración propia.

5.- En la selección de datos de salida haga clic en A archivo (salida a directorio de proyecto) y haga clic en siguiente.



Figura 3.24. Selección de datos de salida.

Fuente: Elaboración propia.

6.- Posteriormente seleccione la carpeta en donde será guardada la plantilla tabular con los resultados y haga clic en terminar.

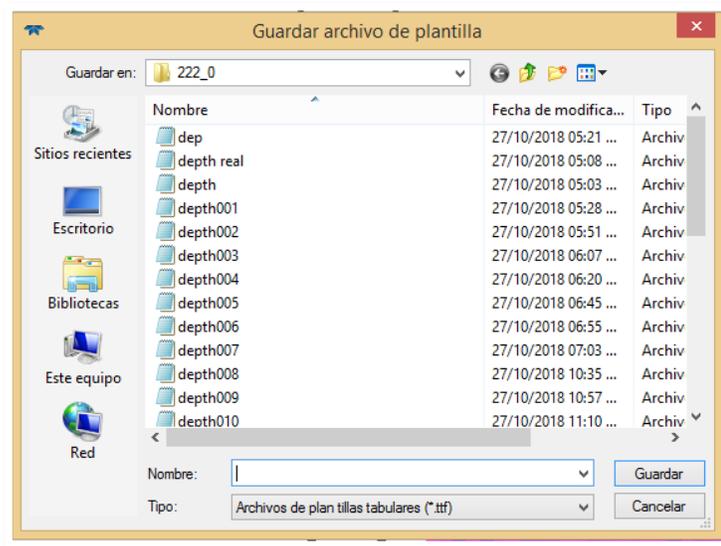


Figura 3.25. Guardar archivo de plantilla.

Fuente: Elaboración propia.

7.- Para Reproducir / reprocesar el transecto deseado. Reproduzca los datos después de la primera vez que finalice la Configuración de datos ASCII genérica (que crea una plantilla) para crear el archivo ASCII. Si se realiza algún cambio en la configuración (plantilla), debe volver a reproducir los datos para ver los últimos datos ASCII.

8.- Desglose el transecto del cual creó la plantilla haciendo clic en el signo “+”, haga doble clic en la plantilla generada y observe los datos en Bloc de notas. Se obtienen los datos de profundidad.

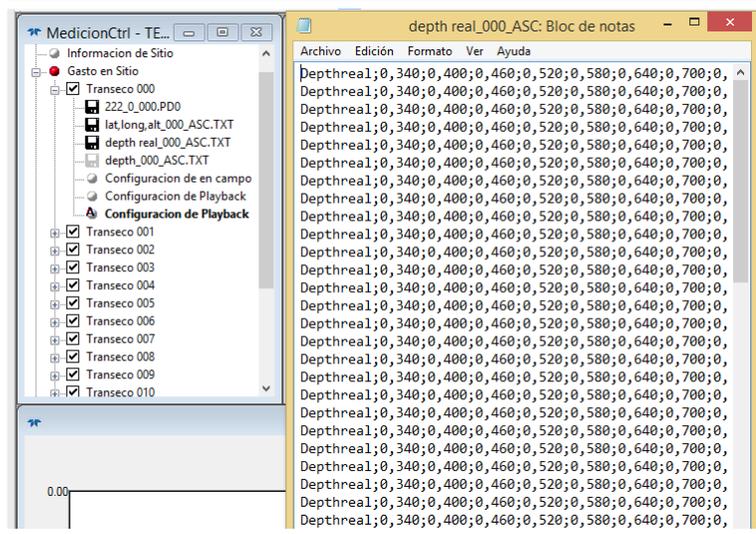


Figura 3.26. Salida de datos en Bloc de notas.

Fuente: Elaboración propia.

9.- Realice el mismo procedimiento para obtener las coordenadas de cada punto; longitud, latitud y altitud.

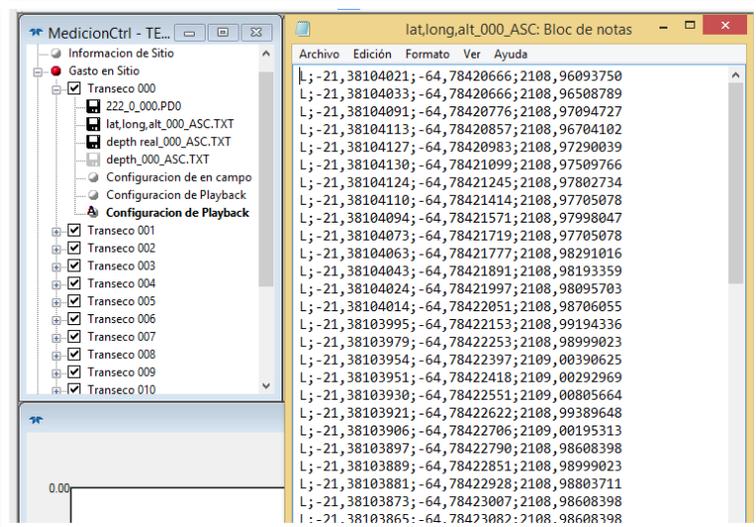


Figura 3.27. Salida de coordenadas en Bloc de notas.

Fuente: Elaboración propia.

10.- Una vez guardados los datos a Bloc de notas, en Civil 3D se importa estos puntos para la generación de la superficie subacuática.

Paso N° 3: Planos de la superficie subacuática mediante Civil 3D.

Para el ingreso de puntos al Civil 3D, se realiza la determinación de los puntos de la superficie subacuática, realizando la diferencia de la altitud del nivel del agua y la profundidad obtenida en cada punto.

Se toma en cuenta los puntos de la red geodésica para enlazar los puntos del levantamiento batimétrico y lograr obtener una superficie más exacta y mejor georreferenciada.

Se crea la superficie subacuática y se obtiene el área y el volumen a cada cota de elevación, también se generan cortes transversales para conocer en algunas secciones la forma del lecho del embalse y poder comparar con la superficie obtenida con el otro equipo Z-Boat.

Paso N° 4: Interpretación de datos, comparación con superficie de referencia del sitio.

Se cuenta con un plano de referencia de la represa “La Honduras” del año 2009 obtenido del estudio “Análisis de funcionalidad y riesgo Presa Pajchani”, el cual se utiliza para comparar con el plano de la superficie actual y poder determinar el volumen de sedimento en relación al volumen de sedimento de ese año.

Paso N° 5: Determinación del volumen de almacenamiento y volumen de sedimentación.

Se obtiene el volumen de almacenamiento del embalse “La Honduras” y su volumen de sedimentación con respecto al estudio del año 2009 con su respectiva tasa de sedimentación hasta la actualidad.

3.2.2. Metodología para levantamiento batimétrico con Z-Boat

El procedimiento para realizar las mediciones con el equipo Z-Boat se divide en las siguientes etapas:

- Pre - proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.
 - ✓ Obtención de mapas del embalse “La Hondura”, mediante Google Earth.
 - ✓ Ubicación de la red geodésica en el embalse La Hondura, mediante Google Earth.
 - ✓ Geo referenciación de la imagen del sitio de trabajo en el Software Hypack.
 - ✓ Trazado de las líneas de seguridad sobre la imagen del embalse.
 - ✓ Trazado de líneas de sondeo sobre la imagen del embalse.
 - ✓ Estudio e inspección preliminar del lugar.
 - ✓ Gestión de insumos para llevar a cabo el estudio.
 - ✓ Ingreso a la zona de estudio para realizar el levantamiento batimétrico.

- Proceso o trabajo de campo: Recolección de datos.
 - ✓ Conexiones previas para la preparación del equipo.
 - ✓ Conexión de los dispositivos al Software.
 - ✓ Levantamiento de datos colocando el bote sobre las líneas de sondeo dibujadas anteriormente.

- Post - Proceso: Procesamiento de datos.
 - ✓ Edición de datos mediante el Editor Monohaz de Hypack.
 - ✓ Reducción de datos editados.
 - ✓ Exportación de datos de nivel del embalse.
 - ✓ Planos de la superficie subacuática mediante Civil 3D.
 - ✓ Interpretación de datos, comparación con superficie de referencia del sitio.
 - ✓ Determinación del volumen de almacenamiento y volumen de sedimentación.

3.2.2.1. Pre – proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.

Paso N° 1: Obtención de mapas del embalse “La Hondura”, mediante Google Earth.

Se realiza la obtención de mapas del embalse mediante el programa Google Earth para obtener una referencia aproximada de la forma, tamaño del embalse y sus vías de acceso a la presa.

Paso N° 2: Ubicación de la red geodésica en el embalse La Hondura.

La presa “La Hondura” cuenta con cuatro puntos geodésicos colocados y bien monumentados alrededor del embalse los cuales serán identificados y ubicados mediante una imagen satelital.

Estos puntos nos ayudan con la georreferenciación para el levantamiento batimétrico a realizarse.

Paso N° 3: Georreferenciación de la imagen del sitio de trabajo en el Software Hypack.

Para iniciar un levantamiento batimétrico con Z-Boat Ecosonda se realiza un procedimiento dentro del Software Hypack, este software se encarga del pre procesamiento, procesamiento y post procesamiento de datos.

Estos procesos están descritos detalladamente en el trabajo de investigación de “Propuesta metodológica para levantamiento batimétrico con Hypack en embalses”, elaborado por Lorena Alissa Bernardeth Flores Ríos.

A continuación, se describe brevemente los pasos para realizar una georreferenciación en Hypack:

1.- Inicie Hypack haciendo doble clic izquierdo en el ícono del software, el software inicia con la figura que se muestra a continuación:

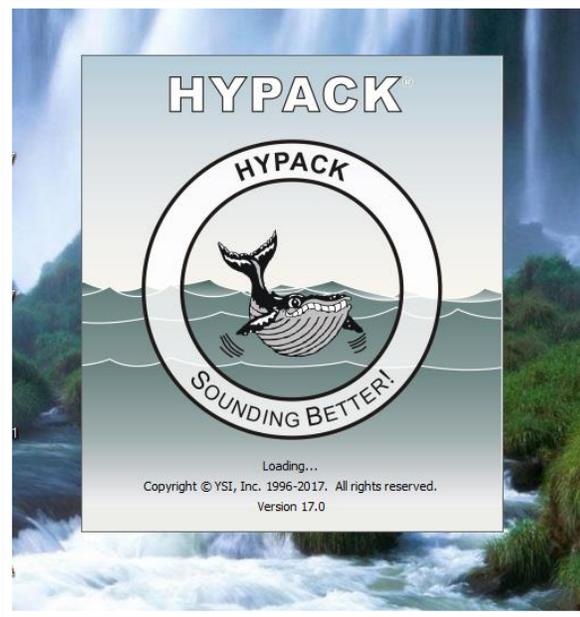


Figura 3.28. Pantalla principal de Hypack.
Fuente: Elaboración propia.

2.- Una vez que ingresó a Hypack se puede observar la pantalla principal.

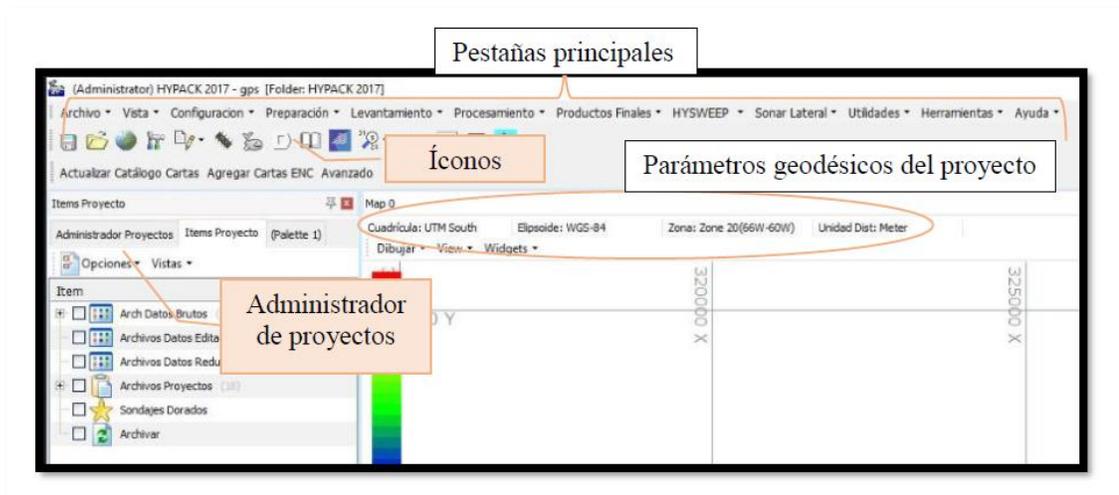


Figura 3.29. Ubicación de pestañas, íconos y características del proyecto.
Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.



Figura 3.30. Pantalla para dibujo de líneas de sondeo y herramientas auxiliares.
Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

3.- Referencie los parámetros de su proyecto. Para ello ingrese al ícono que está simbolizado por un globo terrestre en la parte superior izquierda. Una vez que hizo clic izquierdo en este ícono aparece una ventana en la que se ingresa los parámetros geodésicos de su proyecto.

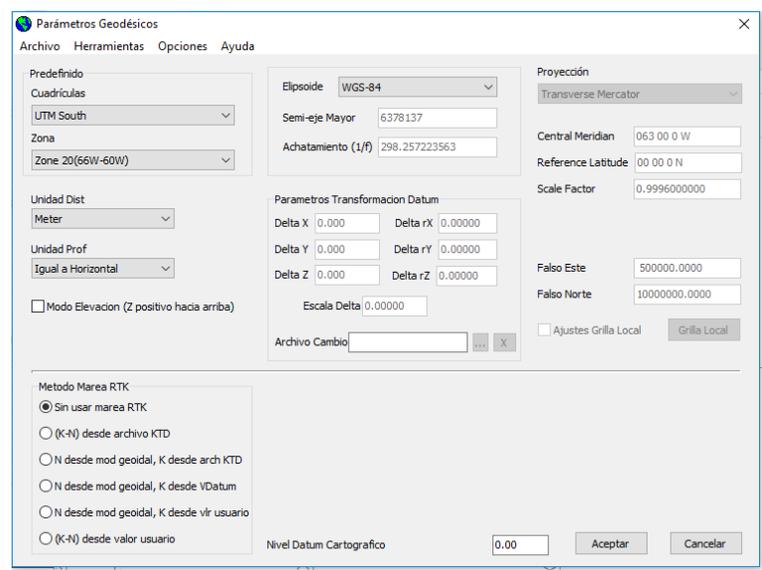


Figura 3.31. Selección de parámetros geodésicos.
Fuente: Elaboración propia.

Para un proyecto en el departamento de Tarija los parámetros geodésicos que Hypack le permite seleccionar son los siguientes:

- Cuadrícula: UTM Sur Zona: 20(66W-60W)
- Unidad: Metros
- Elipsoide: WGS-84

Una vez que hizo las selecciones pertinentes haga clic derecho en aceptar y la información queda guardada.

4.- La Georreferenciación de la imagen del sitio de trabajo es base para la correcta localización de la información de mapa y, por ende, de la adecuada fusión y comparación de datos procedentes de diferentes sensores en diferentes localizaciones espaciales y temporales. Para realizar la georreferenciación haga clic en la pestaña Editores e ingrese a Georreferenciar imagen.

5.- Una vez que seleccionó la opción Georreferenciar Imagen abra el archivo de imagen que tiene de su embalse. Utilice una imagen guardada de Google Earth habiendo tomado nota de las coordenadas de latitud y longitud de los puntos de la red geodésica del embalse. Para un proyecto completo se recomienda que la imagen que descargue muestre en su totalidad el área del espejo de agua del embalse.

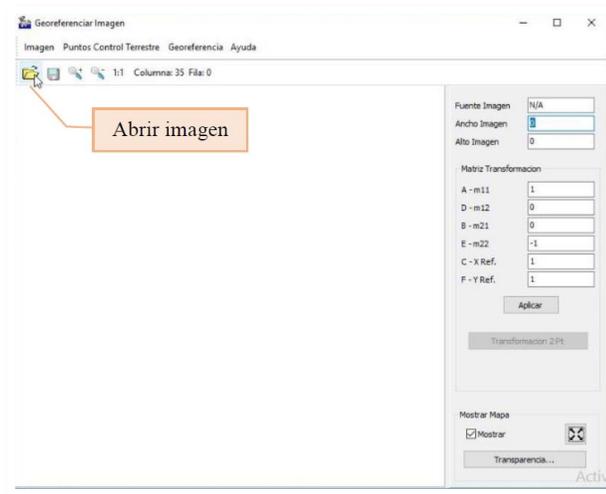


Figura 3.32. Ventana de georreferenciación de la imagen del embalse.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

6.- Ubicación de los cuatro puntos de referencia. Para colocar las coordenadas de cada punto de control terrestre dirija su cursor a la marca que representa el P₁, haga clic derecho y seleccione añadir GCP, seguido a ello aparece una ventana donde usted debe escribir las coordenadas de latitud y longitud de su punto separando los grados, minutos y segundos mediante espacio, utilizando punto para los decimales y acompañando con la letra vocal en mayúscula E (este), W (oeste), N(norte) y S(sur) según corresponda, una vez ingresados los datos haga clic en aceptar.

7.- Realice el mismo procedimiento para los demás puntos. Cabe recalcar que usted puede tener más de cuatro puntos para georreferenciar la imagen si lo desea.

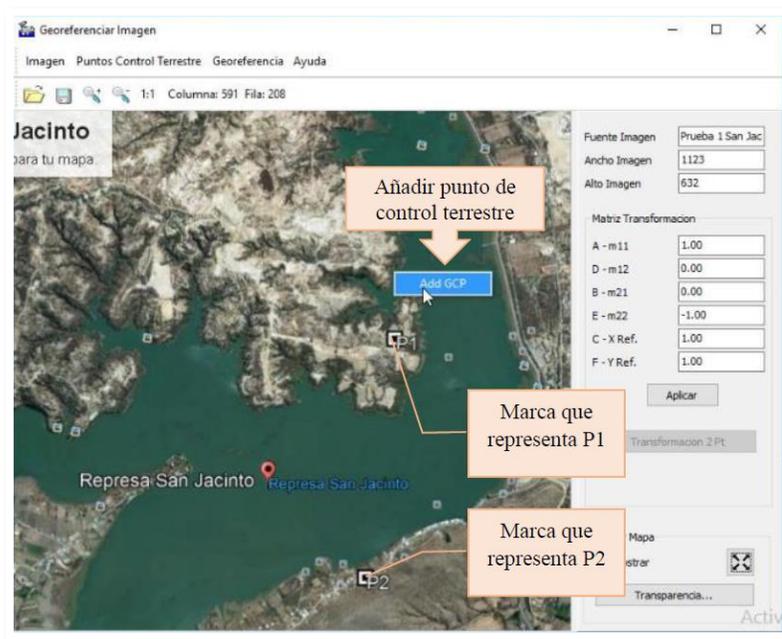


Figura 3.33. Adición de puntos de control terrestre para georreferenciar.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

8.- A continuación, haga clic en Transformación 2Pt y luego en Aplicar.

9.- Guarde los cambios realizados, el archivo que se guarda es denominado archivo de fondo ya que le sirve como fondo de imagen de su embalse para trazar las líneas de sondeo a realizar.

10.- Una vez guardados los cambios se puede notar en la pantalla principal de Hypack la imagen de su embalse. Caso contrario diríjase a los Ítems de proyecto y habilite el archivo de fondo que acaba de guardar y finalmente seleccione Extensión zoom para que la imagen del embalse quede enfocada en la pantalla de trabajo.

Paso N° 4: Trazado de las líneas de seguridad sobre la imagen del embalse.

Se trazan las líneas de seguridad utilizando uno de los editores llamado editor de borde, sirve para delimitar en la imagen hasta donde se desea que se acerque la embarcación al navegar, esto principalmente procurando evitar cualquier daño que pueda sufrir el barco al acercarse a la orilla.

1.- Para ello diríjase al ícono de los editores y seleccione editor de borde tal como se muestra en la siguiente figura.

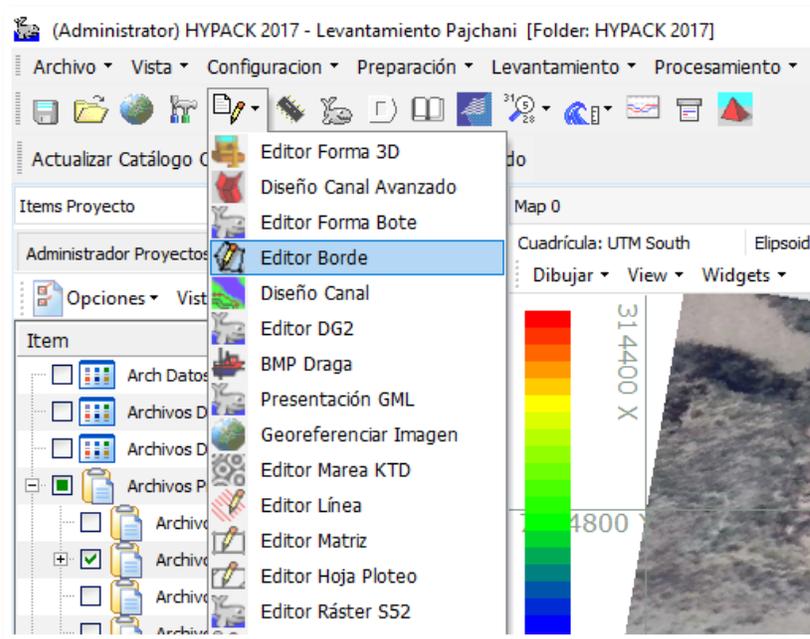


Figura 3.34. Selección de editor de borde.

Fuente: Elaboración propia.

2.- Una vez dentro del editor de borde haga clic en el cursor para comenzar a dibujar el borde de su embalse.

3.- Para dibujar el borde inicie con un clic derecho en el punto inicial y siga marcando los puntos siguientes de la misma manera. Debe generar un borde cerrado del sitio de trabajo. Es importante recalcar que el borde a trazar no debe estar exactamente sobre el terreno, sino dentro del espejo de agua cercano a la superficie dejando una distancia aproximada de 2 m. al menos, esto debido a la seguridad del barco durante la navegación al acercarse a la orilla.



Figura 3.35. Ejemplo de dibujo de borde.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

4.- Una vez que graficó el borde donde realiza el levantamiento guárdelo dirigiéndose nuevamente a editor de borde en la pestaña de acceso que se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla y seleccione Archivo y Salvar como.

Paso N° 5: Trazado de líneas de sondeo sobre la imagen del embalse.

Para este proceso se sugiere lo siguiente según la forma del embalse y el alcance de los equipos.

1.- La primera recomendada, según la forma de su embalse, es la de líneas planeadas, ésta se realiza en la misma ventana de editor de borde. En ella se selecciona la pestaña líneas planeadas y se escoge el archivo de borde que creó anteriormente.

