

**INFORME DE AUDITORÍA
CAPACIDAD DE REGULACIÓN
TRANQUE SAUZAL CENTRAL SAUZAL
ENDESA
DIRECCIÓN DE OPERACIÓN
CDEC SIC**

Septiembre de 2016

Contenido

1. Antecedentes generales de la instalación a Auditar	3
2. Objetivo de la Auditoría.....	3
3. Metodología.....	3
4. Desarrollo y resultados.....	3
5. Conclusiones	4
6. ANEXO.....	5

1. Antecedentes generales de la instalación a Auditar

El Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central (CDEC SIC) tiene entre sus funciones la coordinación de la operación segura y económica del Sistema Interconectado Central (SIC).

Para ello, la Dirección de Operación (DO) del CDEC SIC, de acuerdo a lo dispuesto en el artículo 36 letra m) del DS 291/2007, puede realizar las auditorías que considere necesarias para el cumplimiento de sus funciones.

Por otra parte, la capacidad de regulación de las centrales del SIC es un factor relevante en la operación económica del sistema. Así, la DO del CDEC SIC ha decidido realizar una auditoría para verificar la capacidad de regulación que han declarado los Coordinados que disponen de centrales con embalses de capacidad de regulación intradiaria. En este caso, se ha optado por la verificación de las centrales de la cuenca del Cachapoal.

Este Informe de Auditoría muestra los resultados de la verificación para el caso del Tranque Sauzal de la central Sauzal. La realización de la Auditoría fue notificada al Coordinado (Endesa) el 13 de julio de 2016.

El tranque Sauzal, de la central Sauzal de Endesa, está ubicado a 36 kilómetros al este de la ciudad de Rancagua, en la ruta H255, en la ribera norte del río Cachapoal, Región de O'Higgins (coordenadas 352500 E, 6208300 S, cuadrícula H19), con una superficie aproximada de 190.000 m².

El desarrollo de esta auditoría, se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de las Auditorías Técnicas definidas en la Norma Técnica de Seguridad y Calidad de Servicio y sus anexos, según acuerdo del Directorio del CDEC SIC.

2. Objetivo de la Auditoría

El objetivo de la auditoría es verificar que la capacidad de regulación que posee el tranque Sauzal de la central Sauzal, informado por Endesa en fax GC-N°0098 del 11 de mayo de 2016 como respuesta a carta DO N°0465/2016, es al menos la que resulte del proceso de auditoría.

3. Metodología

Para el desarrollo de esta auditoría, la Dirección de Operación ha contratado los servicios de un Consultor experto en materias de levantamientos batimétricos. El Consultor para estos Servicios ha sido la empresa Geosoluciones Ingenieros y Consultores Ltda., quien utilizó la metodología descrita en su informe de levantamiento top-batimétrico, incluido en el Anexo de este informe, para el desarrollo de los servicios.

4. Desarrollo y resultados

La visita a las instalaciones del tranque Chupallal, se realizó el 03 de agosto del 2016. La información levantada en terreno, permitió construir modelos batimétricos y modelos de sedimentación del tranque en su condición actual.

Las estimaciones de volumen se realizaron considerando la capacidad teórica del tranque según la topografía de diseño entregada por Endesa y posteriormente se compararon los resultados obtenidos por el consultor (Geosoluciones) con los valores informados por Endesa el 11 de mayo de 2016.

Los resultados del consultor se encuentran contenidos en el punto N°3 de su informe levantamiento topográfico, incluido en el Anexo de este Informe de Auditoría.

5. Conclusiones

Basados en las mediciones, los registros en terreno y los antecedentes que se han tenido a la vista en este proceso de auditoría, se puede afirmar que la capacidad de regulación intradiaria del tranque Sauzal cumple con ser mayor a la informada por Endesa el 11 de mayo de 2016.