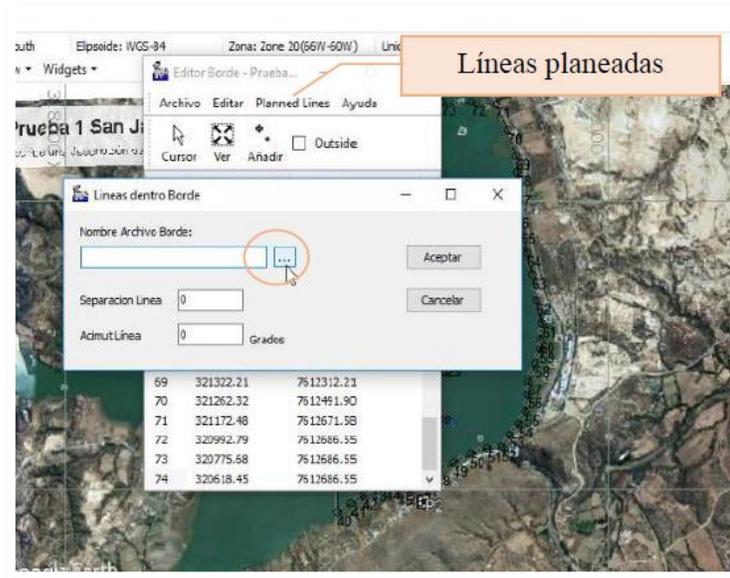


Figura 3.36. Dibujo de líneas planeadas en la ventana de editor de borde.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

2.- Selección del borde donde se desea dibujar las líneas planeadas que fue creado anteriormente.

3.- Una vez cargado el archivo de borde, indique la separación entre las líneas y el azimut, si desea que las líneas sean verticales mantenga ese dato en cero o si desea que sean horizontales en 90° . Seguido a ello seleccione aceptar.

4.- Al aceptar se observa que las líneas se han formado en el área dentro del borde que trazó, guarde el archivo como una opción para realizar el levantamiento.

Para poder realizar otro trazado de líneas diríjase a los ítems de proyecto y desactive el archivo de líneas planeadas que creó anteriormente, de esa forma la imagen volverá a estar lista para generar otro tipo de líneas.

5.- Una vez que desactivó las líneas hechas anteriormente se propone otra forma de trazado de líneas de sondeo (principales y de control) para embalses que tengan zonas

con curvaturas como es el caso del embalse La Hondura que tiene curvatura al final.

6.- Ingrese a editores y seleccione editor de línea. Una vez que ingrese al editor de línea haga clic en la imagen del cursor para trazar una línea central respecto de las cuales se crearán las líneas de sondeo.

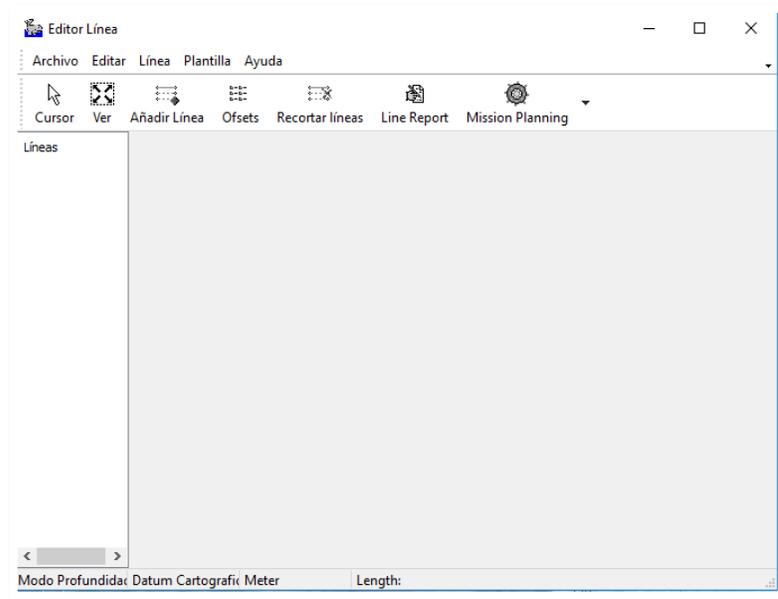


Figura 3.37. Ventana de Editor de Línea.

Fuente: Elaboración propia.

Inicie la línea central haciendo clic derecho y continúe de la misma forma procurando no hacer quiebres muy bruscos a lo largo.

Ingrese nuevamente al editor, note que aparecen los puntos correspondientes a la línea principal que trazó, puede borrar, o añadir puntos con las opciones de la parte inferior.

Una vez que hizo los cambios correspondientes, seleccione la pestaña de Compensaciones para comenzar con el trazado de las líneas de sondeo.

7.- Dentro de la pestaña Compensaciones seleccione Línea central, en inicio de encadenamiento deje el valor que viene por defecto de manera que el encadenamiento se forma desde donde inició el dibujo de su línea central, ingrese todos los datos requeridos y acepte los valores seleccionados.

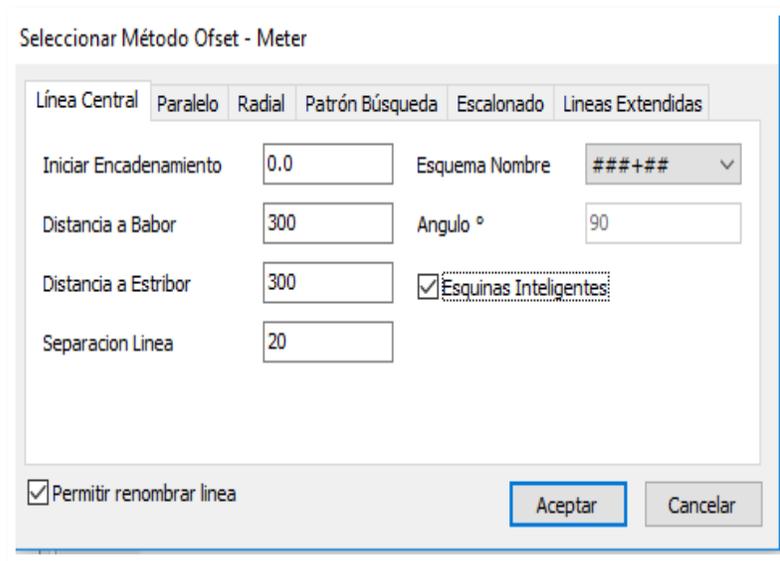


Figura 3.38. Datos ingresados para dibujar líneas en función de línea central.

Fuente: Elaboración propia.

8.- Una vez que aceptó los valores seleccionados vuelva a la ventana de editor de línea, para observar cómo quedó su trabajo seleccione la opción ver, si la zona de trabajo está completamente cubierta se procede al recorte de líneas que están fuera del borde creado anteriormente.

9.- Para realizar el recorte, una vez que volvió al editor de borde seleccione Recortes y busque el archivo de borde del proyecto que creó con anterioridad, selecciónelo y acepte los cambios realizados.

10.- Posteriormente, podrá ver la imagen de las líneas recortadas a partir del borde que realizó. Estas líneas son llamadas líneas principales o de sondeo.

11.- Aparte de las líneas de sondeo se recomienda trazar líneas paralelas a la línea central que servirán como líneas de control a lo largo del levantamiento.

Para ello continúe con el trabajo en editor de línea. Ingrese nuevamente a Compensación y seleccione Líneas paralelas. Se sugiere que las líneas paralelas sean una a cada lado de línea central.

Figura 3.39. Datos de ingreso para la creación de líneas paralelas.

Fuente: Elaboración propia.

12.- Si ha quedado conforme con su trabajo, guarde el archivo ingresando al editor de línea, archivo, salvar como, con ello ya tiene las líneas de sondeo para el levantamiento.

Paso N° 6: Estudio e inspección preliminar del lugar.

La inspección se la realiza con el fin de examinar en campo lo proyectado en los mapas y ver la accesibilidad a la zona para no tener contratiempos cuando se esté transportado al equipo y personal competente, a la zona de estudio.

Paso N° 7: Gestión de insumos para llevar a cabo el estudio.

La gestión de los insumos se la efectúa con el fin de contar con todo el material, equipo y personal necesario para llevar a cabo el estudio, entre los cuales podemos mencionar:

- Transporte del equipo Batimétrico (Q-Boat) al sitio del estudio.
- Transporte del material complementario al equipo batimétrico a utilizar (computador, control remoto, baterías, etc.).
- Transporte de las herramientas secundarias para realizar un levantamiento batimétrico (mesa, sillas, toldo, etc.).
- Transporte del personal competente.

Paso N° 8: Ingreso a la zona de estudio para realizar el levantamiento batimétrico.

Una vez ingresados a la zona de estudio, se sitúa las herramientas en un lugar donde se

pueda observar toda la superficie acuática y donde haya suficiente espacio para realizar la preparación del equipo.

3.2.2.2. Proceso: Recolección de datos.

Paso N° 1: Conexiones previas para la preparación del equipo.

Para poder realizar la prueba de conexión entre los dispositivos y el Software Hypack, es necesario tener al Z-Boat encendido y los dispositivos en funcionamiento, para ello se realiza conexiones previas a este punto. Es decir, conexión de baterías a la radio Rocket M5, al motor del bote y dispositivos, y la disponibilidad del software Hypack con licencia de uso, además de la instalación del software complementario Odom eChart para la visualización de los datos recibidos de la ecosonda de doble frecuencia y a la vez las posiciones que proporciona el GPS Vector V320 de cada punto , además de verificar la conectividad Ethernet de la radio Rocket M5 en la interfaz de configuración de airOS para la recepción de datos proporcionados por los sensores y transmitirlos a Hypack.

El detalle de las conexiones realizadas para el correcto funcionamiento del Z-Boat están descritos en el trabajo de investigación de “Propuesta metodológica para levantamiento batimétrico con Hypack en embalses”, elaborado por Lorena Alissa Bernardeth Flores Ríos.

Paso N° 2: Conexión de los dispositivos al Software.

Para realizar la conexión de los dispositivos al software se debe seguir el siguiente procedimiento:

1.- Ingrese al ícono de configuraciones.

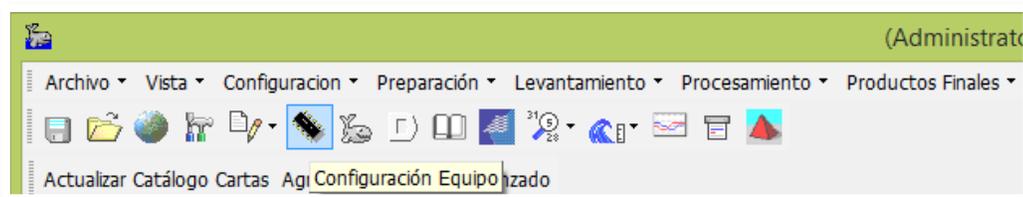


Figura 3.40. Ícono de configuración de equipos.

Fuente: Elaboración propia.

2.- Ingrese a la ventana equipos de levantamiento y añada los drivers de los sensores que usted posea, en este caso debe añadir los sensores de GPS NMEA-0183 y Teledyne Odom CV Series.

3.- Ingrese a la pestaña forma de bote, existen varios dibujos de botes que están establecidos dentro del programa como opción, pero usted puede dibujar la forma de su bote en editor de forma del bote.

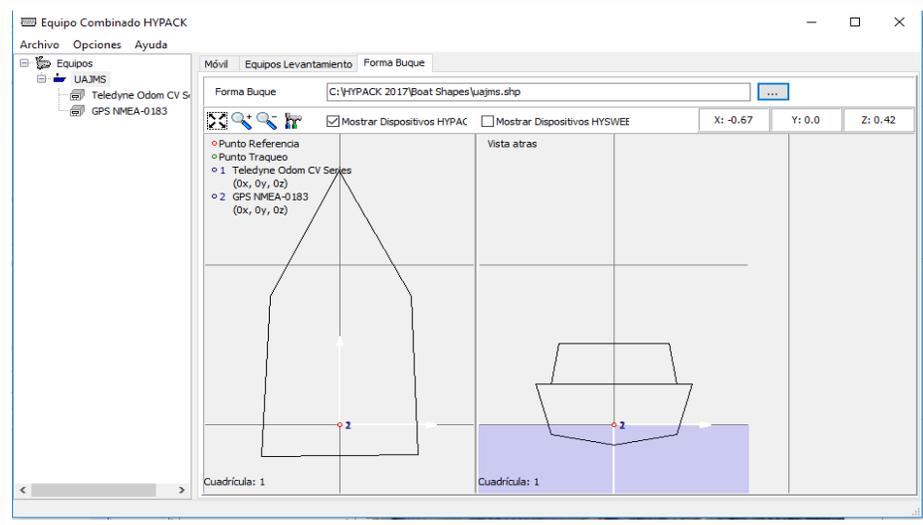


Figura 3.41. Dibujo de la embarcación con dimensiones reales.

Fuente: Elaboración propia.

4.- Seleccione el controlador del GPS Hemisphere V320 y escoja Configurar. Tome en cuenta que debe seleccionar las funciones de su dispositivo en la parte inferior. No debe tener actividades que el dispositivo no realice ya que existen varias funciones que pueden realizar, pero esto es innecesario.

En la Pestaña avanzado escoja los mensajes VTG, HDT y GGA para la emisión y recepción de información del GPS y seleccione CV3(Odom) indicando que la ecosonda es la que transmita los datos recepcionados del GPS a la antena para la posterior emisión al computador.

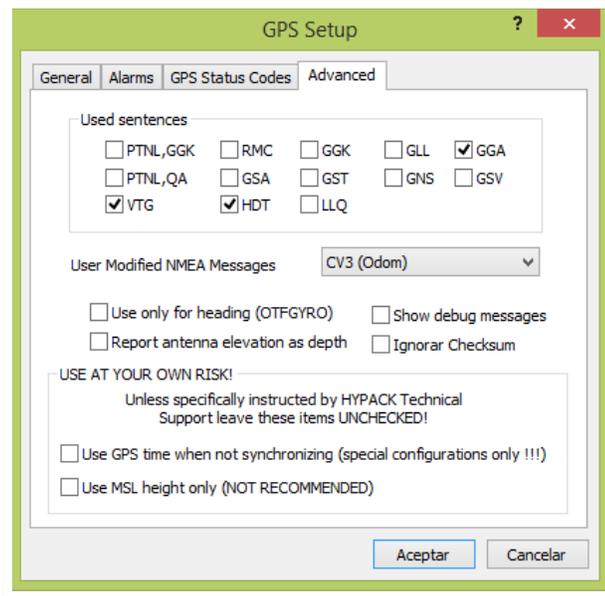


Figura 3.42. Mensajes que enviará el GPS al controlador de la ecosonda.
Fuente: Elaboración propia.

5.- Una vez que aceptó, la configuración seleccione Conexión de levantamiento, el tipo de conexión es Red, protocolo UDP, ejecútelo como servidor y con el puerto 1600. Una vez que aceptó las configuraciones prosiga con la configuración de la ecosonda.

6.- Para la configuración de la ecosonda seleccione el sensor y escoja configurar. La configuración consiste en activar los canales 1 y 2 de Odom para recibir los datos de baja y alta frecuencia que registra el software eChart. Seguido a ello seleccione OK.

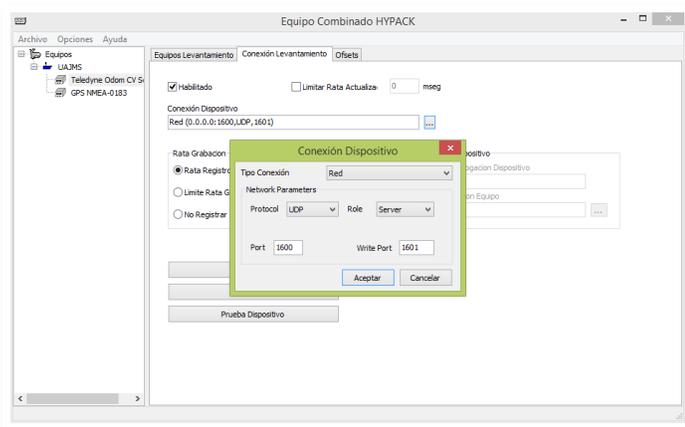


Figura 3.43. Configuración para la conexión de la ecosonda.
Fuente: Elaboración propia.

La conexión de levantamiento para la ecosonda tipo es Red, protocolo UDP, ejecútelo como servidor y con el puerto 1600 y 1601.

7.- Una vez que ha configurado los dispositivos para que tengan conexión con el computador a partir de las antenas se puede notar que al ingresar al Odom eChart las ventanas de los canales de la ecosonda y la ventana de posición del GPS están brindando ya información a pesar de que el bote no se encuentre en movimiento.



Figura 3.44. Configuración para la conexión de la ecosonda.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

8.- Al finalizar la verificación de la conexión puede iniciar con el levantamiento de datos.

Paso N° 3: Levantamiento de datos poniendo a andar el bote sobre las líneas de sondeo dibujadas.

1.- Para realizar el levantamiento puede ordenar las ventanas que utiliza. El Software Hypack tiene múltiples ventanas y usted escoge las que desea ver, de forma principal se recomienda tener a mano las siguientes ventanas:

- La ventana grafica de levantamiento: Esta es una vista en planta de su área de proyecto. Muestra cualquier archivo de proyecto habilitado junto con la posición de las embarcaciones y sus líneas de traqueo.
- Indicador izquierda y derecha: Muestra la posición del bote relativa al segmento de línea planeada actual.

Para contraer la escala; Haga clic en ‘Contraer’ en la barra de menú o use Ctrl-C (Contraer) desde el teclado.

Para expandir la escala; Haga clic en ‘Expandir’ en la barra menú o use Ctrl-V (Expandir) desde el teclado.

- Presentación de datos de levantamiento: Muestra en tiempo real, información textual con respecto a su trabajo.
- Perfil: Muestra el perfil de sección transversal e información de fuera de línea para toda la línea planeada.
- Ventana equipos de levantamiento: Cada equipo que ha seleccionado en el programa generará su propia ventana. El driver del equipo, controla el contenido de cada ventana.

2.- Puede definir el valor inicial de corrección de marea al hacer clic en el ítem del menú Marea-Definir. Este valor es asignado a todos los sondajes grabados hasta que se establezca un nuevo valor. Actualice este valor a menudo, especialmente si el nivel de la marea cambia rápidamente.

En este proyecto no se considera marea ya que es un embalse pequeño y la variación de nivel del agua producida por marea es prácticamente nula.

3.- Para Iniciar registro o grabación. Cuando comienza a grabar datos al comienzo de cada línea planeada (inicio línea), el programa abre un archivo de datos y comienza a grabar datos.

Figura 3.45. Parámetros de navegación para automatizar grabado de línea.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

El estado en la ventana de Presentación de Datos cambia a “Grabando” (Logging). Esta es su indicación de que ha iniciado la línea y que el programa Survey está grabando datos.

El diálogo Parámetros de Navegación en el levantamiento provee opciones para ayudarle a automatizar la navegación de líneas y la grabación de datos.

4.- Si la Puerta de Inicio de Línea > 0 , el programa inicia la línea automáticamente cuando la distancia desde el punto de traqueo al punto de inicio de la línea planeada sea menor que el valor absoluto de la Puerta de Inicio de Línea. Esta “área de disparo” es mostrada como un círculo al comienzo de la línea planeada.

5.- Para saber la distancia de Aproximación a la Línea, en los parámetros de navegación dibuja una extensión punteada desde la línea planeada para la distancia definida por el usuario. La aproximación de línea es un guía visual para que su timonel alinee su bote con la línea antes de que alcance el inicio de la misma.

6.- Para suspender grabación, en cualquier momento, mientras esté “En-Línea”, seleccione Registrar-Suspender Registro (Ctrl+U). El estatus en la ventana de Presentación de Datos muestra la palabra “Suspended”. Esto es útil si el bote de levantamiento necesita parar por tráfico o algún evento ajeno.

7.- Para resumir grabación, seleccione Registrar-Reasumir Registro (Ctrl+R).

8.- Para finalizar grabación, manualmente seleccione Registrar-Fin Registro (Ctrl+E). Automáticamente si está usando la Puerta de Inicio de Línea. La línea es finalizada automáticamente cuando el punto de traqueo corte una línea proyectada perpendicularmente desde el punto final del segmento de la línea planeada.

3.2.2.3. Post – Proceso: Procesamiento de datos.

Paso N° 1: Edición de datos mediante Editor Monohaz de Hypack.

Luego de haber realizado el levantamiento usted puede editarlos mediante el Editor Monohaz de Hypack. Tome en cuenta que de momento los únicos datos que posee son datos brutos. Para ejemplificar el proceso de edición se trabajó con cinco líneas

levantadas. Este mismo procedimiento se debe realizar con todas las líneas levantadas a lo largo del embalse.

Por cada línea de datos se genera un archivo y para ayudar a identificarlo Hypack asigna en el nombre, por ejemplo 012 1113.RAW, el número de la línea, hora y extensión de dato bruto, en el caso de tener que hacer una línea más de una vez el programa va a llenar con una letra luego del número de línea de manera que no hay la posibilidad de que el nombre se repita. Para comenzar con la edición siga los siguientes pasos:

1.- Ingrese a Ítems de proyecto y active Archivos Brutos.

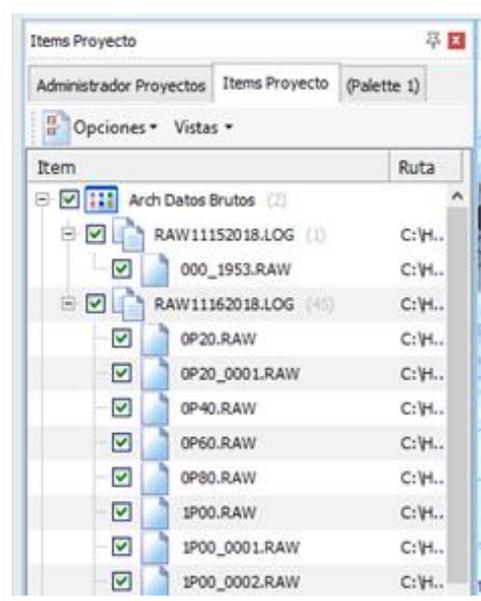


Figura 3.46. Activación de Archivos Brutos.

Fuente: Elaboración propia.

Se puede notar dos tipos de archivos, uno de formato LOG que es el que incluye todas las líneas de levantamiento y archivos de formato RAW correspondientes a cada línea de traqueo realizada.

Si desea también puede editar el archivo LOG, haga clic derecho y seleccione editar. En la edición procure quitar las líneas con las que se haya tenido grandes problemas al realizar el sondeo.