6. Comentarios finales

Si bien el volumen de regulación que se puede desprender de la metodología empleada por Geosoluciones es mayor que los 96.000 m³ informados por el auditado, posibles explicaciones de la diferencia (107.000 m³) puede encontrarse en lo siguiente

- La cota mínima del tranque, coincidente con la cota piso del canal es 736,0 m.s.n.m. Sin embargo, el Auditado informó que la cota operacional mínima establecida en su orden de operación es la 736,5 m.s.n.m.
- Aun cuando la cota operacional mínima establecida por orden de operación es 736,5 m.s.n.m., la práctica indica que el nivel del tranque no es bajado más allá de la cota 736,7 m.s.n.m.
- En cotas de operación baja, aparecen “pozones” aislados que no forman parte del volumen de regulación disponibles.

Se podría estimar que estos efectos dan cuenta de una diferencia de volumen de regulación entre 30.000 y 95.000 m³.

7. ANEXO

INFORME DE LEVANTAMIENTO TOPO-BATIMÉTRICO TRANQUE SAUZAL – CENTRAL SAUZAL - ENDESA -

VI Región del Libertador General Bernardo O'Higgins

Fecha del Levantamiento: 03/08/2016

Fecha del Informe: 29/08/2016

<i>Redactado por:</i>	<i>A la atención de:</i>
Ing. MSc. José Sánchez jsanchez@geosoluciones.cl Tel. +56 9 9496 7282 GEOSOLUCIONES	Sr. Iván Zambrano izambrano@cdecsic.cl Tel. +56 2 2424 6457 CDEC SIC



TABLA DE CONTENIDOS

<u>Temas</u>	<u>Página</u>
1. RESUMEN EJECUTIVO	3
2. METODOLOGÍA	3
2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO BATIMÉTRICO	5
2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO	6
2.3 PUNTO DE APOYO GEODÉSICO	7
2.4 MODO DE LEVANTAMIENTO	7
3. RESULTADOS	9
3.1 MODELO BATIMÉTRICO	10
3.2 MODELO DE SEDIMENTACIÓN	10
3.3 CALCULO DE VOLÚMENES	11
4. CONCLUSIONES	12

1. RESUMEN EJECUTIVO

El Centro de Despacho Económico de Carga del Sistema Interconectado Central (CDECSIC) encargó a Geosoluciones un levantamiento batimétrico en el tranque Sauzal de la Central Sauzal, propiedad de ENDESA, con el fin de verificar el volumen de regulación del tranque.



Figura 1: Vista general del proyecto.

Fuente: Mosaico procedente de vuelo fotogramétrico UAV. Geosoluciones.

De acuerdo con la información disponible y basándonos en el análisis realizado a partir de los datos levantados en terreno junto con la documentación entregada por el propietario de las instalaciones a través del CDEC SIC, el volumen máximo de regulación del tranque Sauzal es de 203.100 m^3 . Los resultados alcanzados en el presente informe se detallan en el apartado 3.3.

2. METODOLOGÍA

Para realizar el levantamiento batimétrico requerido, Geosoluciones utilizó tecnología de última generación, consistente en un bote científico radio controlado equipado con brújula, sistema GNSS RTK y ecosonda monohaz.



Figura 2: Equipo Z-Boat 1800HS utilizado. Fuente: Geosoluciones.

El bote oceanográfico Z-Boat constituye una nueva opción para realizar levantamientos batimétricos en aguas poco profundas. Obtiene datos batimétricos allí donde los métodos convencionales no son prácticos o seguros. Evita la movilización de un barco de trabajo por un tiempo elevado y la realización de trabajos en entornos potencialmente peligrosos para el trabajador.

El Z-Boat utiliza un avanzado sistema de control remoto que le permite realizar levantamientos batimétricos a distancia, con un alcance máximo de 1500 metros. Los datos del levantamiento son transmitidos en tiempo real a la posición del operador en la orilla, evitando pérdidas por traspaso de información y pudiendo revisar los datos batimétricos en tiempo real.