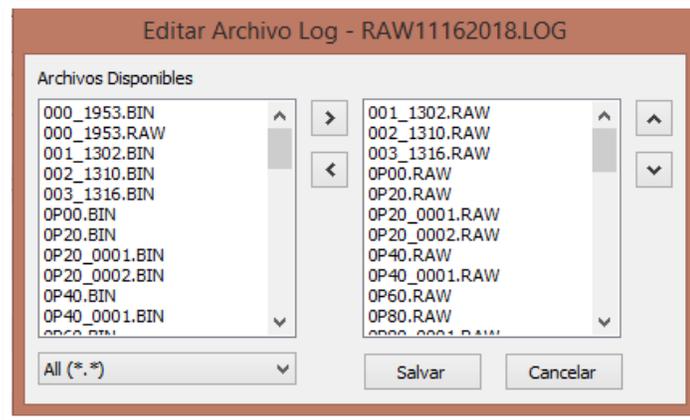


Figura 3.47. Selección de archivos RAW para editarlos.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de haber hecho la edición o estar conforme con todos los archivos que conforman el archivo LOG, está listo para comenzar con la edición.

2.- Ingrese al Editor Monohaz, para ello seleccione la opción Procedimientos y haga clic en Editor Monohaz como se ve en la siguiente figura. Note que al ingresar al Editor Monohaz aparece en su pantalla varias ventanas. Recorriendo la pantalla de izquierda a derecha se encuentra la ventana principal, la hoja de cálculo, ventana de levantamiento y ventana de perfil.

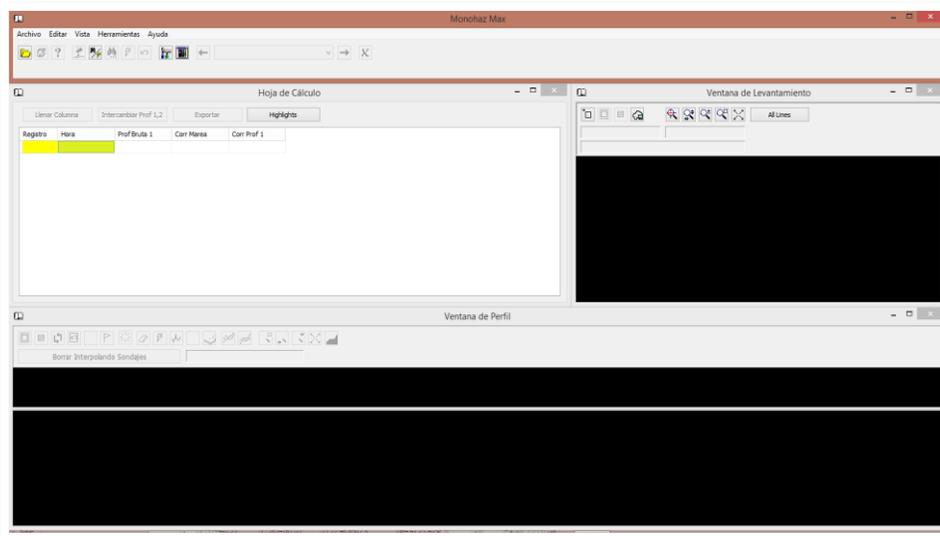


Figura 3.48. Ventana principal del Editor Monohaz.

Fuente: Elaboración propia.

3.- Abra el archivo Log a editar, para ingresar sus datos de levantamiento diríjase a la ventana principal y abra su archivo. El archivo que debe abrir se encuentra en la carpeta de Proyectos de Hypack, ingrese al nombre de su proyecto y seleccione la carpeta de nombre Raw la cual corresponde a los datos brutos levantados del proyecto seleccionado. Seleccione el archivo Log que desea editar.

Recuerde que los archivos Log son archivos que agrupan la información de todas las líneas traqueadas.

4.- Una vez que abrió el archivo Raw que necesita, usted puede seleccionar todos los archivos brutos al hacer clic en Seleccionar todos o seleccionar solamente los de su conveniencia haciendo clic derecho + Ctrl para seleccionar más de una línea, seguido a ello haga clic en Seleccionar.

5.- Revise los Parámetros de lectura. Una vez que ingresó las correcciones tanto de marea (si hubiera sido necesario) como de velocidad aparece una nueva ventana llamada Parámetros de lectura. Note que en la pestaña Selecciones, es importante que los dispositivos con los que se cuenta estén seleccionados de la siguiente manera y que la opción conversión de profundidad este desactivada.

6.- En la pestaña de Compensación asegúrese de que la posición de los dispositivos respecto del centro del bote esté correctamente colocada. Vea a continuación las posiciones del GPS y ecosonda en función del transductor.

7.- En la pestaña Pre reducción se recomienda que no sea activada ya que se descartarían datos que aún no ha revisado.

8.- En la pestaña Pre filtros de igual manera se recomienda no activarlos antes de ver sus datos.

9.- Finalmente, en la pestaña Avanzado tenga el cuidado de activar la profundidad por debajo del transductor y que el sensor de movimiento permita aplicar la corrección de oleaje, balanceo y cabeceo. Una vez finalizado el ingreso de parámetros haga clic en aceptar.

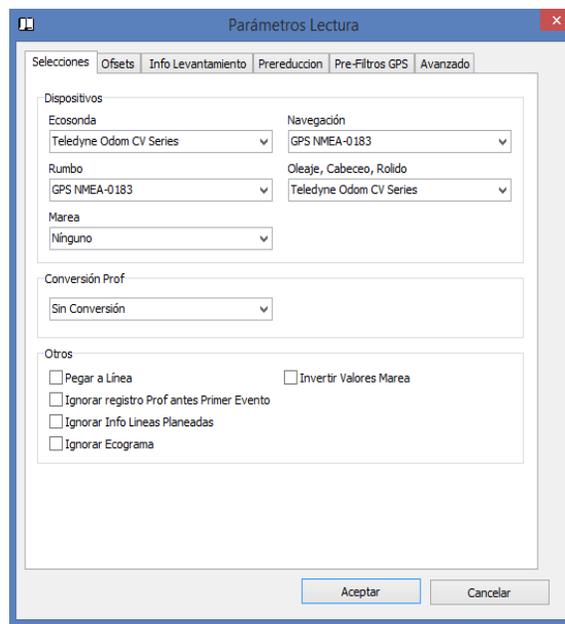


Figura 3.49. Parámetros de lectura.

Fuente: Elaboración propia.

10.- Edición de perfiles para la eliminación de datos dispersos. Una vez que se realizaron las selecciones anteriores haga clic en aceptar y observe la siguiente ventana de progreso mientras se cargan las líneas para ser editadas.

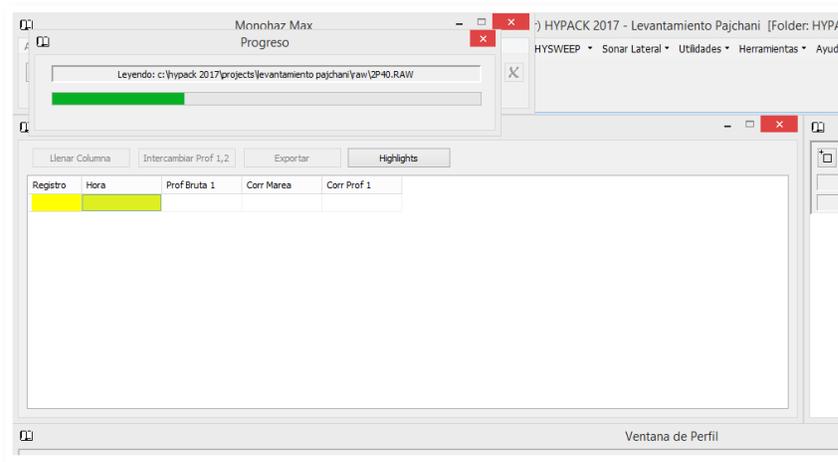


Figura 3.50. Ventana principal de Editor Monohaz con datos brutos cargados.

Fuente: Elaboración propia.

11.- Edite la vista en planta de las líneas en la Ventana de levantamiento. La Ventana de levantamiento permite la edición de las líneas vistas en planta, la edición en planta

es útil cuando las líneas presentan curvaturas ligeras, se aplica esta edición para que se asemejen a la línea dibujada. Para ello encuadre la sección curva y luego seleccione la opción borrar dentro del cuadro.

12.- Edite en ventana de levantamiento. Puede notar que la línea se torna recta, se recomienda hacer este procedimiento en curvaturas muy notorias como cuando se sobreponen líneas ya que eso afectaría en gran medida a la vista del perfil.

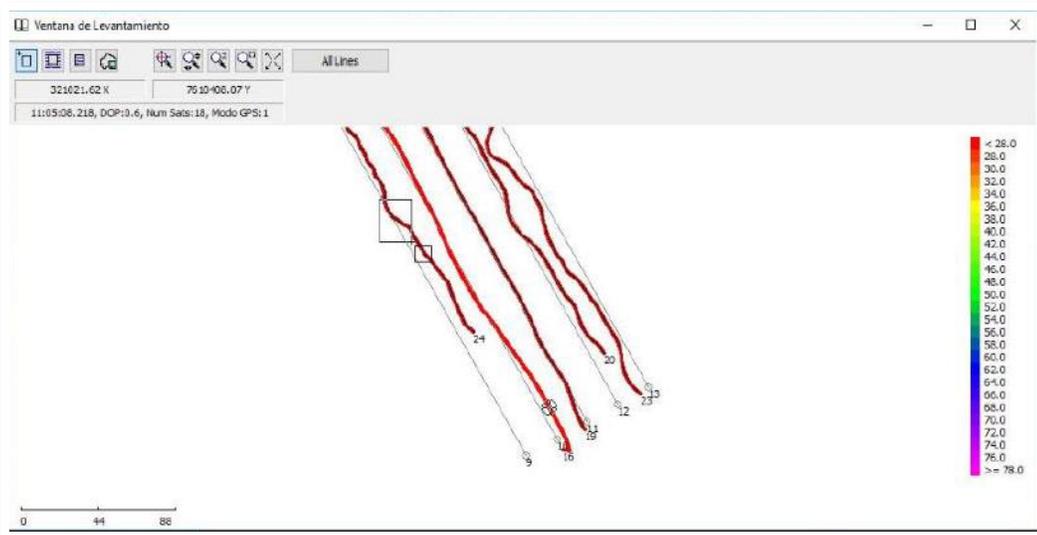


Figura 3.51. Edición en ventana de levantamiento.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

13.- Edite los picos en la Ventana Perfil. En el perfil de una línea existen picos que notablemente no corresponden a la superficie subacuática. Identifique cual vista es más favorable para usted en la edición, para ello haga clic derecho en la ventana y seleccione opciones de vista pudiendo escoger profundidad vs. tiempo o profundidad vs. distancia. Puede activar la ventana Ecograma y revisar cual es el perfil que presenta la línea mediante alta y baja frecuencia.

14.- Para eliminar los picos, el primer elemento que se tiene es el borrador. Debe colocarlo encima del pico que desea eliminar y haga clic derecho, a continuación, note el cambio en el perfil. Mediante la elección de estilos de perfil puede obtener diferentes presentaciones del perfil de la línea sea sólo puntos o también relleno, utilice el que le sea de agrado para comenzar con la edición.

6.- Para eliminar los picos de cada línea se recomienda utilizar el comando borrar sobre línea. Para ello selecciónelo y trace una línea a mano alzada sobre los picos existentes como se muestra a continuación, una vez que haya trazado la línea automáticamente se borran los picos elevados, en el caso de tener picos hacia abajo seleccione el comando borrar debajo de línea.

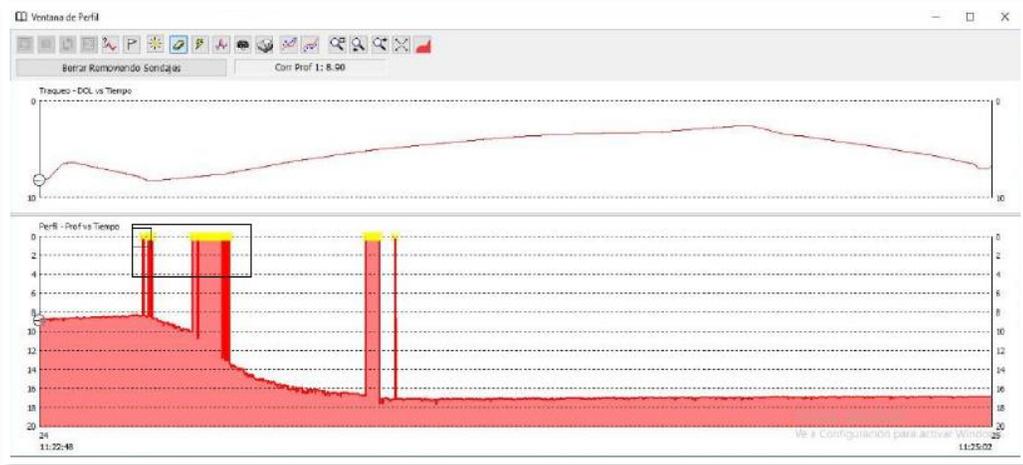


Figura 3.52. Aplicación del comando Borrar sobre línea en los picos del perfil.

Fuente: Metodología para levantamiento batimétrico utilizando Hypack.

De esta manera se tiene el perfil editado. Si lo desea puede utilizar también el comando suavizar para borrar los pequeños picos que aún quedan en el perfil. Solo debe introducir el número de muestras que desea promediar, en este caso 20 muestras, seguido a ello acepte los cambios.

7.- Realice el mismo procedimiento para cada línea y tomando en cuenta que para un trabajo completo se contaría con varias líneas de traqueo. Entonces se recomienda utilizar un filtrado que le permita hacer la edición rápidamente.

8.- Guarde el trabajo. Para guardarlo diríjase a archivo y seleccione Salvar todo y dele un nombre a su trabajo de edición, esta información queda guardada en formato All. Seguido a ello vuelva a Archivo y seleccione Salvar a xyz y guarde nuevamente. La utilidad de tener estos dos formatos del mismo trabajo se basa en el formato que requieren los archivos para generar productos finales.

Paso N° 2: Reducción de datos editados.

1.- Reduzca los datos para poder iniciar con ellos datos finales en formato xyz. Para ello ingrese a Reducción de Sondajes y seleccione Reducción.

Al ingresar a reducción note la siguiente ventana, en ella se selecciona el radio de separación de puntos requerido, una reducción sin prioridad y se le da un nombre al archivo de salida, el cual tendrá formato xyz. Cuando seleccione la opción Reducción podrá notar que en la ventana se da informe de la cantidad de datos iniciales y puntos guardados luego de la reducción.

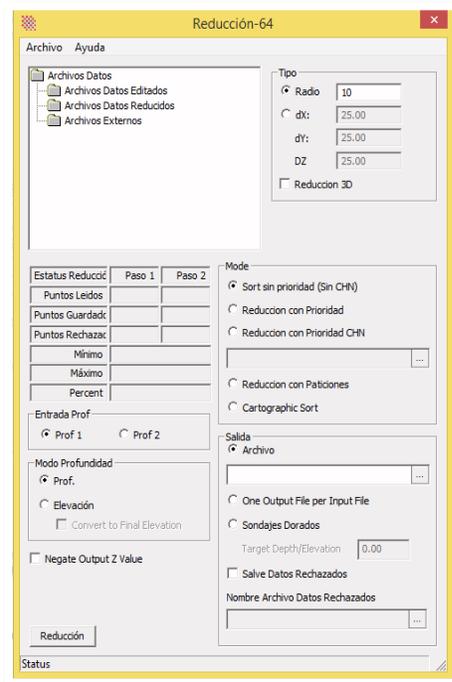


Figura 3.53. Ventana de reducción de datos editados.

Fuente: Elaboración propia.

2.- Cuando cierre esta ventana note las líneas traqueadas ya con la reducción. Si no puede verlos en la pantalla actívelos en Ítems del proyecto.

Paso N° 3: Exportación de datos de nivel del embalse.

Para la exportación de datos se lo realiza directamente, ya que al reducir los datos editados y al ser guardados en formato xyz que se explicó anteriormente, el Hypack

guarda las coordenadas y las profundidades que pueden ser abiertos mediante Bloc de notas.

Estos puntos son exportados a una planilla de Excel donde se realizan los cálculos necesarios para crear la superficie subacuática en Civil 3D.

Paso N° 4: Planos de la superficie subacuática mediante Civil 3D.

Para el ingreso de puntos al Civil 3D, se realiza la determinación de los puntos de la superficie subacuática, realizando la diferencia de la cota del nivel del agua y la profundidad obtenida en cada punto.

Se genera la superficie y se obtiene el área y el volumen a cada cota de elevación, también se generan cortes transversales para conocer en algunas secciones la forma del lecho del embalse y poder comparar con la superficie obtenida con el otro equipo Q-Boat.

Paso N° 5: Interpretación de datos, comparación con superficie de referencia del sitio.

Se cuenta con un plano de referencia de la represa “La Hondura” del año 2009, el cual se utiliza para comparar con el plano de la superficie actual y determinar el volumen de sedimento en relación al volumen de sedimento de ese año.

Paso N° 6: Determinación del volumen de almacenamiento y volumen de sedimentación.

Se obtiene el volumen de almacenamiento del embalse “La Hondura” y su volumen de sedimentación con respecto al estudio del año 2009 con su respectiva tasa de sedimentación hasta la actualidad.

CAPÍTULO IV

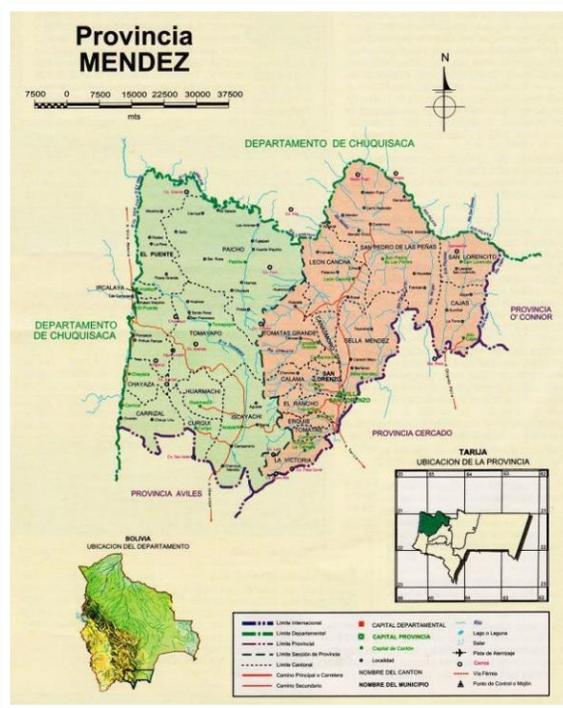
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Descripción del sitio de investigación

4.1.1. Ubicación

La aplicación práctica de este estudio se realizó en la presa “La Hondura”, la cual se encuentra ubicada en el departamento de Tarija, Provincia Méndez, Municipio de San Lorenzo, Distrito de Choroma y en la comunidad de Pajchani.

El departamento de Tarija está ubicado al sur de Bolivia, situada entre los paralelos 20° 53' 00'' y 22° 52' 30'' de Latitud Sud y entre los meridianos 65° 25' 48'' y 62° 15' 34'' de Longitud Oeste. La provincia Méndez se sitúa al Noreste del departamento de Tarija, entre los paralelos 20°56' y 21°36' de latitud sud y los 64°05' y 65°13' de longitud oeste. El municipio de San Lorenzo corresponde a la primera sección de la provincia Méndez.



Mapa 4.1. Provincia Méndez

Fuente: Educa.

Tabla 4.1. Ubicación de la presa “La Hondura”.

Ubicación de la presa	Departamento:	Tarija
	Provincia:	Méndez
	Municipio:	San Lorenzo
	Río en el que se encuentra la presa:	Pajchani
	Población cercana:	Tarija Cancha Norte
	Hoja de la Carta IGM:	6629 I (San Lorenzo)
Coordenadas Geográficas	Latitud Sur:	21°22'54,18"
	Longitud Oeste:	64°47'7,42"
Coordenadas UTM	Este:	314899,74 m.
	Norte:	7634554,21 m.

Fuente: Análisis de funcionalidad y riesgo Presa La Hondura.

Accesos



Mapa 4.2. Mapa de accesos a la presa La Hondura.

Fuente: Análisis de funcionalidad y riesgo Presa La Hondura.

Las vías de acceso a la presa La Hondura desde la ciudad de Tarija, en los primeros 22 km se encuentra en la ruta principal asfaltada hacia al Norte (variante Falda de la Queñua), y luego un desvío de 3.4 km de camino ripiado hasta el mismo cierre.

4.1.2. Antecedentes de la presa

La presa “La Hondura” fue construida por el PERTT (Programa Ejecutivo de Rehabilitación de Tierras Tarija) por la modalidad de administración directa, la construcción dio inicio el 1 de septiembre de 2006 y concluyó el 15 de diciembre de 2008.

Las características de la presa descritas a continuación se adquirieron del estudio “Análisis de funcionalidad y riego Presa Pajchani” realizado el año 2009, ejecutado por el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), con el apoyo del Programa de Desarrollo Agropecuario Sustentable de la Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ/PROAGRO).

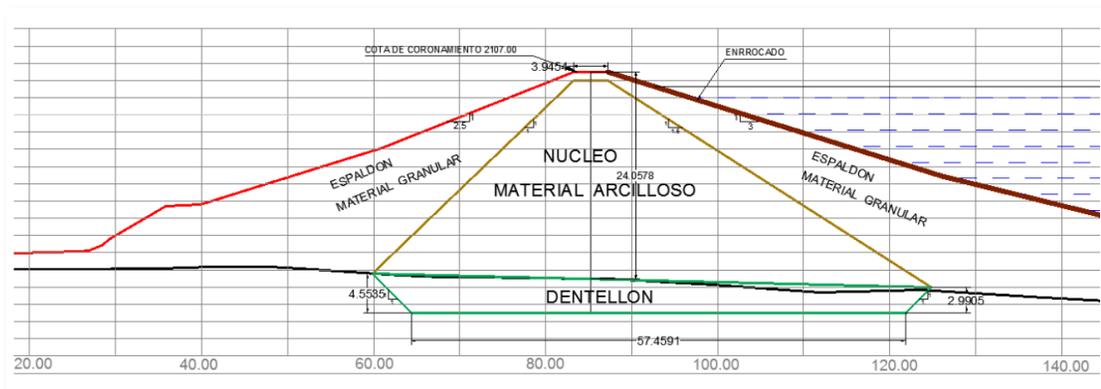


Figura 4.1. Geometría del cuerpo de la presa “La Hondura”.

Fuente: Análisis de funcionalidad y riesgo Presa La Hondura.

La presa Pajchani está construida con materiales sueltos y es del tipo zonificada, el cuerpo de la presa está constituido por un núcleo central de material arcilloso con taludes de inclinación diferenciados, el talud del núcleo aguas arriba es 1V:1,5H, y el talud aguas abajo 1V:1H.

El espaldón aguas arriba está constituido por material granular protegido por un rip rap de espesor promedio de 0,35 m, tiene una inclinación de 1V:3H; el espaldón abajo también es de material granular y el talud tiene una inclinación de 1V:2,5H.

Los niveles característicos de la presa son los siguientes:

Tabla 4.2. Niveles característicos de la presa “La Hondura”.

Niveles Característicos		
Coronamiento	2106,90 m.s.n.m.	25,70 m (desde nivel de fundación) 23,70 m (desde lecho del río)
Nivel de Aguas Normales (NAN)	2106,30 m.s.n.m.	23,10 m
Nivel de Aguas Mínimas (NAMin)	2088,00 m.s.n.m.	4,80 m
Nivel de Aguas Muertas (NAMuer)	2088,00 m.s.n.m.	4,80 m

Fuente: Análisis de funcionalidad y riesgo Presa La Hondura.

El vaso de almacenamiento presenta las condiciones básicas de estanqueidad, la calidad de las aguas embalsadas es buena, sin presencia de sedimentos en suspensión.

Sin embargo, debido a que la explotación de la presa es reducida por falta de una adecuada obra de toma el nivel del agua de la presa llega hasta un máximo de 6 metros por debajo del coronamiento manteniéndose la mayor parte del año llena, el agua no se renueva lo que afecta directamente a la calidad de este recurso.

Tabla 4.3. Volúmenes característicos del embalse “La Hondura”.

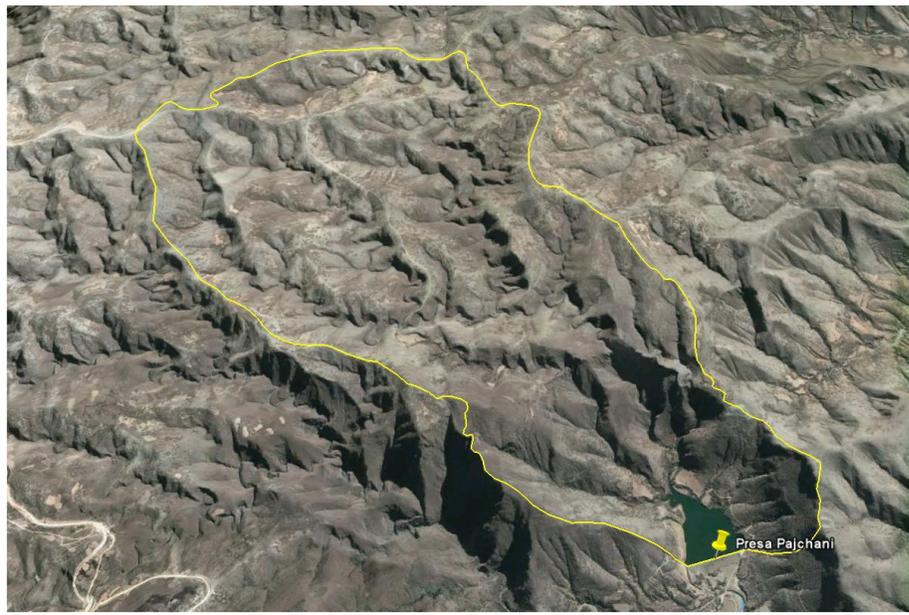
Volúmenes Característicos	
Volumen Total de Almacenamiento	1,19 hm ³
Volumen Útil	1,15 hm ³
Volumen Muerto	No se conoce

Fuente: Análisis de funcionalidad y riesgo Presa La Hondura.



Fotografía 4.2. Embalse “La Honduras”.

El análisis de las características morfométricas y funcionales de una cuenca hidrográfica a través de parámetros de forma, relieve y red de drenaje, es básico en la modelación hidrológica para determinar el movimiento y captación del agua de lluvia. (MMAyA y VRHR, 2016, pág. 22)



Mapa 4.3. Vista satelital de la presa La Honduras y la cuenca de aporte.

Fuente: Análisis de funcionalidad y riesgo Presa La Honduras.

Tabla 4.4. Parámetros morfométricos de la cuenca Pajchani.

Parámetros morfométricos cuenca Pajchani			
	Descripción	Unidad	Valor
De la superficie	Área	Km ² .	7,93
	Perímetro de la cuenca	Km.	12,87
Pendiente	Pendiente promedio de la cuenca	grados	13,60
	Pendiente media (porcentaje)	%	25,09
Cotas	Cota máxima	m.s.n.m.	2687,00
	Cota mínima	m.s.n.m.	2085,00
Centroide (WGS 84 UTM Zona 20S)	X Centroide	m.	312899,35
	Y Centroide	m.	7635994,00
Altitud	Altitud media	m.s.n.m.	2470,47
De la red hídrica	Longitud del curso principal	Km.	6,18
	Pendiente promedio del río principal	grados	10,14
	Pendiente promedio del río principal	%	9,74
	Coefficiente de sinuosidad hidráulico	Adim.	1,44
Parámetros generados	Coefficiente de compacidad (Gravelius)	Adim.	1,65
	Relación circular	Adim.	0,37
	Tiempo de concentración Kirpich	Horas.	0,68
	Índice de forma (Horton)	Adim.	0,43
	Relación de elongación	Adim.	0,83

Fuente: Análisis de funcionalidad y riesgo Presa La Hondura.

4.2. Desarrollo del levantamiento batimétrico con Q-Boat ADCP

4.2.1. Pre – proceso: Planificación del levantamiento batimétrico

Para el levantamiento batimétrico con Q-Boat ADCP se inició con la obtención de mapas de referencia del embalse “La Hondura” para el conocimiento de la forma de la misma, para la visualización y el trazado de los recorridos a realizar y la ubicación de los puntos de la red geodésica que nos sirvieron de georreferenciación para enlazar con los puntos obtenidos de la batimetría.

También se realizaron visitas previas al lugar para conocer las vías de acceso y las dificultades que se podrían generar al ingresar a la presa.

A continuación, se muestra un mapa del embalse La Hondura donde se puede observar aproximadamente la forma, tamaño del embalse y sus vías de acceso.



Mapa 4.4. Embalse La Hondura.

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el trazado de las líneas de sondeo como una medida de preparación para el levantamiento para conocer los sitios por donde se planifica el desplazamiento del equipo durante el levantamiento.



Mapa 4.5. Trazado previo de líneas de sondeo
Fuente: Elaboración propia.



Mapa 4.6. Ubicación de puntos geodésicos.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5. Coordenadas UTM de puntos de control terrestre para georreferenciación del embalse “La Hondura”.

Id Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Presa
TJA	322245,70	7616059,41	1887,18	1850,55	36,63	La Hondura
P-1	315048,11	7634614,10	2141,99	2104,36	37,63	La Hondura
P-2	314813,72	7634840,78	2138,62	2101,04	37,65	La Hondura
P-3	314722,15	7634442,20	2145,60	2107,94	37,65	La Hondura
P-4	314654,60	7634818,88	2138,38	2100,71	37,67	La Hondura

Fuente: Determinación de cuatro redes geodésicas en las presas, Huacata, Calderas, La Hondura y el Molino, utilizando el método diferencial para el monitoreo de embalses en el departamento de Tarija”

Tabla 4.6. Coordenadas Geodésicas de puntos de control terrestre para georreferenciación del embalse “La Hondura”.

Id Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Presa
TJA	21° 32' 58,14" S	64° 42' 59,47" W	1887,18	1850,55	36,63	La Hondura
P-1	21° 22' 52,28" S	64° 47' 02,25" W	2141,99	2104,36	37,63	La Hondura
P-2	21° 22' 44,83" S	64° 47' 10,29" W	2138,69	2101,04	37,65	La Hondura
P-3	21° 22' 57,75" S	64° 47' 13,63" W	2145,60	2107,94	37,65	La Hondura
P-4	21° 22' 45,48" S	64° 47' 15,83" W	2138,38	2100,71	37,67	La Hondura

Fuente: Determinación de cuatro redes geodésicas en las presas, Huacata, Calderas, La Hondura y el Molino, utilizando el método diferencial para el monitoreo de embalses en el departamento de Tarija”.

4.2.2. Proceso: Recolección de datos.

Se realizó la instalación de los instrumentos en el sitio de trabajo y la conexión de las herramientas con el equipo, las cuales fueron; antenas, GPS y Baterías para realizar el enlace posterior del equipo con el computador mediante el módulo Bluetooth Parani SD 1000.



Fotografía 4.3. Ubicación y conexión del Q-Boat.

Una vez enlazados y conectados todos los instrumentos de Q-Boat se procedió con el ingreso del equipo en el embalse, aproximándolo al punto inicial que fue marcado en mapas anteriormente.

A continuación, se encendió el control remoto y se retiró el botón rojo de parada de emergencia para el encendido de las hélices, de esta manera se conduce el bote procurando desplazarse por las líneas de sondaje previamente dibujadas en el mapa realizado en Google Earth.

Una vez que se situó el equipo en el punto inicial, se empezó el pingeo en el software WinRiver II, haciendo clic en la pestaña Adquirir y posteriormente haciendo clic en Empezar pingeo.

Se comienza un nuevo transecto introduciendo la distancia inicial de banco de 2m., dependiendo de la distancia del bote a la orilla del embalse. Se realizó el recorrido hasta el punto final a una velocidad constante y se finalizó el transecto introduciendo nuevamente la distancia de banco final que fue de aproximadamente 2m.

Posteriormente se dirigió el bote a la siguiente línea de sondeo trazada y se realizó el mismo procedimiento hasta finalizar las mediciones.



Fotografía 4.4. Ingreso del Q-Boat en el embalse.



Fotografía 4.5. Conducción del Q-Boat a través del embalse.

Una vez iniciadas las mediciones se presentó el siguiente problema:

Al conducir el bote hacia el otro extremo, el ADCP perdía conexión con la computadora, pudiendo determinar que la distancia máxima de alcance de enlace del

radio Bluetooth de la computadora mediante el Software WinRiver II al ADCP era de 100m., por lo tanto, lográbamos obtener datos de profundidad medidos por el ADCP solamente hasta 100 m. de distancia de la computadora.

Cabe resaltar que el alcance de la conexión del ADCP con la computadora es diferente al alcance del control remoto y del GPS.

El GPS, para obtener las coordenadas de cada punto, lograba un mayor alcance hasta aproximadamente 250 m. pero al no tener datos de profundidad, estos datos adicionales no son utilizados para el levantamiento batimétrico.

Al observar este problema se vio la necesidad de contar con una lancha a motor para realizar el recorrido junto con el equipo y de esa forma no perder la conexión del ADCP con la computadora, sin embargo, el Laboratorio de Hidráulica e Hidrología no cuenta con una lancha para realizar este procedimiento, por lo tanto, se procedió a la medición de puntos en transectos de aproximadamente 100 m. caminando alrededor del embalse y con una separación de 20 m. logrando cubrir la mayor parte del área del embalse.

El desplazamiento aproximado que se realizó para la recolección de puntos se muestra a continuación:



Mapa 4.7. Desplazamiento en campo.

Fuente: Elaboración propia.

Los datos recolectados se guardan en carpetas cada vez que se inicia una nueva medición y en cada carpeta se encuentran los transectos realizados en formato PD0 y un archivo en formato MMT, el cual al ingresar en WinRiver II abre directamente todos los transectos medidos.

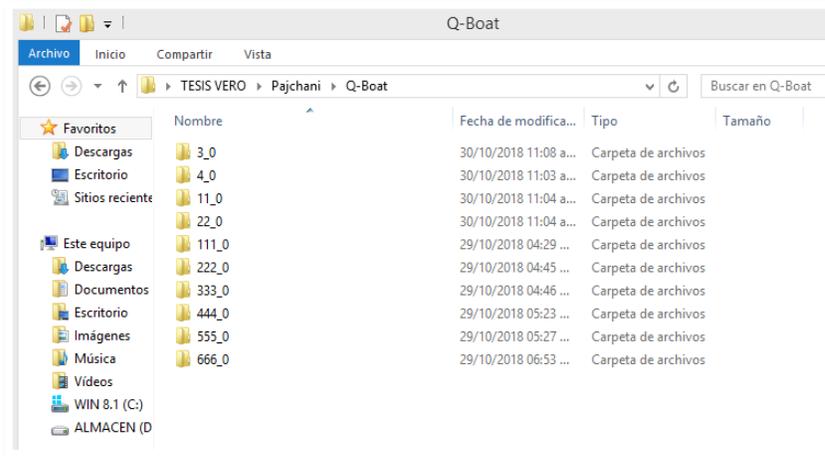


Figura 4.2. Datos recolectados con Q-Boat.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Post - Proceso: Procesamiento de datos

Para el post proceso de datos se continúa utilizando el software WinRiver II. A continuación, se describe el procesamiento de datos realizado:

- 1.- En el Software WinRiver II, en menú Archivo, se seleccionó el archivo de medición (*.mmt) desde la carpeta donde se guardaron las mediciones y se procedió a la edición de cada archivo denominado como transecto.

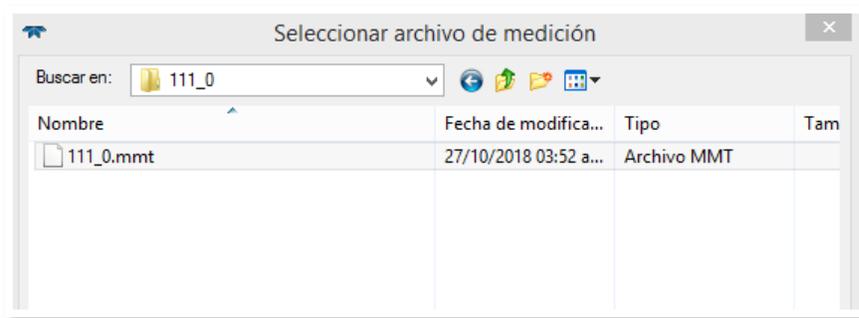


Figura 4.3. Selección del primer archivo a editar.

Fuente: Elaboración propia.

2.- Una vez seleccionado el archivo se observó en la ventana de medición, que una medición está compuesta por varios transectos, cada uno de estos transectos fueron reproducidos individualmente para su verificación, haciendo clic en Reproducir y a continuación haciendo clic en Reprocesar transecto seleccionado.

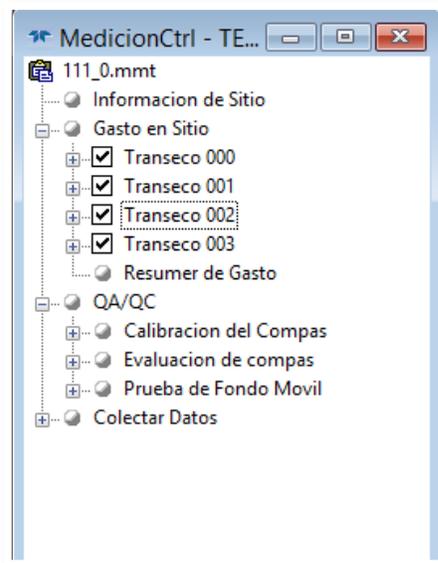


Figura 4.4. Ventana de Transectos de la primera medición.

Fuente: Elaboración propia.

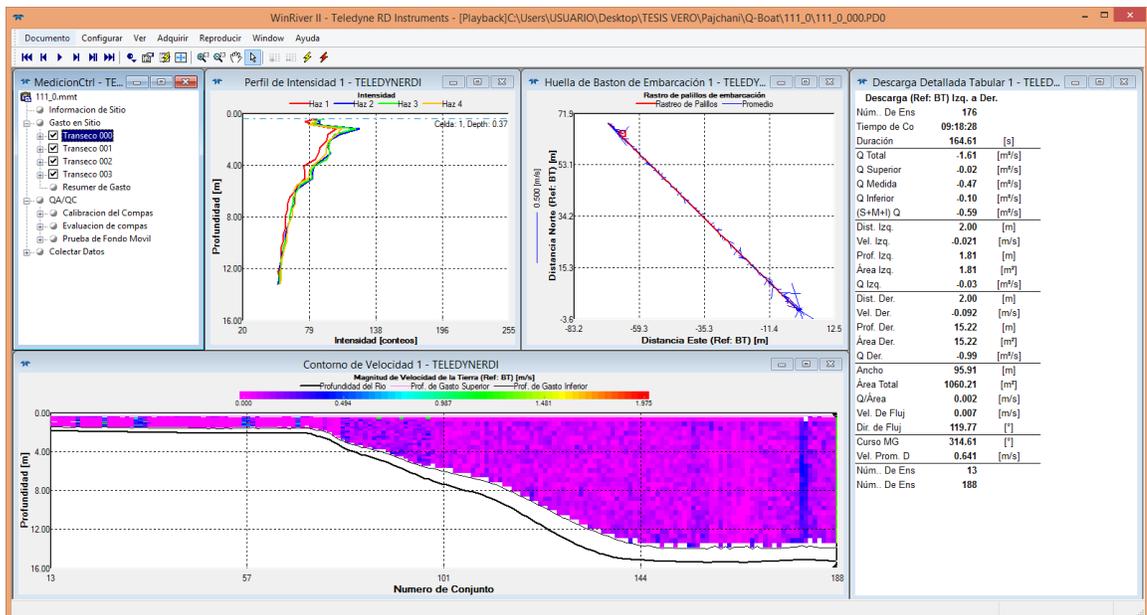


Figura 4.5. Reproducción del primer transecto.

Fuente: Elaboración propia.

3.- Cuando un transecto ya estaba reproduciendo se pudo observar en el perfil de contorno de velocidad el conjunto de celdas medidas por ensamble, en algunas columnas o ensambles las celdas no llegaban hasta el fondo del lecho del embalse, esto quiere decir que el ADCP no pudo medir la velocidad en esa celda, pero sí pudo medir la profundidad, por lo tanto, no tomamos en cuenta el error de la medición de velocidad porque solo se necesitan las profundidades. A continuación, se muestran los resultados obtenidos de un ensamble, cabe resaltar que cada transecto tiene en promedio 100 ensambles y cada archivo de medición tiene en promedio 8 transectos.

Profundidad [m]	Velocidad (m/s)				%	Descarga [m ² /s]
	h	r				
0.37	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo
0.49	0.014	0.014	-0.028	0.019	100	-0.003
0.61	0.016	0.002	-0.018	-0.009	100	-0.002
0.73	-0.006	0.005	-0.024	0.008	100	0.000
0.85	0.028	0.015	-0.013	0.002	100	-0.004
1.15	0.005	-0.040	-0.033	-0.059	100	0.014
1.63	0.104	0.043	0.010	0.052	100	-0.060
2.11	0.022	0.085	-0.003	-0.079	100	-0.043
2.59	0.058	-0.012	-0.001	-0.098	100	-0.019
3.07	0.085	-0.042	0.007	-0.045	100	-0.018
3.55	0.151	-0.112	0.022	-0.040	100	-0.016
4.03	0.116	-0.037	0.008	0.031	100	-0.032
4.51	-0.003	0.048	0.006	-0.048	100	-0.018
4.99	0.011	0.013	0.030	0.061	100	-0.010
5.47	-0.003	0.025	0.009	-0.008	100	-0.009
5.95	0.121	0.064	-0.011	0.005	100	-0.075
6.43	-0.012	0.010	0.002	-0.074	100	0.001
6.91	-0.094	-0.044	-0.017	0.002	100	0.056
7.39	0.025	0.027	-0.027	-0.002	100	-0.021
7.87	0.013	0.023	-0.011	-0.081	100	-0.015
8.35	0.121	0.043	0.017	-0.094	100	-0.066
8.83	0.101	0.047	0.026	-0.046	100	-0.060
9.31	-0.013	-0.080	-0.007	-0.042	100	0.038
9.79	0.076	0.046	-0.001	-0.064	100	-0.049
10.27	-0.032	-0.040	0.008	-0.029	100	0.029
10.75	-0.049	-0.109	-0.045	0.053	100	0.064
11.23	0.054	-0.056	-0.018	-0.050	100	0.001
11.71	-0.073	-0.160	-0.022	0.095	100	0.094
12.19	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo
12.67	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo
13.15	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo	Malo

Figura 4.6. Tabular de velocidad de un ensamble.

Fuente: Elaboración propia.

En la ventana tabular de Velocidad se puede observar la velocidad de cada uno de los haces y la descarga a diferentes profundidades de cada uno de los ensambles o puntos medidos por el ADCP, estas profundidades dependen de la velocidad con la que se conduce el Q-Boat ya que mientras más lento sea desplazado el bote, menor es el intervalo de profundidades, por lo tanto, se obtienen mayor cantidad de datos.

El valor que se consideró es el de la profundidad final que es la profundidad del lecho del embalse en cada punto.

En la ventana Tabular GPS podemos observar las coordenadas de cada ensamble, esta ventana nos brinda la latitud, longitud y altitud ortométrica de cada uno de los ensambles, en este caso se utilizó únicamente la latitud y longitud ya que la altitud elipsoidal o cota del nivel de agua fue medida previamente siendo 2138,5 m.s.n.m.,

esta altura se utilizó con la profundidad para determinar las cotas de la superficie subacuática del agua.

A continuación, se puede observar un ejemplo de la tabular de GPS de un ensamble y la tabla de resultados obtenidos de un ensamble.

	External/Integrated (GGA)	Internal (GGA2)
Latitud	21° 22.846233' S	Malo
Longitud	64° 47.075571' W	Malo
Núm.. Invalido	0	95
Núm.. De Satélites	7	0
Cambios de Satélites	1	0
Altitud	2107.4 [m]	0.0 [m]
Altitud Delta	0.7 [m]	0.0 [m]
HDOP	1.0	0.0
HDOP Delta	0.2	0.0
Tiempo Delta	1.0 [s]	0.0 [s]
Estado DGPS	GPS	GPS
Corrección Age DGPS	0.0 [s]	0.0 [s]
ID Est. DGPS	0	0

Figura 4.7. Tabular de GPS de un ensamble.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7. Resultados de un ensamble.

Ensamble N° 133	
Profundidad:	13,15 m.
Latitud:	21°22,85' S
Longitud:	64°47,08' W

Fuente: Elaboración propia.

4.- Se procedió a la revisión de los resultados de los ensambles de cada transecto siguiendo el mismo procedimiento para observar si no existen datos dispersos que requieran ser eliminados posteriormente, una vez revisados los datos se guardaron los archivos revisados.

5.- Una vez revisados los transectos de cada medición se procedió a la exportación de datos en formato de texto para unir todos los puntos en una hoja de cálculo y determinar la superficie subacuática en Civil 3D.

A continuación, se muestran los datos obtenidos exportados en Hoja de Cálculo de Excel de un transecto.

Tabla 4.8. Resultados del transecto N° 1.