El Z-Boat es resistente a la corrosión de las aguas contaminadas, convirtiéndose en un instrumento ideal para la gestión y el manejo de aguas industriales, tales como desechos de la minería, balsas de residuos o fosas de lixiviados.

Para determinar el límite de la lámina de agua de manera rápida y evitando riesgos para el operador, Geosoluciones realizó un vuelo fotogramétrico utilizando un vehículo aéreo no tripulado (UAV en sus siglas en inglés) de tipo multirroto.



Figura 3: Equipo SteadiDrone Mavrik utilizado. Fuente: Geosoluciones.

El multirrotor Mavrik de SteadiDrone es una máquina portátil, duradera y actualizable que además cuenta con diversos sistemas de control de vuelo avanzados. A diferencia de otros aviones no tripulados, su fuselaje está hecho de fibra de carbono en lugar de plástico. Cuenta con un sistema completo de navegación GPS que le permite realizar de forma autónoma misiones de vuelo preestablecidas con alta precisión.

Para ayudar a mantenerlo estable en el aire, el UAV cuenta con un sistema especial de reducción de vibración incorporado en los soportes que unen los motores al fuselaje, además de un sistema de estabilización de dos ejes. Estos sistemas aportan al equipo agilidad y alto rendimiento.

A diferencia de los UAV de tipo ala fija, el diseño de los multirrotores de SteadiDrone ofrece un despegue y aterrizaje seguro y preciso.

2.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO BATIMÉTRICO

A continuación se detallan las principales características del sistema batimétrico:

Teledyne Oceanscience Z-Boat 1800 High Speed	
Características físicas	
Eslora	180 cm
Anchura del casco	90 cm
Peso	30 kg
Carga útil	20 kg
Material del casco	Plástico ABS resistente a la corrosión
Motor	Dos motores 24V DC
Navegación y telemetría	
Unidad de control remoto	Hitec Aurora 9, 2,4GHz FHSS
Alcance del control remoto	1500 m
Radio Modem para telemetría de datos	HydroLink SL, 900 MHz
Alcance telemetría de datos	> 2000 m
Rendimiento	
Velocidad típica	3-4 nudos (1.5-2.0 m/s)

Velocidad máxima	10 nudos (5 m/s)
Duración de la batería	240 minutos
Equipamiento de abordó	
GNSS Rover Geodésico	
Marca y modelo	CHC X91
Seguimiento de señales	220 canales GPS, GLONASS
Precisión RTK	H (10mm+1ppm), V (20mm+1ppm) RMS
Ecosonda Monohaz Monofrecuencia	
Marca y modelo	Aimar SS510 Smart Sensor
Frecuencia	200 KHz
Anchura del haz	6º
Rango de medición	0,5 – 100 metros.
Resolución	3 cm
Precisión	0,02 m ±0,1% de la profundidad
Frecuencia de salida	1 Hz
Brújula Marina	
Marca y modelo	NASA Marine Compass Sensor
Precisión	± 2º
Frecuencia de salida	1Hz

Tabla 1: Características del Z-Boat 1800 HS. Configuración GeoSoluciones.

2.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPAMIENTO FOTOGRAMÉTRICO

A continuación se detallan las principales características técnicas del sistema UAV:



Figura 4: Dimensiones del SteadiDrone UAV.

UAV SteadiDrone	
Características físicas del dron	
Peso	1500 g sin carga, sin batería
Carga útil	100 – 400 g / máximo 800 g
Tiempo de vuelo	Hasta 20 minutos
Velocidad máxima	50 Km/h
Material del chasis	Fibra de vidrio
Tipo de batería	Polímero de Litio
Rango de operación manual	2 Km
Frecuencia de operación	2,4 GHz
Modos de operación	Manual, autopiloto, seguimiento
Soporte para cámara	Gimbal con giróscopo estabilizador
Características de la cámara fotográfica	
Marca	GoPro
Modelo	H3+
Resolución	12 Megapíxeles
Tamaño de imagen	4000 x 3000 pixeles

Tabla 2: Características del sistema UAV. Configuración Geosoluciones.