Ensamble	Profundidad (m)	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Cota agua (m.s.n.m.)
1	3,13	-21,38	-64,78	2138,50
2	3,25	-21,38	-64,78	2138,50
3	3,25	-21,38	-64,78	2138,50
4	3,25	-21,38	-64,78	2138,50
5	3,73	-21,38	-64,78	2138,50
6	3,25	-21,38	-64,78	2138,50
7	3,13	-21,38	-64,78	2138,50
8	3,13	-21,38	-64,78	2138,50
9	3,01	-21,38	-64,78	2138,50
10	3,01	-21,38	-64,78	2138,50
11	3,37	-21,38	-64,78	2138,50
12	2,89	-21,38	-64,78	2138,50
13	3,13	-21,38	-64,78	2138,50
14	2,77	-21,38	-64,78	2138,50
15	2,77	-21,38	-64,78	2138,50
16	2,89	-21,38	-64,78	2138,50

17	3,01	-21,38	-64,78	2138,50
18	3,13	-21,38	-64,78	2138,50
19	3,67	-21,38	-64,78	2138,50
20	3,91	-21,38	-64,78	2138,50
21	4,15	-21,38	-64,78	2138,50
22	4,63	-21,38	-64,78	2138,50
23	5,11	-21,38	-64,78	2138,50
24	5,35	-21,38	-64,78	2138,50
25	5,83	-21,38	-64,78	2138,50

Fuente: Elaboración propia.

Los puntos obtenidos en total de la medición con Q-Boat fueron aproximadamente 6000 puntos, los cuales fueron utilizados para la generación de curvas de nivel en Civil 3D y posteriormente para la creación de la subsuperficie del embalse.

Se realizó la diferencia de la cota del nivel de agua que es la cota 2138,5 m.s.n.m. y la profundidad de cada punto o ensamble obtenido y se obtuvieron los puntos de la superficie subacuática.

Para la exportación de puntos en Civil 3D se transformó las coordenadas geográficas en coordenadas UTM mediante una planilla de Excel, ya que el ADCP brinda la ubicación en coordenadas geodésicas.

Tabla 4.9. Puntos para Civil 3D del transecto N° 1.

Este	Norte	Elevación
-------------	--------------	------------------

(X)	(Y)	(m.s.n.m.)
7634580,05	314926,06	2135,37
7634580,37	314925,90	2135,25
7634580,50	314925,83	2135,25
7634580,45	314925,84	2135,25
7634580,38	314925,86	2134,77
7634580,29	314925,89	2135,25
7634579,90	314926,05	2135,37
7634579,56	314926,21	2135,37
7634579,47	314926,25	2135,49
7634579,21	314926,37	2135,49
7634578,90	314926,52	2135,13
7634578,76	314926,60	2135,61
7634578,53	314926,74	2135,37
7634578,53	314926,74	2135,73
7634578,48	314926,73	2135,73
7634579,07	314926,03	2135,61
7634579,21	314925,90	2135,49
7634580,06	314925,14	2135,37
7634581,71	314923,85	2134,83
7634582,49	314923,28	2134,59
7634583,51	314922,56	2134,35
7634584,83	314921,68	2133,87

7634586,15	314920,83	2133,39
------------	-----------	---------

Fuente: Elaboración propia.

6.- Al generar la superficie subacuática en Civil 3D se obtuvo la siguiente tabla de elevaciones generada con Q-Boat, con sus respectivas áreas:

Tabla 4.10. Elevaciones con Q-Boat.

Tabla de elevaciones Q-Boat			
Número	Elevación mínima (m.s.n.m.)	Elevación máxima (m.s.n.m.)	Área (m²)
1	2119,00	2120,00	571,86
2	2120,00	2121,00	2355,55
3	2121,00	2122,00	12559,69
4	2122,00	2123,00	12520,60
5	2123,00	2124,00	8181,00
6	2124,00	2125,00	7657,51
7	2125,00	2126,00	6620,08
8	2126,00	2127,00	5438,22
9	2127,00	2128,00	5263,35
10	2128,00	2129,00	4744,97
11	2129,00	2130,00	5029,27
12	2130,00	2131,00	6243,92
13	2131,00	2132,00	4962,99
14	2132,00	2133,00	4788,55
15	2133,00	2134,00	4656,02
16	2134,00	2135,00	4404,08

17	2135,00	2136,00	4363,66
18	2136,00	2137,00	4312,79
19	2137,00	2138,00	4167,88
20	2138,00	2139,00	2191,45
21	2139,00	2140,00	88,03
22	2140,00	2141,00	41,47
23	2141,00	2142,00	17,00

Fuente: Elaboración propia.

La superficie subacuática obtenida con Q-Boat fue:

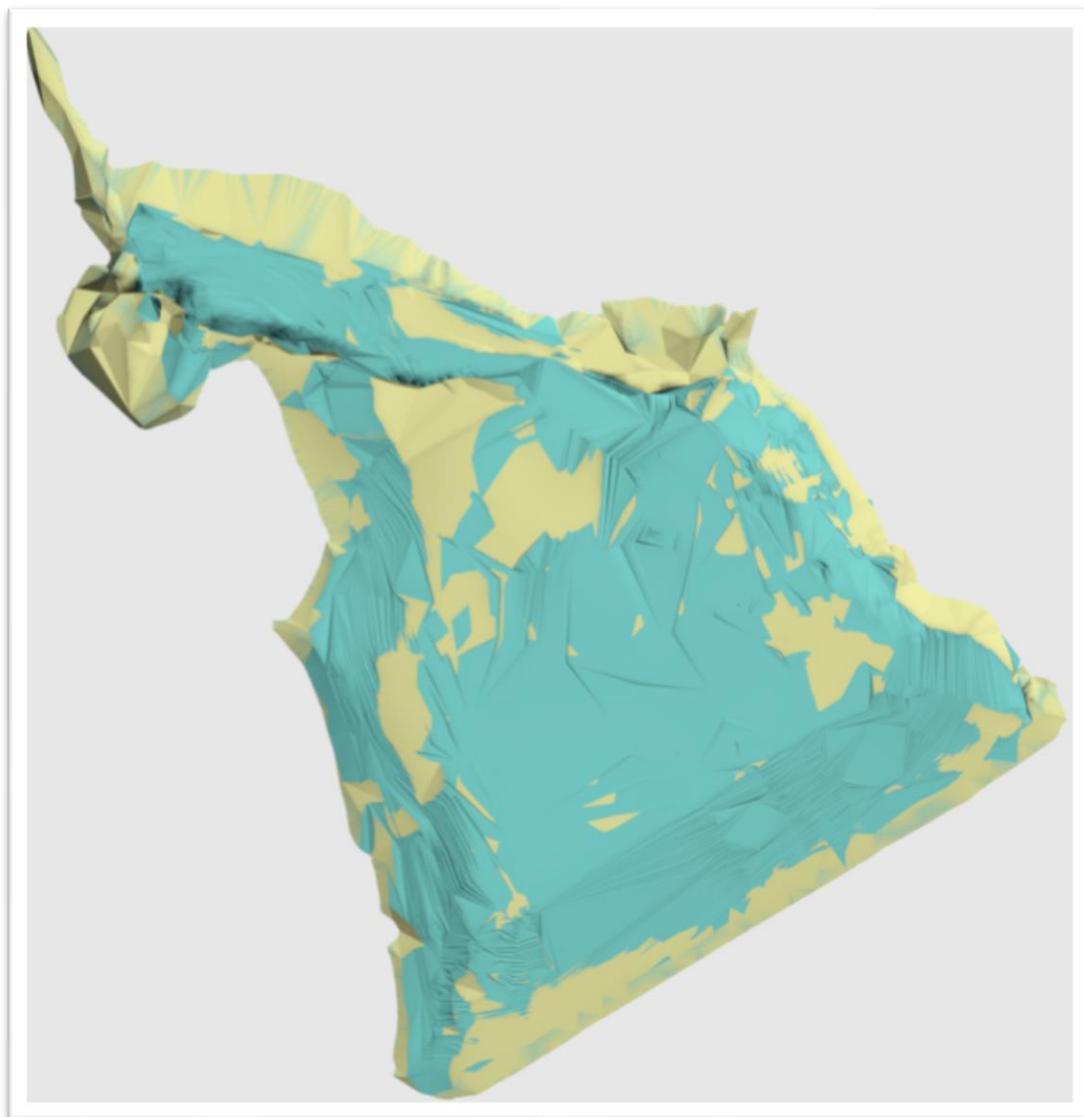


Figura 4.8. Superficie subacuática con Q-Boat

Fuente: Elaboración propia.

Las elevaciones, vistas, cortes longitudinales y transversales de la superficie obtenida se muestran detalladamente en planos.

Cota mínima y cota máxima

La cota mínima obtenida con Q-Boat es de: 2119,00 m.s.n.m.

La cota máxima obtenida con Q-Boat es de: 2142,00 m.s.n.m.

Volumen de almacenamiento

El volumen de almacenamiento es de: $1179152,87 \text{ m}^3 = 1,179 \text{ Hm}^3$.

7.- La superficie obtenida con Q-Boat fue comparada con la superficie de referencia del año 2009 para la determinación del volumen de sedimentación, la tabla de elevaciones de la superficie de referencia con sus respectivas áreas y volúmenes se muestra a continuación:

Tabla 4.11. Elevaciones de la superficie de referencia.

Tabla de elevaciones Superficie de referencia del año 2009			
Número	Elevación mínima (m.s.n.m.)	Elevación máxima (m.s.n.m.)	Área (m²)
1	2118,00	2119,00	17,86
2	2119,00	2120,00	1053,97
3	2120,00	2121,00	4489,92
4	2121,00	2122,00	18110,29
5	2122,00	2123,00	8820,66
6	2123,00	2124,00	7451,29
7	2124,00	2125,00	7298,16
8	2125,00	2126,00	5222,39
9	2126,00	2127,00	5032,10
10	2127,00	2128,00	4907,39
11	2128,00	2129,00	6550,56
12	2129,00	2130,00	5149,22
13	2130,00	2131,00	4226,29
14	2131,00	2132,00	4016,08

15	2132,00	2133,00	4119,01
16	2133,00	2134,00	4162,69
17	2134,00	2135,00	4457,65
18	2135,00	2136,00	4741,40
19	2136,00	2137,00	4602,56
20	2137,00	2138,00	4321,33
21	2138,00	2139,00	2218,43
22	2139,00	2140,00	93,71
23	2140,00	2141,00	62,63
24	2141,00	2142,00	54,31
25	2142,00	2143,00	0,01

Fuente: Elaboración propia.

La superficie de referencia del año 2009 es:



Figura 4.9. Superficie de referencia.

Fuente: Elaboración propia.

Las elevaciones, vistas, cortes longitudinales y transversales de la superficie se muestran detalladamente en planos.

Cota mínima y cota máxima

La cota mínima de la superficie de referencia del año 2009 es de: 2118,00 m.s.n.m.

La cota máxima de la superficie de referencia del año 2009 es de: 2143,00 m.s.n.m.

Volumen de almacenamiento

El volumen de almacenamiento de la superficie de referencia es de: $1211758,32 \text{ m}^3 = 1,212 \text{ Hm}^3$.

Cabe resaltar que el volumen total de almacenamiento obtenido del estudio “Análisis de funcionalidad y riego Presa Pajchani” realizado el año 2009, ejecutado por el Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), es de $1,19 \text{ Hm}^3$, debido a que el nivel de agua que se consideró fue desde otra elevación.

El resultado obtenido en el presente estudio se lo realizó obteniendo el volumen hasta la cota 2138,5 m.s.n.m. la cual es la elevación del vertedero, tomando esta misma elevación para la obtención del volumen del uso de ambos equipos.

Volumen de sedimentación

El volumen de sedimentación que se obtuvo mediante el método de comparación de superficies que tiene el programa Civil 3D, realizando la diferencia de la superficie resultante con Q-Boat y de la superficie de referencia del año 2009 fue de:

$20333,51 \text{ m}^3 = 0,0203 \text{ Hm}^3$.

Tasa de sedimentación

Considerando un volumen de sedimentación de $20333,51 \text{ m}^3$, desarrollado en el tiempo de 10 años desde el año 2009 se tiene un volumen de sedimentación anual de:

$2033,35 \text{ m}^3/\text{año}$.

El área de la cuenca Pajchani es de: $7,93 \text{ Km}^2$.

Los siguientes valores de peso específico del sedimento son utilizados por el U.S. Soil Conservation Service como una guía cuando no se realizaron mediciones en campo, como en este caso:

Tabla 4. 12. Tabla de pesos específicos.

Tamaño de los granos:	Peso específico, en Tn/m^3
------------------------------	---

	Sumergido	Aireado
Arcilla.	0,48-0,96	0,96-1,28
Limo.	0,88-1,20	1,20-1,36
Mezcla Arcilla-Limo.	0,64-1,04	1,04-1,36
Mezcla Limo-Arena.	1,20-1,52	1,52-1,76
Mezcla Arcilla-Limo-Arena.	0,80-1,28	1,28-1,60
Arena.	1,36-1,60	1,36-1,60
Grava.	1,36-2,00	1,36-1,60
Arena mal graduada y grava.	1,52-2,08	1,52-2,08

Fuente: Pesos específicos.

Se consideró un suelo Mezcla Arcilla-Limo-Arena y un suelo sumergido ya que el agua no baja mas de 5m. durante todo el año, por lo tanto, la mayor parte del suelo se mantiene sumergido y tiene un peso específico en promedio de 1,1 Tn. /m³.

Se tiene una tasa de sedimentación de:

$$Tasa\ de\ sedimentación = \frac{Vol\ anual \times Peso\ esp.}{\text{Àrea cuenca}}$$

$$Tasa\ de\ sedimentación = \frac{2033,35 \times 1,1}{7,93} = 282,16\ Ton/Km^2/Año$$

Tabla 4. 13. Proyección de volumen de sedimentación en 50 años.

VIDA UTIL (años)	SEDIMENTO (Ton/Km²/año)	AREA CUENCA (Km²)	PESO ESPECÍFICO (Ton/m³)	VOLUMEN ANUAL (m³)	VOLUMEN MUERTO (m³)
10	282,16	7,93	1,1	2033,35	20333,50
20	282,16	7,93	1,1	2033,35	40667,00
30	282,16	7,93	1,1	2033,35	61000,50
40	282,16	7,93	1,1	2033,35	81334,00
50	282,16	7,93	1,1	2033,35	101667,50

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Desarrollo del levantamiento batimétrico con Z-Boat

4.3.1. Pre proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.

Para el pre proceso del levantamiento batimétrico con Z-Boat se inició con la obtención de mapas de referencia del embalse y de los puntos geodésicos de la misma forma que con el Q-Boat. El procedimiento realizado posteriormente mediante el software Hypack, fue el siguiente:

1.- Se inició con la creación de una nueva medición en el software Hypack y la localización del proyecto en la ventana Ítems Proyecto como se muestra a continuación:

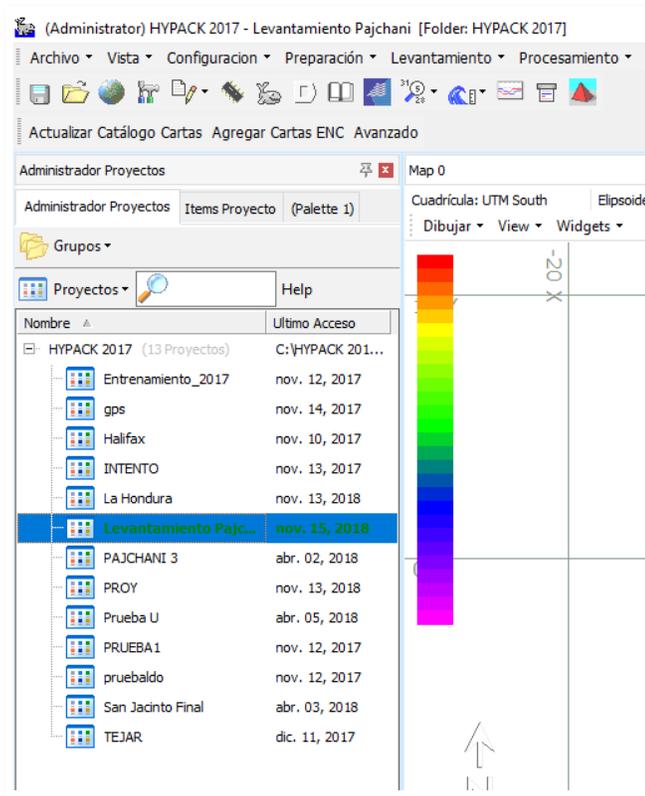


Figura 4.10. Ubicación del proyecto en Ítems del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

2.- Se continuó con la referenciación y georreferenciación del embalse “La Honduras”, mediante la creación de un archivo de fondo con la imagen obtenida de Google Earth del embalse.

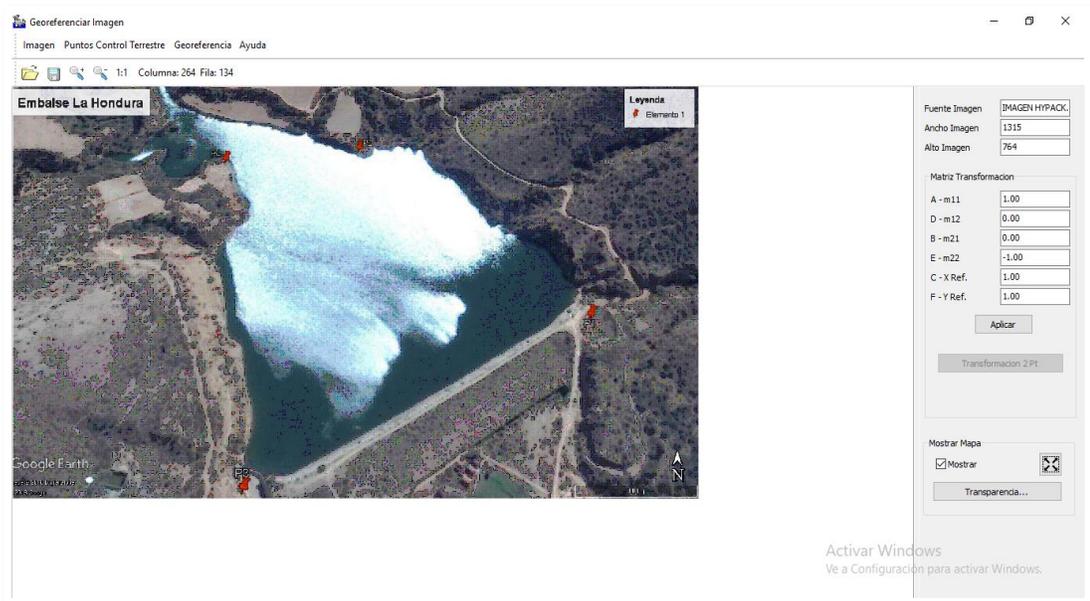


Figura 4.11. Imagen para georreferenciación cargada.

Fuente: Elaboración propia.

3.- Se procedió a la ubicación de los cuatro puntos de la red geodésica, ingresando la latitud y longitud de cada uno de los puntos en el mapa cargado del embalse “La Honduras”.

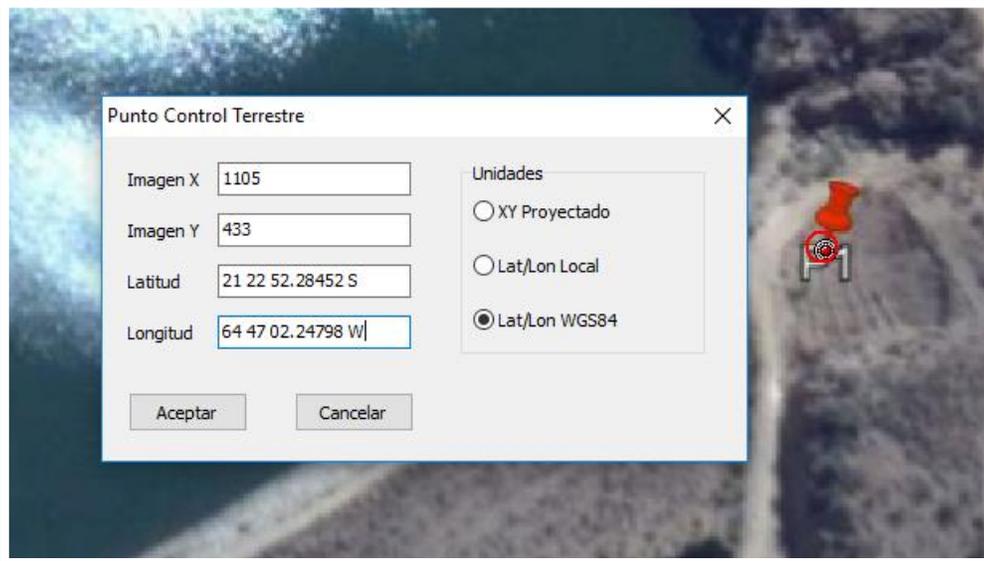


Figura 4.12. Ingreso de primer punto para georreferenciación.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14. Coordenadas UTM de puntos de control terrestre para georreferenciación del embalse “La Hondura”.

Id Punto	Coordenada Este	Coordenada Norte	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Presa
TJA	322245,70	7616059,41	1887,18	1850,55	36,63	La Hondura
P-1	315048,11	7634614,10	2141,99	2104,36	37,63	La Hondura
P-2	314813,72	7634840,78	2138,62	2101,04	37,65	La Hondura
P-3	314722,15	7634442,20	2145,60	2107,94	37,65	La Hondura
P-4	314654,60	7634818,88	2138,38	2100,71	37,67	La Hondura

Fuente: Determinación de cuatro redes geodésicas en las presas, Huacata, Calderas, La Hondura y el Molino, utilizando el método diferencial para el monitoreo de embalses en el departamento de Tarija”.

Tabla 4.15. Coordenadas Geodésicas de puntos de control terrestre para georreferenciación del embalse “La Hondura”.

Id Punto	Latitud	Longitud	Altura Elipsoidal	Altura Ortométrica	Ondulación Geoidal	Presa
TJA	21° 32' 58,14" S	64° 42' 59,47" W	1887,18	1850,55	36,63	La Hondura
P-1	21° 22' 52,28" S	64° 47' 02,25" W	2141,99	2104,36	37,63	La Hondura
P-2	21° 22' 44,83" S	64° 47' 10,29" W	2138,69	2101,04	37,65	La Hondura
P-3	21° 22' 57,75" S	64° 47' 13,63" W	2145,60	2107,94	37,65	La Hondura
P-4	21° 22' 45,48" S	64° 47' 15,83" W	2138,38	2100,71	37,67	La Hondura

Fuente: Determinación de cuatro redes geodésicas en las presas, Huacata, Calderas, La Hondura y el Molino, utilizando el método diferencial para el monitoreo de embalses en el departamento de Tarija”.

4.- Una vez ingresados los cuatro puntos de la red geodésica en el mapa del embalse, se hizo clic en Aplicar y posteriormente en Transformación 2 Pt. Se guardó el archivo de fondo y se cerró la ventana de georreferenciación.