2.3 PUNTO DE APOYO GEODÉSICO

Para desarrollar la topo-batimetría del sector con alta precisión el levantamiento se apoyó en un punto de referencia ubicado en la zona noreste del tranque. Este punto fue utilizado como referencia para el posicionamiento preciso mediante sistemas GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite) aplicando para ello metodología de posicionamiento RTK (Posicionamiento Cinemático en tiempo Real), consiguiendo de este modo precisiones centimétricas en todas las mediciones realizadas.



Figura 5: Ubicación del Punto de Referencia utilizado. Fuente: Geosoluciones.

A continuación se muestran las coordenadas del PR utilizadas por Geosoluciones:

Punto	Coordenadas WGS84 UTM H19S		
	Este (m)	Norte (m)	H EGM08
PR	352.152,237	6.208.540,789	758,460

Tabla 3: Coordenadas del Punto de Referencia. Fuente: Geosoluciones.

2.4 MODO DE LEVANTAMIENTO

Con el fin de garantizar una adecuada distribución espacial de los datos y facilitar la repetitividad del proceso y posterior comparación entre diferentes levantamientos, se han predefinido secciones transversales y longitudinales con una equidistancia de 25 y 50 metros respectivamente.

Durante la operación del equipo se siguieron dichas secciones en la medida de lo posible, para conseguir de este modo un conjunto de datos representativo de la topografía del tranque.

Las siguientes imágenes muestran la distribución de las distintas secciones así como el track realizado finalmente por el Z-Boat.

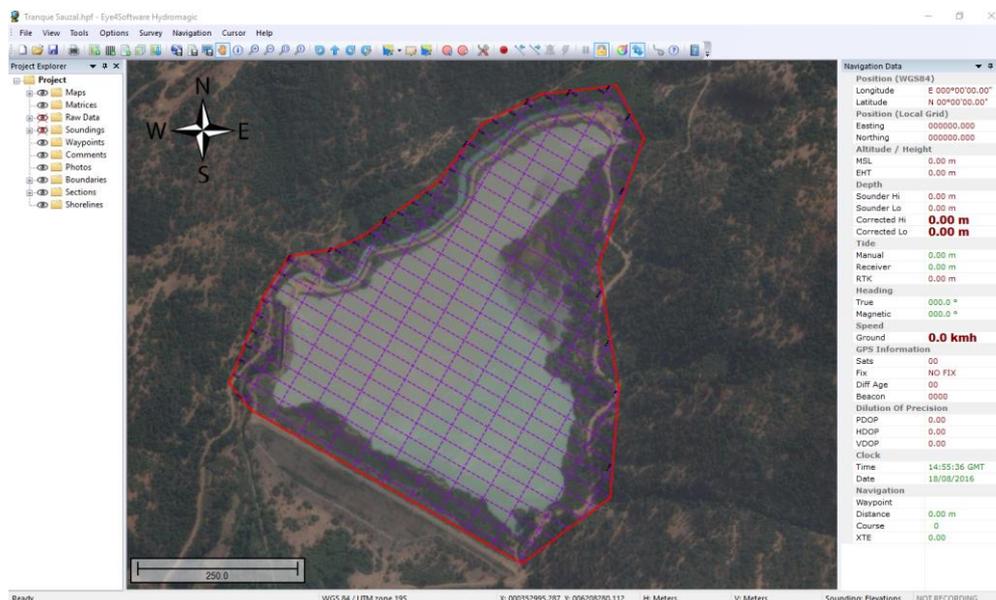


Figura 6: Secciones planificadas. Fuente: Geosoluciones.