Esta etapa del pre proceso se la realizó con la finalidad de obtener una imagen de fondo del embalse dentro del programa Hypack que nos sirviera de referencia al momento de

realizar el levantamiento batimétrico, ya que sobre esta imagen de fondo se dibujó la línea de seguridad o de borde, y las líneas de sondeo que se muestran a continuación:

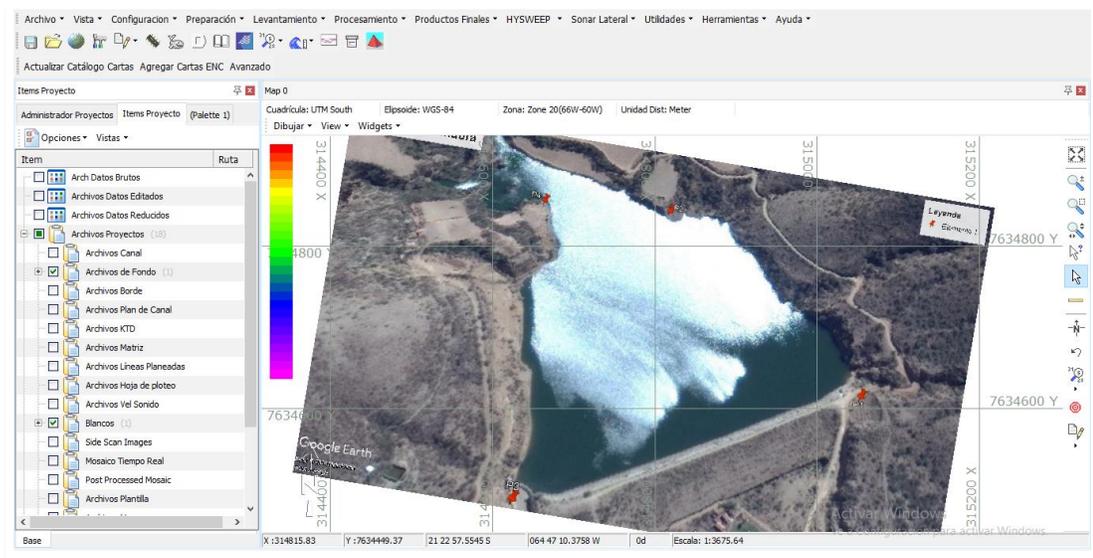


Figura 4.13. Imagen de fondo cargada en Hypack.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.14. Línea de seguridad sobre el embalse.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.15. Líneas de sondeo.

Fuente: Elaboración propia.

La línea de seguridad tiene la función de dar seguridad al bote al momento del sondeo, ya que el Software avisa cuando el bote se aproxima a la línea y así se puede evitar que el bote llegue a la orilla del embalse causando daños, la línea de seguridad se la realizó aproximadamente a 10 m. de distancia de la orilla.

Las líneas de sondeo tienen la función de planificar el recorrido del bote, estas líneas transversales se las trazó con una separación de 20 m., también se trazó tres líneas centrales longitudinales a 20 m. de separación entre ellas.

5.- Una vez creadas las líneas de seguridad y de sondeo, se las guardó respectivamente para ser utilizadas en campo al momento de realizar el levantamiento batimétrico.

4.3.2. Proceso: Recolección de datos.

Se realizó la instalación de los instrumentos en el sitio de trabajo y la conexión de las herramientas con el equipo, las cuales fueron la conexión de cuatro baterías al motor del bote, la conexión de una batería a la radio Rocket M5, antenas y GPS para realizar el enlace posterior del equipo con el computador.



Fotografía 4.6. Conexión de los instrumentos al Z-Boat.

Para poder realizar la prueba de conexión entre los dispositivos y el Software Hypack, se realizó la conexión de la radio Rocket M5 con el Z-Boat encendido enlazando con el software Odom eChart para la visualización de los datos recibidos de la ecosonda y a la vez las posiciones que proporciona el GPS Vector V320 de cada punto.



Fotografía 4.7. Conexión de la batería a la radio Rocket M5.



Fotografía 4.8. Radio Rocket M5 conectada.

Una vez enlazados y conectados todos los instrumentos de Z-Boat se procedió con el ingreso del equipo en el embalse y el encendido del control remoto. En el software Hypack se inició el levantamiento haciendo clic en la pestaña Levantamiento y automáticamente aparecieron las siguientes ventanas:

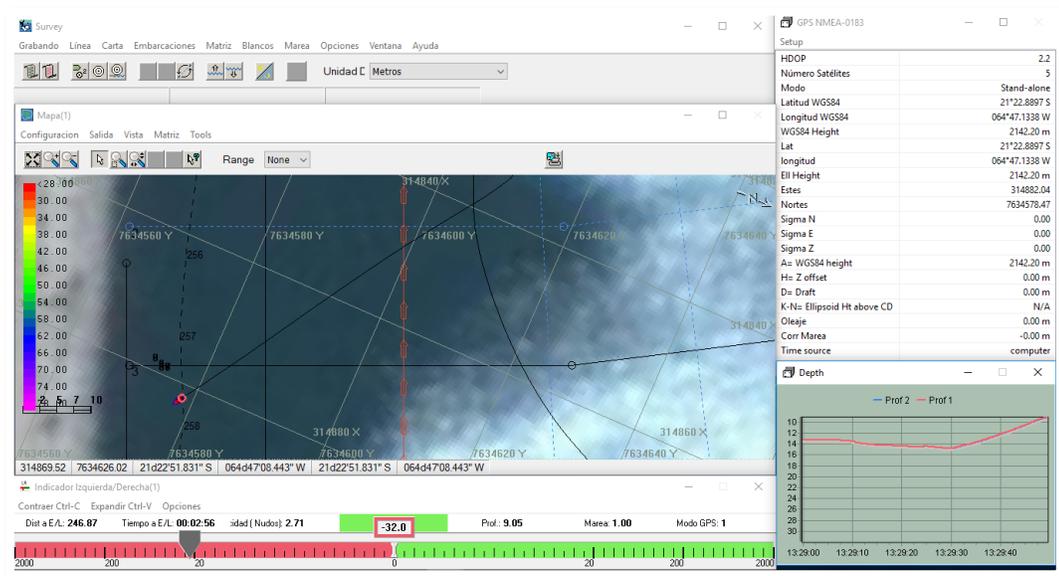


Figura 4.16. Ventanas predeterminadas para levantamiento.

Fuente: Elaboración propia.

Todas las ventanas tienen la función de brindar un mejor seguimiento durante el levantamiento. La ventana gráfica del levantamiento es una vista en planta de su área de proyecto, muestra cualquier archivo de proyecto habilitado junto con la posición del bote y sus líneas de traqueo.

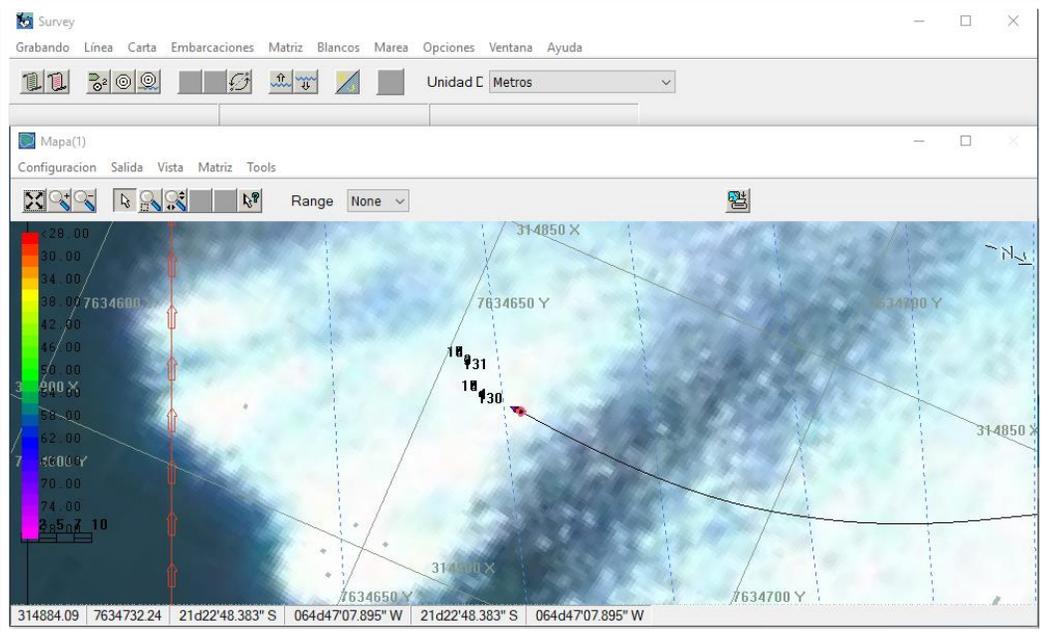


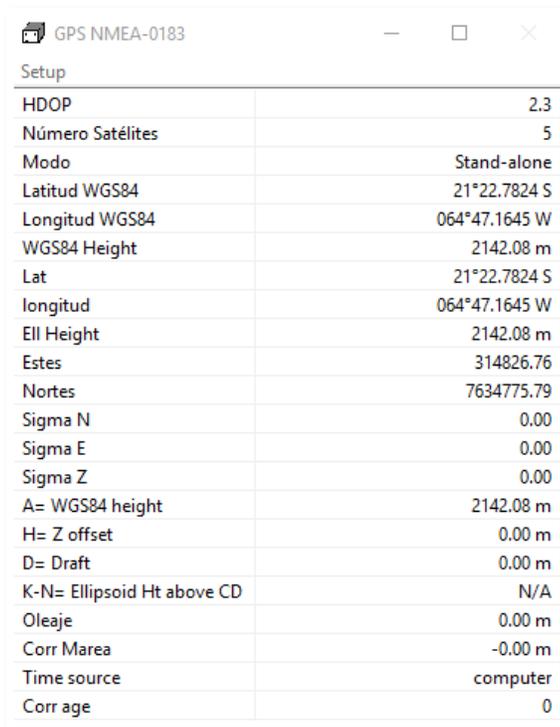
Figura 4.17. Ventana gráfica del levantamiento.

Fuente: Elaboración propia.

La ventana de estado de GPS muestra la ubicación y las características de cada punto medido, la ventana Depth muestra gráficamente las profundidades de cada punto y la ventana de indicador de izquierda y derecha muestra la posición del bote con respecto a la línea planeada de sondeo.

También se pueden colocar otras ventanas en función a la preferencia de cada usuario, en este caso se trabajó con la ventana Mostrar Datos, la cual nos brinda el estado y datos de la medición.

En función a la ventana gráfica del levantamiento se acercó el bote a la primera línea de sondeo marcada en el mapa y se hizo clic en Grabar para iniciar la grabación, se condujo el bote lo más cercano a la línea de sondeo hasta llegar al final, al llegar al final se hizo intercambio de línea para comenzar con la siguiente línea de sondeo.



Setup	
HDOP	2.3
Número Satélites	5
Modo	Stand-alone
Latitud WGS84	21°22.7824 S
Longitud WGS84	064°47.1645 W
WGS84 Height	2142.08 m
Lat	21°22.7824 S
longitud	064°47.1645 W
Ell Height	2142.08 m
Estes	314826.76
Nortes	7634775.79
Sigma N	0.00
Sigma E	0.00
Sigma Z	0.00
A= WGS84 height	2142.08 m
H= Z offset	0.00 m
D= Draft	0.00 m
K-N= Ellipsoid Ht above CD	N/A
Oleaje	0.00 m
Corr Marea	-0.00 m
Time source	computer
Corr age	0

Figura 4.18. Estado GPS.

Fuente: Elaboración propia.



Fuente...	Configurar...	Estilo
Estatus	Grabando	
Nombre Archivo	0P40_0001.RAW	
Este	314846.37	
Norte	7634752.97	
Rumbo	150.02°	
Evento	139	
Línea	0+40	
Acimut Línea	246.36	
Hora	13:26:17	
Prof.	13.64	
Marea	1.00	
Velocidad(kt)	2.29	

Figura 4.19. Ventana mostrar datos.

Fuente: Elaboración propia.

Al transcurrir aproximadamente una hora y media de medición, la batería conectada al radio Rocket M5 se terminó, por lo tanto, se tuvo que finalizar la medición ya que el Laboratorio de Hidráulica e Hidrología solo cuenta con una batería de este tipo y no cuenta con un generador de luz para cargar la batería.

Observando este problema se optó por hacer un recorrido bordeando el embalse como se hizo con el Q-Boat ya que de esta forma se optimizó más el tiempo y no afectó a la precisión de la medición.

También se decidió realizar estos recorridos para que los puntos de levantamiento se acercaran más a los puntos del levantamiento realizados con Q-Boat y así la comparación de ambas superficies subacuáticas sea más precisa. El recorrido realizado en la medición con Z-Boat se muestra a continuación:

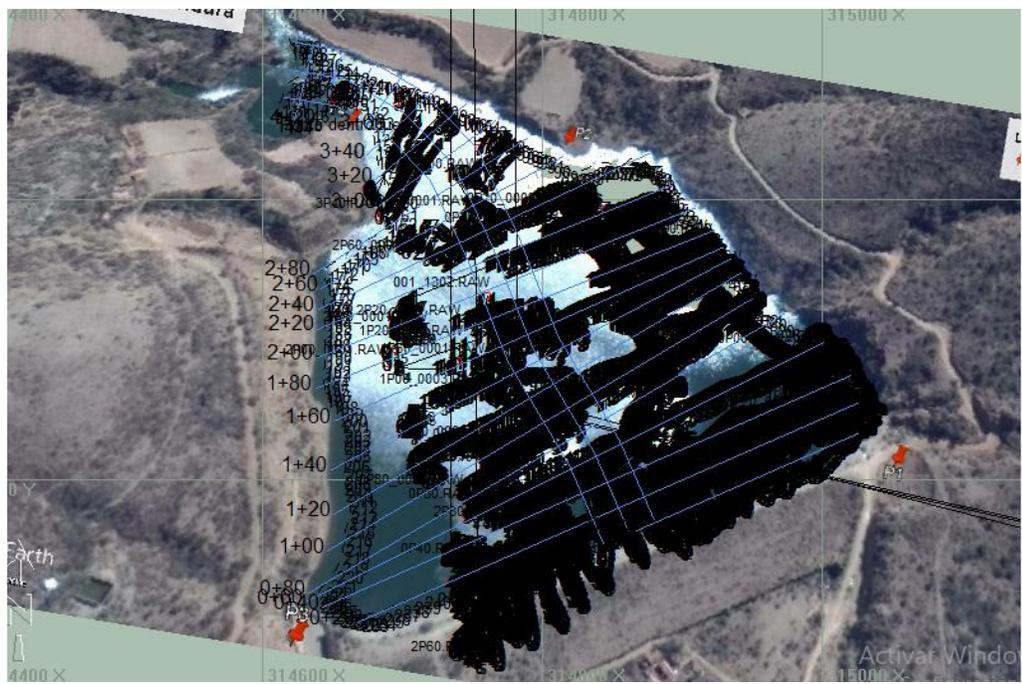


Figura 4.20. Recorrido del levantamiento final.

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen se observan los puntos del recorrido que hizo el bote, los puntos se observan un poco dispersos con respecto al mapa debido a que la imagen satelital utilizada no fue de la mejor calidad.

4.3.3. Post – Proceso: Procesamiento de datos.

1.- Luego de haber realizado el levantamiento se editaron los datos mediante el Editor Monohaz de Hypack. Se generó un archivo LOG, el cual contiene todas las líneas medidas, por cada línea de datos se generó un archivo RAW.

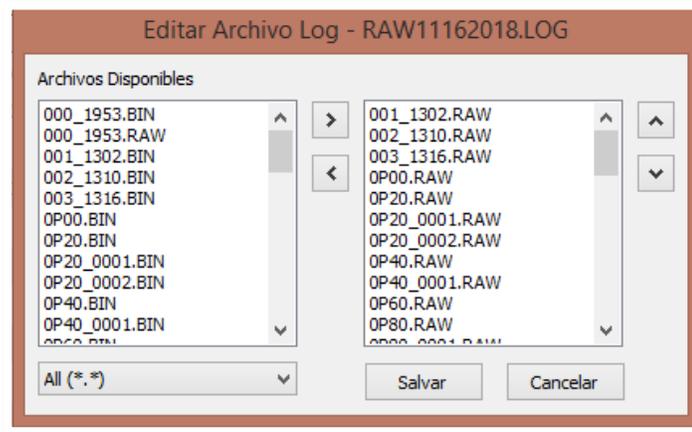


Figura 4.21. Archivos obtenidos.

Fuente: Elaboración propia.

2.- Se procedió con la edición de cada una de las líneas en forma de perfiles, en este editor Monohaz de Hypack se muestran cada uno de los perfiles medidos y nos permite la eliminación de datos dispersos.

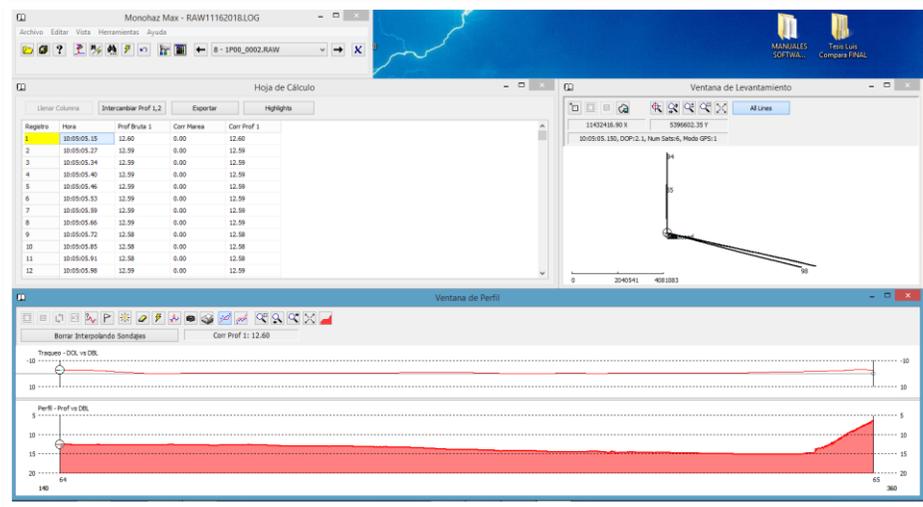


Figura 4.22. Datos cargados al editor Monohaz.

Fuente: Elaboración propia.

3.- Una vez cargados los archivos se procedió a la eliminación de datos dispersos y picos de cada uno de los perfiles en la ventana de Perfil, utilizando la herramienta de borrar línea de arriba, borrar línea de abajo, borrador manual y el suavizado de las líneas del perfil.

A continuación, se muestra tres ejemplos de perfiles sin editar y del resultado que se obtuvo después de la edición de los perfiles, observando el cambio en la definición de cada línea de perfil.

Este mismo procedimiento se realizó para todos los perfiles obtenidos que fueron alrededor de 30.

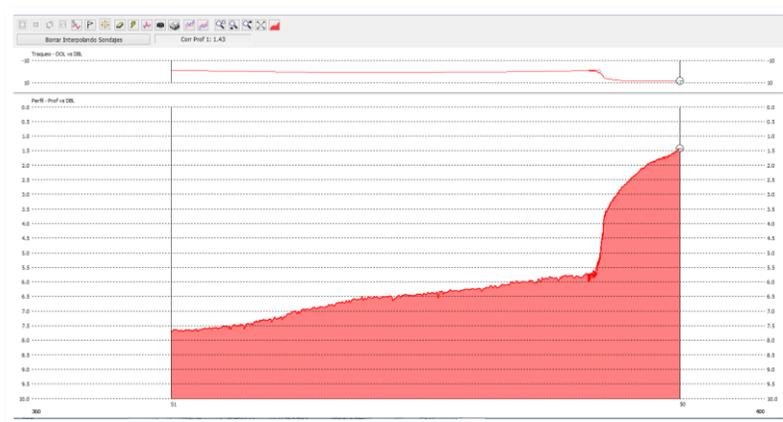


Figura 4.23. Perfil N° 1 sin editar.

Fuente: Elaboración propia.

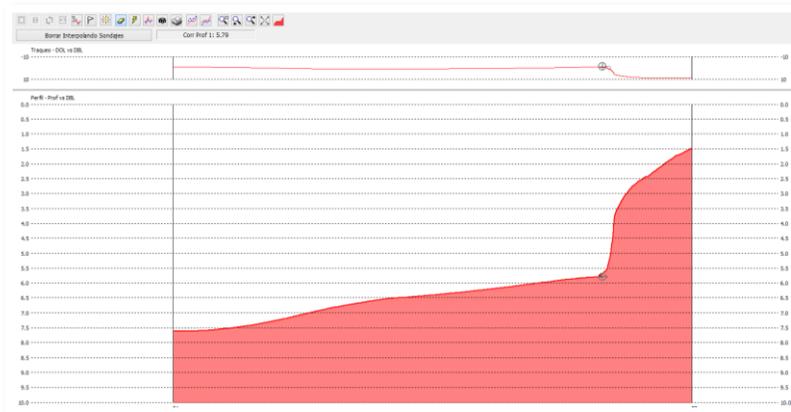


Figura 4.24. Perfil N° 1 editado.

Fuente: Elaboración propia.

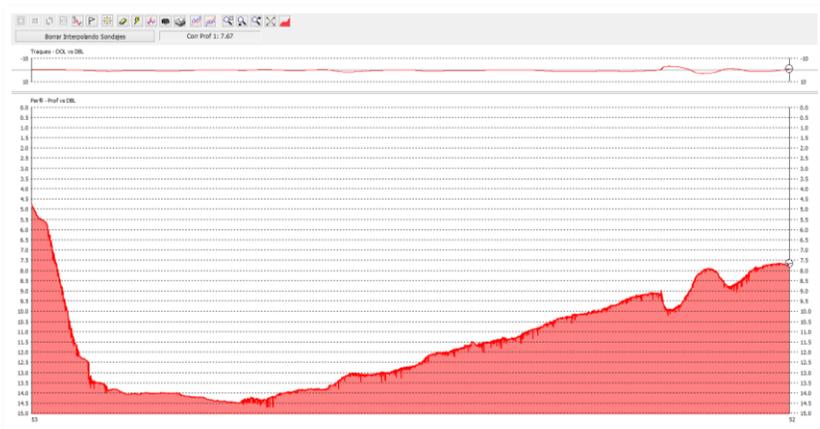


Figura 4.25. Perfil N° 2 sin editar.
Fuente: Elaboración propia.

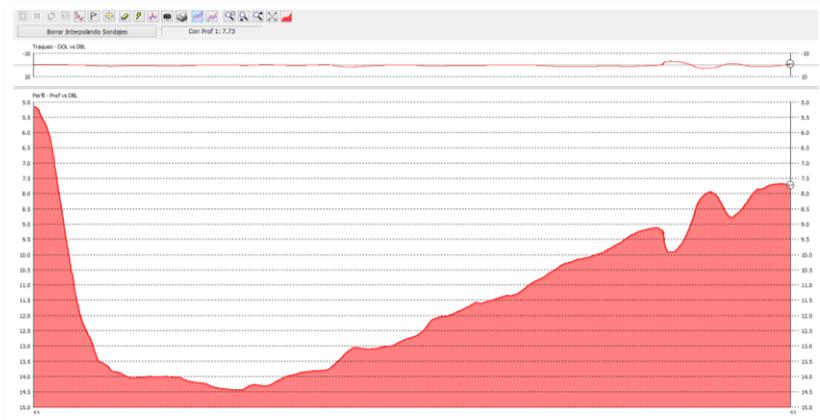


Figura 4.26. Perfil N° 2 editado.
Fuente: Elaboración propia.

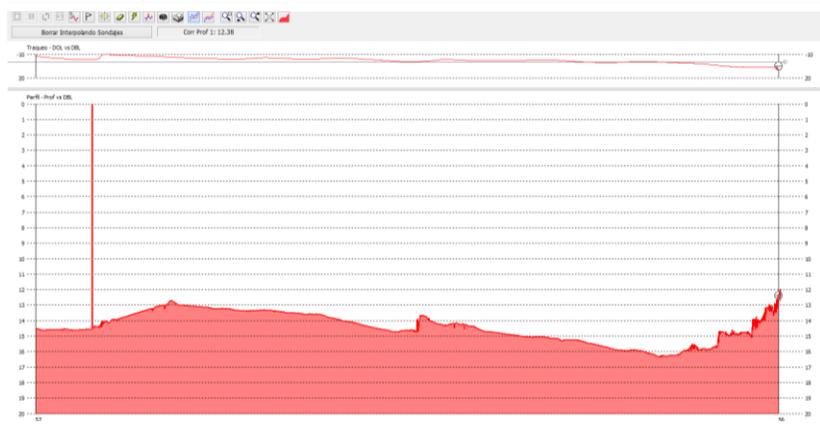


Figura 4.27. Perfil N° 3 sin editar.
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.28. Perfil N° 3 editado.

Fuente: Elaboración propia.

4.- Al terminar la edición de datos se realizó la reducción de los mismos, esta reducción fue necesaria para reducir la densidad de puntos de la medición ya que se obtuvieron aproximadamente 69000 datos editados. A través de la reducción realizada con un radio de 0,5 m. resultaron alrededor de 7600 puntos en total para ser exportados y graficados en Civil 3D.

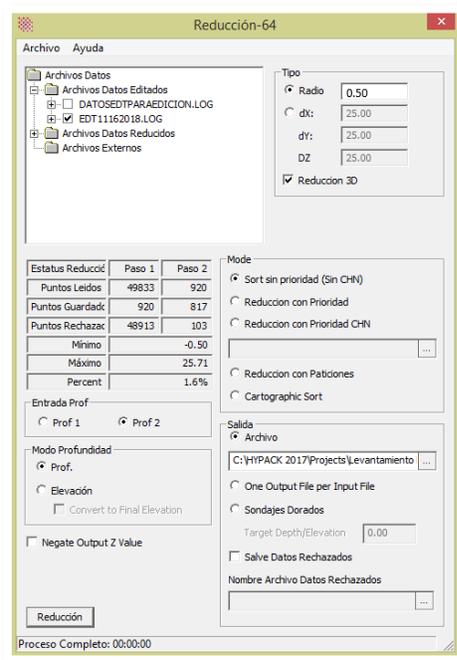


Figura 4.29. Ventana de reducción.

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar la reducción se guardó el archivo reducido en formato XYZ, a través de este archivo se hizo la exportación a una hoja de cálculo de Excel donde se realizaron los cálculos necesarios para obtener los puntos de la superficie subacuática.



Figura 4.30. Vista de datos reducidos.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra una parte de los puntos obtenidos de la exportación de datos reducidos, los cuales son latitud, longitud y profundidad, se añadió la cota del nivel de agua que fue la misma obtenida en las mediciones con Q-Boat:

Tabla 4.16. Ejemplo de resultados obtenidos.

Punto	Latitud (Sur)	Longitud (Oeste)	Profundidad (m.)	Cota agua (m.s.n.m.)
1	7634725,42	314760,19	11,49	2138,50
2	7634720,33	314760,41	11,56	2138,50
3	7634715,66	314762,45	11,65	2138,50

4	7634710,18	314766,23	11,57	2138,50
5	7634705,85	314768,75	11,70	2138,50
6	7634697,21	314773,03	11,78	2138,50
7	7634692,50	314774,81	11,86	2138,50
8	7634687,60	314776,19	11,98	2138,50
9	7634682,59	314777,11	12,00	2138,50
10	7634676,89	314777,88	11,92	2138,50
11	7634663,12	314777,38	11,89	2138,50
12	7634657,75	314776,34	11,80	2138,50
13	7634653,19	314778,51	11,87	2138,50
14	7634651,08	314783,05	12,23	2138,50
15	7634649,02	314787,65	12,46	2138,50
16	7634646,53	314792,05	12,54	2138,50
17	7634642,93	314787,71	12,54	2138,50
18	7634646,10	314802,57	12,65	2138,50
19	7634651,20	314809,13	12,64	2138,50
20	7634654,44	314813,02	12,69	2138,50
21	7634657,88	314816,69	12,83	2138,50
22	7634664,53	314824,23	12,92	2138,50
23	7634668,06	314828,24	12,98	2138,50
24	7634671,24	314832,14	13,13	2138,50
25	7634674,97	314838,07	13,34	2138,50

Fuente: Elaboración propia.

5.- Se obtuvo las cotas de la superficie subacuática realizando la diferencia entre la cota del agua y las profundidades. Al generar la superficie subacuática en Civil 3D se obtuvo la siguiente tabla de elevaciones generada con Z-Boat, con sus respectivas áreas:

Tabla 4.17. Elevaciones con Z-Boat.

Tabla de elevaciones Z-Boat			
Número	Elevación mínima (m.s.n.m.)	Elevación máxima (m.s.n.m.)	Área (m²)
1	2120,00	2121,00	4370,59
2	2121,00	2122,00	16444,81
3	2122,00	2123,00	10914,02
4	2123,00	2124,00	7641,45
5	2124,00	2125,00	7647,22
6	2125,00	2126,00	7145,27
7	2126,00	2127,00	5004,86
8	2127,00	2128,00	3763,43
9	2128,00	2129,00	4362,43
10	2129,00	2130,00	5283,14
11	2130,00	2131,00	5749,67
12	2131,00	2132,00	4829,58
13	2132,00	2133,00	4219,36
14	2133,00	2134,00	4108,52
15	2134,00	2135,00	4218,97
16	2135,00	2136,00	4415,44
17	2136,00	2137,00	4437,08

18	2137,00	2138,00	4235,47
19	2138,00	2139,00	2178,54
20	2139,00	2140,00	93,71
21	2140,00	2141,00	62,63
22	2141,00	2142,00	54,31
23	2142,00	2143,00	0,01

Fuente: Elaboración propia.

La superficie obtenida con Z-Boat fue la siguiente:

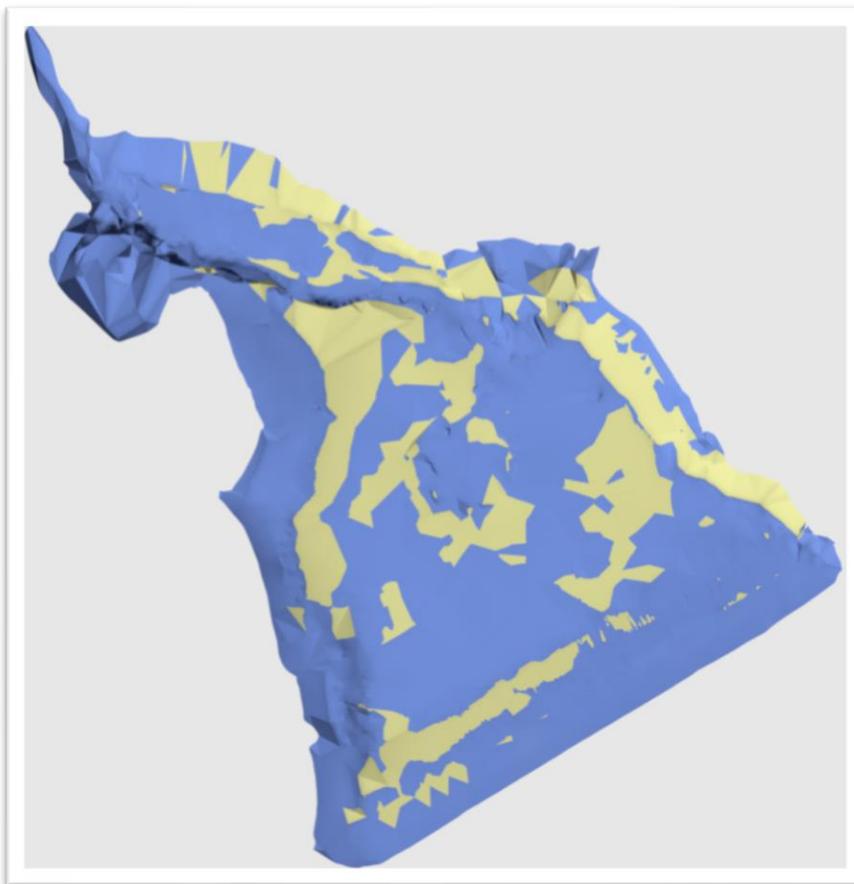


Figura 4.31. Superficie subacuática con Z-Boat.

Fuente: Elaboración propia.

Las elevaciones, vistas, cortes transversales y longitudinales de la superficie obtenida se muestran detalladamente en planos.

Cota mínima y cota máxima

La cota mínima obtenida con Z-Boat es de: 2120,00 m.s.n.m.

La cota máxima obtenida con Z-Boat es de: 2143,00 m.s.n.m.

Volumen de almacenamiento

El volumen de almacenamiento es de: $1205158,51 \text{ m}^3 = 1,205 \text{ Hm}^3$.

6.- La superficie obtenida con Z-Boat fue comparada con la superficie de referencia del año 2009 para la determinación del volumen de sedimentación, la tabla de elevaciones de la superficie de referencia con sus respectivas áreas y volúmenes fueron mostradas anteriormente.

Cota mínima y cota máxima

La cota mínima de la superficie de referencia del año 2009 es de: 2118 m.s.n.m.

La cota máxima de la superficie de referencia del año 2009 es de: 2143 m.s.n.m.

Volumen de almacenamiento

El volumen de almacenamiento de la superficie de referencia es de: $1211758,32 \text{ m}^3 = 1,212 \text{ Hm}^3$.

Volumen de sedimentación

El volumen de sedimentación obtenido mediante el método de comparación de superficies de Civil 3D, realizando la diferencia de la superficie de Z-Boat y de la superficie de referencia del año 2009 fue de: $20067,54 \text{ m}^3 = 0,02007 \text{ Hm}^3$.

Tasa de sedimentación

Considerando un volumen de sedimentación de $20067,54 \text{ m}^3$, desarrollado en el tiempo de 10 años desde el año 2009 se tiene un volumen de sedimentación anual de:

$2006,75 \text{ m}^3/\text{año}$.

El área de la cuenca Pajchani es de: 7,93 Km².

Al igual que con el Q-Boat detallado anteriormente, se consideró un suelo Mezcla Arcilla-Limo-Arena y un suelo sumergido ya que el agua no baja más de 5m. durante todo el año, por lo tanto, la mayor parte del suelo se mantiene sumergido y tiene un peso específico en promedio de 1,1 Tn. /m³.

Se tiene una tasa de sedimentación de:

$$Tasa\ de\ sedimentación = \frac{Vol\ anual \times Peso\ esp.}{Área\ cuenca}$$

$$Tasa\ de\ sedimentación = \frac{2006,75 \times 1,1}{7,93}$$

$$Tasa\ de\ sedimentación = 278,47\ Ton/Km^2/Año$$

Tabla 4. 18. Proyección de volumen de sedimentación en 50 años.

VIDA UTIL (años)	SEDIMENTO (Ton/Km²/año)	AREA CUENCA (Km²)	PESO ESPECÍFICO (Ton/m³)	VOLUMEN ANUAL (m³)	VOLUMEN MUERTO (m³)
10	278,47	7,927	1,1	2006,75	20067,50
20	278,47	7,927	1,1	2006,75	40135,00
30	278,47	7,927	1,1	2006,75	60202,50
40	278,47	7,927	1,1	2006,75	80270,00
50	278,47	7,927	1,1	2006,75	100337,50

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Resumen de los resultados obtenidos

4.4.1. Resultados de la aplicación de los Softwares WinRiver II y Hypack.

Tabla 4.19. Resumen de resultados obtenidos de la aplicación de los Softwares.

Superficie obtenida con plano de referencia del año 2009	
Cota mínima:	2118,00 m.s.n.m.
Cota máxima:	2143,00 m.s.n.m.
Resultados obtenidos con Q-Boat mediante WinRiver II	
Cota mínima:	2119,00 m.s.n.m.
Cota máxima:	2142,00 m.s.n.m.
Resultados obtenidos con Z-Boat mediante Hypack	
Cota mínima:	2120,00 m.s.n.m.
Cota máxima:	2143,00 m.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Resultados de volúmenes de almacenamiento y sedimentación.

Tabla 4.20. Resumen de volúmenes obtenidos.

Superficie obtenida con plano de referencia del año 2009	
Volumen de almacenamiento:	1211758,32 m ³ . = 1,212 Hm ³ .
Superficie obtenida con Q-Boat	
Volumen de almacenamiento:	1179152,87 m ³ . = 1,179 Hm ³ .
Volumen de sedimentación:	20333,51 m ³ . = 0,0203 Hm ³ .
Superficie obtenida con Z-Boat	
Volumen de almacenamiento:	1205158,51 m ³ . = 1,205 Hm ³ .
Volumen de sedimentación:	20067,54 m ³ . = 0,02007 Hm ³ .

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Análisis e interpretación de resultados

Las cotas mínimas y máximas de Q-Boat y Z-Boat varían 1 m. esto se debe a la utilización de diferentes técnicas en su procedimiento y la posible medición de secciones diferentes con cada equipo, sin embargo, la forma y la ubicación de las curvas de nivel resultantes son muy similares, obteniendo variaciones de almacenamiento y sedimentación muy cercanas.

Además, en comparación con la superficie de referencia del año 2009 se puede apreciar que el volumen de sedimentación del embalse no es relevante para los 10 años que tiene la presa en funcionamiento.

A continuación, se realizó la comparación técnica y económica de cada uno de los equipos empleados:

4.5.1. Comparación técnica.

Dentro de la comparación técnica se analizó las características, la metodología, la precisión y el tiempo de ejecución de cada equipo:

4.5.1.1. Características de los equipos.

Tabla 4.21. Comparación de características.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS EQUIPOS		
PARÁMETRO	Q-BOAT (ADCP)	Z-BOAT (ECOSONDA)
Eslora	180 cm	180 cm
Anchura del casco	90 cm	90 cm
Peso	30 kg	30 kg
Carga útil	30 kg	20 kg
Material del casco	Plástico ABS resistente a radiación UV	Plástico ABS resistente a radiación UV

Motor: Q-Boat 1800	Single-Brushed DC Outdrive	Mono-motor con escobillas DC
Motor: Q-Boat 1800P (HS)	Dual Brushless 24V DC Outdrive	Motor Dual sin escobillas 24V DC
MANEJO REMOTO		
Unidad de control remoto de navegación	Hitec con telemetría Vessel	Hitec con telemetría Vessel
Frecuencia del control remoto de navegación	2,40 GHz FHSS	2,40 GHz FHSS
Alcance del control remoto de navegación	1200 m	1500 m
Alcance en la telemetría de datos - Bluetooth	600 m	600 m
Alcance en la telemetría de datos – 900MHz Hydrolink	> 2000 m	> 2000 m
RENDIMIENTO		
Velocidad típica	3-4 nudos (1,5 – 2,0 m/s)	3-4 nudos (1,5 – 2,0 m/s)
Velocidad máxima:	4 nudos (2 m/s)	4 nudos (2 m/s)
Duración de la batería:	Hasta 240 minutos	Más de 240 minutos
Batería:	3 x 24V 30 Ah	3 x 24V 10 Ah

Fuente: Manual de Usuario Q-Boat y Z-Boat.

4.5.1.2. Metodología de los equipos.

Tabla 4.22. Comparación metodológica.

METODOLOGÍA		
ACTIVIDAD	Q-BOAT (ADCP)	Z-BOAT (ECOSONDA)
Preparación previa	- La metodología para un levantamiento batimétrico con Q-Boat no requiere preparación previa en el software que utiliza, simplemente es necesario un mapa o imagen satelital que sirva de guía para aproximar los recorridos.	- Para iniciar un levantamiento batimétrico con el equipo Z-Boat, es un requisito indispensable georreferenciar previamente el sitio a levantar, mediante una imagen satelital y dos o varios puntos de referencia, por lo tanto, no se puede iniciar un levantamiento sin haber realizado este procedimiento.
Parámetros que considera para el análisis	- El software WinRiver II considera el tipo de fondo del embalse, modo de agua que depende de la velocidad y forma geométrica aproximada del transecto que permiten trabajar bajo esas condiciones al programa.	- El software Hypack no considera las características del lecho del embalse como el tipo de suelo ni la velocidad del agua.

<p>Parámetro de marea</p>	<p>- El software WinRiver II no considera el parámetro de marea en la medición.</p>	<p>- El software Hypack considera la marea como un parámetro de variación de la profundidad, la cual puede ser agregada en el momento de la medición o posteriormente en la edición de datos, teniendo al menos dos alturas de marea con su respectivo horario.</p>
<p>Cambio de parámetros</p>	<p>- Los parámetros de medición de WinRiver II como el número de pings o las características del lecho del embalse pueden ser colocados o cambiados una vez terminado el trabajo de campo y el software recalcula los datos necesarios.</p>	<p>- Hypack solamente considera la marea como parámetro de medición, la cual puede ser editada en el proceso posterior al trabajo de campo.</p>
<p>Seguridad del equipo</p>	<p>- El uso de Q-Boat no incluye el cuidado del equipo a través del software que utiliza.</p>	<p>- Una medición con Z-Boat considera la seguridad del bote mediante la línea de seguridad, una vez que el bote está cerca de la línea, el software da el aviso para evitar que llegue a la orilla y el equipo se dañe.</p>

Calibración de GPS	- Para el uso de Q-Boat se realiza una calibración de GPS a través de WinRiver II para determinar la disposición de satélites, la ubicación espacial y temporal del equipo.	- Para el uso de Z-Boat no se realiza una calibración previa del GPS a través de Hypack, solamente se realiza la referenciación y georreferenciación del lugar de trabajo.
Alcance de la antena con el computador	- La conexión Bluetooth del ADCP de Q-Boat con la computadora tiene un alcance de 100 m., por lo tanto, si se requiere realizar una distancia mayor se debe desplazar el computador cerca del mismo para evitar el desenlace.	- La conexión de la ecosonda de Z-Boat con la computadora mediante la antena Rocket M5 tiene un alcance de aproximadamente 250 m.
Grabación de puntos	- Una vez iniciada la medición el Q-Boat permite grabar datos de todos los puntos del recorrido que realiza el bote generando así la nube de puntos necesaria.	- Una vez iniciada la medición el Z-Boat permite grabar datos de todos los puntos posibles del recorrido, no es necesario realizar el recorrido exactamente por la línea de sondeo dibujada, ya que esta sirve solamente de referencia.

<p>Densidad de puntos</p>	<p>- La densidad de puntos medidos depende de la señal obtenida a la hora de realizar el recorrido, mientras más cerca se encuentre el equipo del computador y menor sea la velocidad del bote habrá una mejor señal y por lo tanto, una mayor cantidad de puntos.</p>	<p>- La densidad de puntos medidos con Z-Boat está en función al tiempo, la ecosonda mide alrededor de 20 puntos por segundo, los puntos correctamente medidos dependen de la velocidad del bote, mientras más lento sea el recorrido se obtendrán menos datos dispersos para ser eliminados.</p>
<p>Distancia de banco</p>	<p>- El software WinRiver II estima la sección del transecto por la que no pasa el bote, por este motivo se introduce la distancia de banco antes de iniciar la medición de cada transecto.</p>	<p>- El software Hypack también estima la sección del transecto hasta la orilla del embalse, pero sin la introducción de la distancia de banco, lo hace directamente en función a la imagen de referencia introducida anteriormente.</p>
<p>Eliminación de datos dispersos</p>	<p>- Para la eliminación de datos dispersos es necesario primeramente exportar los puntos a una planilla de Excel y recién pueden ser eliminados, visualizando cada uno de estos.</p>	<p>- La eliminación de datos dispersos se la realiza dentro del software, el software permite eliminar estos puntos cuando están fuera del rango del perfil de la sección.</p>

Reducción de puntos	- El software WinRiver II no tiene la función de reducir la cantidad de puntos	- El software Hypack permite realizar una reducción de datos, en intervalos de distancia requerida, para tener un mejor manejo de la cantidad de puntos que mide el Z-Boat.
Otras funciones del software	- Con el software WinRiver II se pueden obtener caudales y velocidades que sirven para un análisis más profundo del flujo del embalse.	- Dentro del software Hypack se puede graficar la superficie obtenida sin necesidad de exportar los puntos, el software exporta directamente la superficie.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.1.3. Precisión de los equipos.

Tabla 4.23. Comparación de la precisión.

PRECISIÓN		
PARÁMETRO	Q-BOAT (ADCP)	Z-BOAT (ECOSONDA)
Profundidad de medición máxima	El RiverPro ADCP 1200 es un ADCP diseñado específicamente para aguas poco profundas entre un rango de 20 cm a 25 m. La profundidad máxima del embalse La Honduras según los planos de diseño de la presa es de 24 m. lo cual, nos indica que no se tiene error de la precisión con respecto a este parámetro.	La ecosonda que utiliza el equipo Z-Boat es la Ecosonda CV100, la cual es un sistema diseñado para aguas profundas en un rango de 30cm a 600m. La profundidad máxima del embalse está dentro del rango de la ecosonda, por lo tanto, con respecto al alcance de la profundidad se tendrá buena precisión.
Precisión en función a cada instrumento instalado	Cada componente del sistema RiverPro 1200 tiene su respectiva precisión, ya que son instrumentos instalados por separado y realizan mediciones por separado. A continuación, se describe la precisión de los mismos: <ul style="list-style-type: none"> - Precisión de los perfiles de la velocidad del agua: \pm 	Al igual que el ADCP cada componente del Z-Boat tiene su respectiva precisión, los cuales son descritos a continuación: <ul style="list-style-type: none"> - Precisión (Corregida por la velocidad del sonido): 200kHz - 0,01 m +/- 0,1% profundidad.

	<p>0,25% de la velocidad del agua con respecto a ADCP, ± 2 mm/s.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precisión del seguimiento inferior de la velocidad del agua: $\pm 0,25\%$ de la velocidad de fondo relativa a ADCP, ± 2 mm/s. - Precisión de las vigas inclinadas (medida de profundidad): $\pm 1\%$ 3,4. - Precisión de la viga vertical (medida de profundidad): $\pm 1\%$ 4. - Precisión de sensor estándar de temperatura: $\pm 0,5^\circ\text{C}$. - Precisión de sensor estándar de Inclinación (cabeceo y balanceo): $\pm 0,3^\circ$. - Precisión de sensor estándar de brújula: $\pm 1^\circ$. - Precisión de sensor estándar de GPS 	<p>33 kHz - 0,10 m +/- 0,1% profundidad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Precisión GPS (cabeceo y balanceo): 1°. - Precisión GPS (rumbo): $0,17^\circ$. - Precisión de la velocidad del sonido en Mini SVP: $\pm 0,02$ m/s. - Precisión de la temperatura del sonido en Mini SVP: $\pm 0,01^\circ\text{C}$. - Precisión de la presión del sonido en Mini SVP: $\pm 0,05\%$ del rango.
--	---	---

	incrustado: 3m Horizontal - 5m Vertical. - Precisión GPS (cabeceo y balanceo): 1°.	
--	---	--

Fuente: Elaboración propia.

Para un levantamiento batimétrico se analiza únicamente la medición de la profundidad y de las coordenadas obtenidas mediante GPS.

Mediante las características de cada equipo de medición se pudo determinar que el más preciso en función a su metodología es la ecosonda de Z-Boat con una precisión (Corregida por la velocidad del sonido) de:

200 kHz - 0,01 m +/- 0,1% profundidad.

33 kHz – 0,10 m +/- 0,1% profundidad.

La precisión con respecto a la ubicación es la misma ya que ambos tienen una precisión de GPS (cabeceo y balanceo) de 1°.

4.5.1.4. Tiempo empleado.

Tabla 4.24. Comparación del tiempo empleado.

TIEMPO		
ACTIVIDAD	Q-BOAT (ADCP)	Z-BOAT (ECOSONDA)
PRE-PROCESO	<p>El tiempo empleado para realizar el pre proceso del levantamiento batimétrico con el Q-Boat no es significativo, ya que se requiere solamente tiempo para la preparación de los instrumentos y elaboración de planos de referencia, y no requiere preparación en el software a utilizar.</p> <p>Para un estudio batimétrico el tiempo previsto para esta etapa es de un día.</p>	<p>El tiempo empleado para realizar el pre proceso del levantamiento batimétrico con el Z-Boat es significativo, ya que se requiere preparación en el software a utilizar como la georreferenciación, trazado del margen de seguridad y trazado de líneas de sondeo. Para realizar este procedimiento, de acuerdo al tamaño de embalse se estima una duración de 30min. por 300m. de perímetro del embalse.</p> <p>Para un estudio batimétrico el tiempo previsto para esta etapa es de un día.</p>
	<p>El tiempo empleado en el proceso de campo depende del tamaño del embalse y la cantidad de transectos por recorrer. Si se requiere una superficie más exacta del embalse se debe</p>	<p>El tiempo empleado en el proceso de campo al igual que el Q-Boat depende de la cantidad de secciones por recorrer y de acuerdo a la</p>

<p>PROCESO</p>	<p>realizar más transectos empleando un tiempo mayor.</p> <p>El tiempo empleado en el embalse La hondura, la cual tiene una superficie aproximada de 12 Ha. fue de 8 horas, realizando aproximadamente 48 transectos de 100 m. de longitud, el tiempo empleado para cada transecto fue de 3 min. a una velocidad óptima de alrededor de 1,0 m/s.</p> <p>A estas 8 horas de levantamiento de datos se le suma el tiempo de transporte al lugar, instalación y conexión de los instrumentos y de caminar al borde del embalse atravesando por lugares difíciles.</p> <p>Para un estudio batimétrico el tiempo previsto para la etapa de trabajo de campo es de 4 días, ya que siempre es necesario realizar revisiones o verificaciones después del levantamiento de datos empleando un día en este proceso.</p>	<p>exactitud que se desea medir las superficies.</p> <p>El tiempo estimado por 100m. de recorrido a una velocidad óptima que permita una correcta recolección de datos es de 3 min. de la misma forma que con el Q-Boat.</p> <p>Se debe procurar ir lo más próximo a la línea de sondeo trazada para tener un mejor control de los recorridos, pero no es indispensable.</p> <p>Para un estudio batimétrico el tiempo previsto para la etapa de trabajo de campo es de 4 días, ya que siempre es necesario realizar revisiones o verificaciones después del levantamiento de datos empleando un día en este proceso.</p> <p>El tiempo empleado en el uso de Z-Boat en esta etapa es el mismo que utilizando Q-Boat.</p>
-----------------------	--	---

POST-PROCESO	<p>Para el post procesamiento de datos, se requiere revisar cada punto obtenido del recorrido para ver si estos corresponden al perfil del transecto o son datos dispersos. El tiempo que lleva corregir los datos y exportarlos a formato de texto, es de aproximadamente 30 min. por transecto de 100m.</p>	<p>Para el post procesamiento de datos, se requiere revisar cada perfil obtenido (a diferencia del Q-Boat que se revisa cada punto) para ver si en estos perfiles no existen datos dispersos, si existen se debe proceder a la eliminación de estos. El tiempo que lleva eliminar los datos dispersos de cada perfil, es de aproximadamente 20 min. por perfil o transecto.</p>
	<p>Para un estudio batimétrico el tiempo empleado para esta etapa es de 4 días incluyendo la edición de datos, exportación, elaboración de planos e informes.</p>	<p>Para un estudio batimétrico el tiempo empleado para esta etapa es de 4 días incluyendo la edición de datos, exportación, elaboración de planos e informes de la misma forma que con Q-Boat.</p>

Fuente: Elaboración propia.

El tiempo total requerido para un levantamiento batimétrico con cada equipo es de 9 días; 1 día para pre-proceso, 4 días para el proceso y 4 días para el post-proceso, siendo 4 días de trabajo de campo y 5 días de trabajo de gabinete.

4.5.2. Comparación económica

Tabla 4.25. Comparación económica.

PRECIO DE ADQUISICIÓN DE LOS EQUIPOS	
Q-BOAT (ADCP)	Z-BOAT (ECOSONDA)
259850,00 Bs.	406200,00 Bs.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.1. Depreciación de los equipos

A continuación, se señala la depreciación de cada equipo para un tiempo de vida útil de 15 años, de acuerdo a la vida útil de maquinarias y equipos en general.

La depreciación está calculada a través del método de la suma de dígitos anuales, que consiste en un método de depreciación acelerada que busca determinar una mayor cuota de depreciación en los primeros años de vida útil del activo, cada año se rebaja el costo de desecho por lo que el resultado no será equitativo a lo largo del tiempo o de las unidades producidas, sino que irá disminuyendo progresivamente.

La fórmula que se aplica es: $(\text{Vida útil}/\text{suma dígitos}) * \text{Valor activo}$.

Tabla 4.26. Depreciación del equipo Q-Boat.

AÑO	FRACCIÓN	SUMA (VALOR) A DEPRECIAR (Bs.)	DEPRECIACIÓN ANUAL DEL EQUIPO (Bs.)
1	0,125	259850,00	50775,00
2	0,117	259850,00	30315,83
3	0,108	259850,00	28150,42
4	0,100	259850,00	25985,00
5	0,092	259850,00	23819,58
6	0,083	259850,00	21654,17

7	0,075	259850,00	19488,75
8	0,067	259850,00	17323,33
9	0,058	259850,00	15157,92
10	0,050	259850,00	12992,50
11	0,042	259850,00	10827,08
12	0,033	259850,00	8661,67
13	0,025	259850,00	6496,25
14	0,017	259850,00	4330,83
15	0,008	259850,00	2165,42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.27. Depreciación del Z-Boat.

AÑO	FRACCIÓN	SUMA (VALOR) A DEPRECIAR (Bs.)	DEPRECIACIÓN ANUAL DEL EQUIPO (Bs.)
1	0,125	406200,00	50775,00
2	0,117	406200,00	47390,00
3	0,108	406200,00	44005,00
4	0,100	406200,00	40620,00
5	0,092	406200,00	37235,00
6	0,083	406200,00	33850,00
7	0,075	406200,00	30465,00
8	0,067	406200,00	27080,00
9	0,058	406200,00	23695,00

10	0,050	406200,00	20310,00
11	0,042	406200,00	16925,00
12	0,033	406200,00	13540,00
13	0,025	406200,00	10155,00
14	0,017	406200,00	6770,00
15	0,008	406200,00	3385,00

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.2. Presupuesto para realizar un levantamiento batimétrico con "Q-Boat".

A continuación, se detalla el presupuesto para realizar un levantamiento batimétrico considerando todo lo necesario para la realización del mismo; la colocación de pares geodésicos para lo cual se proyectan 5 días, la topografía para lo cual se proyectan 6 días y la batimetría proyectando en 9 días, obteniendo el tiempo total para un estudio topobatimétrico de 20 días.

Tabla 4.28. Honorarios del personal asignado "Q-Boat".

HONORARIOS DIARIOS DEL PERSONAL ASIGNADO (Bs.)						
	Especialidad	Nº	Periodo trabajo campo	Periodo trabajo gabinete	Honorario/ periodo (Bs.)	Costo honorarios (Bs.)
Profesionales						
1	Gerente (coordinador general)	1	10 día	10 día	750,00	15000,00
2	Especialista en cartografía y geodesia	1	3 día	2 día	750,00	3750,00
3	Especialista en batimetrías	1	4 día	5 día	750,00	6750,00
4	Ingeniero topográfico	1	3 día	3 día	750,00	4500,00

5	Ingeniero auxiliar	1	10 día	10 día	500,00	10000,00
Técnicos						
1	Técnico Topógrafo	1	3 día	3 día	150,00	900,00
2	Dibujante y auxiliar	1	10 día	10 día	150,00	3000,00
Administrativos						
1	Secretaria	1	10 día	10 día	125,00	2500,00
Auxiliares						
1	Alarife	2	3 día	0 día	75,00	225,00
2	Ayudante de batimetría	2	4 día	0 día	75,00	300,00
3	Chofer de vehículo	1	10 día	0 día	150,00	1500,00
TOTAL						48425,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.29. Detalle de alquileres y misceláneos "Q-Boat".

DETALLE DE ALQUILERES Y MISCELÁNEOS					
N°	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO (Bs.)	COSTO TOTAL (Bs.)
1	Equipo portatil de posicionamiento global	1	pza	1200	1200
2	Alquiler Estación total	3	día	100	300
3	Alquiler Equipo batimetría	4	día	300	1200
4	Mantenimiento equipo de batimetria	1	día	100	100
5	Alquiler camioneta	10	día	50	1200

6	Combustible camioneta	10	día	200	150
7	Alquiler generador eléctrico	10	día	50	500
8	Alquiler bote	4	día	100	400
9	Computadoras portátiles	1	pza	1900	1900
10	Impresora	1	pza	450	450
11	Plotter para la impresión de planos	3	día	175	525
12	Comunicaciones	20	día	125	2500
13	Estipendios	140	pza	55	7700
14	Informes	3	pza	400	1200
TOTAL					19325,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.30. Relación de instalaciones y equipamiento “Q-Boat”.

RELACIÓN DE INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO		
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	MONTO (Bs.)
VEHÍCULOS	Alquiler, combustible.	1350,00
EQUIPO PRINCIPAL	GPS, Estación total, Equipo de batimetría, computadora.	4700,00
EQUIPO SECUNDARIO	Generador eléctrico, bote, impresoras, plotter.	1875,00
EQUIPO DE APOYO	Comunicaciones, estipendios.	10200,00
OTROS	Informes	1200,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.31. Presupuesto total del costo “Q-Boat”.

PRESUPUESTO TOTAL DEL COSTO			
DESCRIPCIÓN		Monto (Bs.)	
I	COSTOS DIRECTOS		
	A	Honorarios mensuales del personal asignado	48425,00
	B	Alquiler y Misceláneos	19325,00
	SUB TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B)		67750,00
II	COSTOS INDIRECTOS		
	C	Gastos Generales.	6775,00
	D	Impuestos y otros (*).	11924,00
	SUB TOTAL COSTOS INDIRECTOS (C+D)		18699,00
III	UTILIDAD	8644,90	
COSTO TOTAL DEL SERVICIO (I + II + III)		95093,90	

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2.3. Presupuesto para realizar un levantamiento batimétrico con “Z-Boat”.

Tabla 4.32. Honorarios diarios del personal asignado “Z-Boat”.

HONORARIOS DIARIOS DEL PERSONAL ASIGNADO (Bs.)						
	Especialidad	Nº	Periodo trabajo campo	Periodo trabajo gabinete	Honorario/ periodo (Bs.)	Costo honorarios (Bs.)
Profesionales						
1	Gerente	1	10 día	10 día	750,00	15000,00
2	Especialista en cartografía y geodesia	1	3 día	2 día	750,00	3750,00
3	Especialista en batimetrías	1	4 día	5 día	750,00	6750,00
4	Ingeniero topógrafo	1	3 día	3 día	750,00	4500,00
5	Ingeniero auxiliar	1	10 día	10 día	500,00	10000,00
Técnicos						
1	Técnico Topógrafo	1	3 día	3 día	150,00	900,00
2	Dibujante y auxiliar	1	10 día	10 día	150,00	3000,00
Administrativos						
1	Secretaria	1	10 día	10 día	125,00	2500,00
Auxiliares						
1	Alarife	2	3 día	0 día	75,00	225,00
2	Ayudante	2	4 día	0 día	75,00	300,00
3	Chofer de vehículo	1	10 día	0 día	150,00	1500,00
TOTAL						48425,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.33. Detalle de alquileres y misceláneos “Z-Boat”.

DETALLE DE ALQUILERES Y MISCELÁNEOS					
N°	CONCEPTO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO (Bs.)	COSTO TOTAL (Bs.)
1	Equipo portatil de posicionamiento global	1	pza	1200	1200
2	Alquiler Estación total	3	día	100	300
3	Alquiler Equipo batimetría	4	día	600	2400
4	Mantenimiento equipo	1	día	100	100
5	Alquiler camioneta	10	día	50	1200
6	Combustible camioneta	10	día	200	150
7	Alquiler generador eléctrico	10	día	50	500
8	Alquiler bote	4	día	100	400
9	Computadoras portátiles	1	pza	1900	1900
10	Impresora	1	pza	450	450
11	Plotter para la impresión de planos	3	día	175	525
12	Comunicaciones	20	día	125	2500
13	Estipendios	140	pza	55	7700
14	Informes	3	pza	500	1500
TOTAL					20825,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.34. Relación de instalaciones y equipamiento “Z-Boat”.

RELACIÓN DE INSTALACIONES Y EQUIPAMIENTO		
CONCEPTO	DESCRIPCIÓN	MONTO (Bs.)
VEHÍCULOS	Alquiler, combustible.	1350,00
EQUIPO PRINCIPAL	GPS, Estación total, Equipo de batimetría, computadora.	5900,00
EQUIPO SECUNDARIO	Generador eléctrico, bote, impresoras, plotter.	1875,00
EQUIPO DE APOYO	Comunicaciones, estipendios.	10200,00
OTROS	Informes	1500,00

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.35. Presupuesto total del costo “Z-Boat”.

PRESUPUESTO TOTAL DEL COSTO			
DESCRIPCIÓN		Monto (Bs.)	
I	COSTOS DIRECTOS		
	A	Honorarios mensuales del personal asignado.	48425,00
	B	Alquiler y Misceláneos.	20825,00
	SUB TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B)		69250,00
II	COSTOS INDIRECTOS		
	C	Gastos Generales.	6925,00
	D	Impuestos y otros (*).	12188,00
	SUB TOTAL COSTOS INDIRECTOS (C+D)		19113,00
III	UTILIDAD	8836,30	

COSTO TOTAL DEL SERVICIO (I + II + III)	97199,30
--	-----------------

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 36. Resumen de la comparación económica.

Resumen de los resultados obtenidos		
	Q-Boat	Z-Boat
Costo de adquisición (Bs.)	259850,00	406200,00
Costo de los equipos en 15 años (Bs.)	2165,42	3385,00
Presupuesto total del servicio de batimetría (Bs.)	95093,90	97199,30

Fuente: Elaboración propia.

Los presupuestos para la realización de los levantamientos batimétricos solamente se diferencian en el alquiler de los equipos, obteniendo que el alquiler del Z-Boat es más costoso que el alquiler del Q-Boat por su metodología y precisión.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En base a los objetivos planteados se concluye lo siguiente:

1.- La recopilación de información bibliográfica de diferentes fuentes, ha permitido fundamentar y dimensionar el trabajo, además de manejar los equipos empleados, obteniendo de esta manera los datos esperados, sin embargo, dentro del laboratorio de Hidráulica existe deficiencia con relación a la información del uso de los equipos.

2.- Se realizó el levantamiento batimétrico, de la presa La Honduras, empleando los dos equipos, obteniendo los datos programados y en lo que concierne a su aplicación concluimos lo siguiente:

- Se requiere de un equipo de trabajo tanto para el Q-Boat como para el Z-Boat conformado al menos por cuatro personas, tres personas para movilizar la embarcación hasta que esté en contacto seguro con el agua, debido al peso del bote, y una persona que se encargue de realizar las conexiones de antenas y configurar los sensores con el software.
- Posteriormente, las tareas como manejo del control remoto del bote, manejo de la computadora en la medición de datos, transporte de los equipos del sitio de trabajo para una mejor visibilidad durante el levantamiento y tareas menores serán repartidas entre el grupo según la necesidad.
- El tiempo de trabajo con Q-Boat fue de aproximadamente seis horas por día, incluyendo dos horas de transporte ida y vuelta, dos horas de conexiones y caminata alrededor del embalse y dos horas de levantamiento de puntos.
- El tiempo de trabajo con Z-Boat fue el mismo que con Q-Boat de seis horas por día, incluyendo dos horas de transporte ida y vuelta, dos horas de conexiones y caminata alrededor del embalse y dos horas de levantamiento de puntos.

- Un levantamiento batimétrico con Q-Boat es económicamente más accesible que el Z-Boat, pero esta diferencia no es relevante ya que la diferencia está únicamente en el alquiler del equipo que por la precisión del Z-Boat es mayor.
- El presupuesto para el trabajo de campo de ambos equipos es el mismo ya que se necesita el mismo personal, el mismo transporte del equipo y las conexiones y procedimientos a realizar son similares.

3.- Por la aplicación de los softwares WinRiver II y Hypack se pudo concluir lo siguiente:

- El equipo Q-Boat, no requiere un pre – proceso de aplicación en WinRiver II lo que facilita el inicio de la ejecución del levantamiento batimétrico a diferencia del Z-Boat que requiere un pre – proceso en Hypack para poder iniciar el levantamiento batimétrico.
- El Software Hypack considera una línea de seguridad como margen de recorrido del equipo durante las mediciones, a diferencia del software WinRiver II que no considera este aspecto.
- Para el post – proceso; la obtención y exportación de resultados finales con Z-Boat mediante Hypack se trabajan todas las secciones o perfiles medidos en conjunto, es decir se exportan todos los puntos a la vez, a diferencia del Q-Boat que los resultados deben ser exportados transecto por transecto, concluyendo de esta manera que el tiempo empleado en el post – proceso con el uso de Hypack fue menor que el empleado con WinRiver II.
- La medición con Z-Boat brinda mayor cantidad de puntos que el Q-Boat, pero estos puntos pueden ser reducidos a través de Hypack a la distancia deseada determinando de esta manera que el Z-Boat puede dar una superficie más exacta debido a la densidad de puntos, por lo tanto, una medición más precisa.

4.- De acuerdo a los volúmenes obtenidos con Q-Boat se tiene:

- El volumen de almacenamiento obtenido con Q-Boat es de: $1179152,87 \text{ m}^3 = 1,179 \text{ Hm}^3$.

- El volumen de sedimentación obtenido con Q-Boat es de: $20333,51 \text{ m}^3 = 0,0203 \text{ Hm}^3$.

5.- De acuerdo a los volúmenes obtenidos con Z-Boat se tiene:

- El volumen de almacenamiento obtenido con Z-Boat es de: $1205158,51 \text{ m}^3 = 1,205 \text{ Hm}^3$.
- El volumen de sedimentación obtenido con Z-Boat es de: $20067,54 \text{ m}^3 = 0,02007 \text{ Hm}^3$.

6.- El método de Ecosonda con el equipo Z-Boat es el más conveniente a emplear en levantamientos batimétricos en embalses.

- La diferencia de dificultad del uso de cada equipo en función de la metodología no es relevante, por lo tanto, determinamos al equipo más conveniente de acuerdo a la precisión.
- El Z-Boat tiene mejor precisión de acuerdo a sus características, mide entre un rango de profundidad de 30 cm a 600 m y el Q-Boat tiene un rango de 20 cm a 25 m, lo cual nos indica que el equipo Z-Boat podrá medir embalses de grandes profundidades y el Q-Boat podrá medir únicamente embalses pequeños de características similares a la presa La Hondura.
- El tiempo utilizado para el uso de cada equipo es el mismo.
- La diferencia de los presupuestos de cada uno de los equipos se basa solamente en el alquiler del equipo; el personal, materiales secundarios, transporte, equipo de apoyo y estipendios es el mismo.
- El presupuesto para un levantamiento batimétrico con Q-Boat es de: 95.093,90 Bs.
- El presupuesto para un levantamiento batimétrico con Z-Boat es de: 97.199,30 Bs.

5.2. Recomendaciones

- En ambos métodos utilizados es necesario la obtención de mayor cantidad de puntos, por lo tanto, más recorridos para lograr una mejor precisión de la superficie subacuática.
- La edición de datos es fundamental para la obtención de la superficie, se debe procurar mantener la mayor cantidad de puntos y eliminar todos los puntos dispersos.
- En el caso del equipo Z-Boat se recomienda la implementación de un generador de energía para poder alargar las horas de trabajo de la batería de la antena Rocket M5, o la implementación de una nueva batería.
- Se sugiere una lancha a motor para poder navegar en el embalse al mismo tiempo en que se realizan los levantamientos, para lograr recorridos de mayor alcance y prevenir cualquier incidente de los equipos durante el levantamiento.
- Se requiere personal que informe y capacite sobre el uso de los equipos, ya que no existe mucha información, dificultando e impidiendo un buen uso de los mismos.