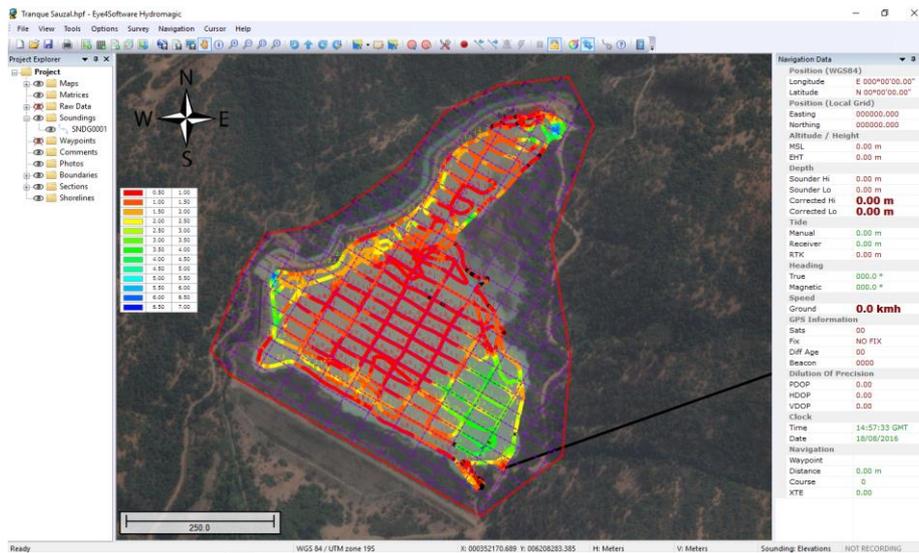


Figura 7: Track del Z-Boat durante el proceso de levantamiento. Fuente: Geosoluciones.

3. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras el levantamiento topo-batimétrico realizado el día 3 de Agosto de 2016 en el tranque Sauzal.

Levantamiento Batimétrico	
Cantidad de Puntos	18.822
*Cota del Piso del Canal	736 m
*Cota Máxima del Tranque	738 m
Volumen de Regulación a Cota Máxima	203,1 m ³
Volumen de Sedimentos	98,1 m ³
Volumen Total de Sedimentos	1201,7 m ³
Cota Espejo de Agua 3/8/16	737,91 m
Cota Máxima Profundidad	730,39 m
Profundidad Máxima	7,52 m
Levantamiento Fotogramétrico	
Cantidad de Fotografías	89
Altura de Vuelo	200 m
Solapamiento Longitudinal	80%
Solapamiento Transversal	60%
Número de Puntos de Control Terrestre	5
Resolución del Mosaico	10 cm/pixel
Superficie del Mosaico	40,45 ha
Nube de Puntos 3D	3.479.293 puntos
Densidad de Puntos 3D	9 puntos/m ²

* **Valores No Medidos en Terreno.** Datos obtenidos a partir de información entregada por Pacific Hydro a través de CDEC SIC.

Tabla 4: Resultados Numéricos del Levantamiento Topo-Batimétrico. Fuente: Geosoluciones.

3.1 MODELO BATIMÉTRICO

Estos modelos se han obtenido directamente a partir de las mediciones de profundidad bajo la lámina de agua, cota ortométrica de la misma el día del levantamiento y superficie del espejo de agua procedente del levantamiento fotogramétrico mediante UAV realizado el mismo día.

La altura de la lámina de agua en la fecha del levantamiento ha sido facilitada por ENDESA.

Al final del presente informe se presentan las siguientes láminas:

- Modelo Batimétrico - Tranque Sauzal (Formato A3).
- Modelo de Profundidad - Tranque Sauzal (Formato A3).

3.2 MODELO DE SEDIMENTACIÓN

Este modelo se ha obtenido por diferencia de superficies entre el modelo topo-batimétrico obtenido a partir del levantamiento de 03/08/2016 y el modelo batimétrico facilitado por Endesa con fecha de 1952.

Previo a la cubicación del sedimento fue necesario realizar un proceso de georreferenciación y digitalización de la batimetría original de 1952.

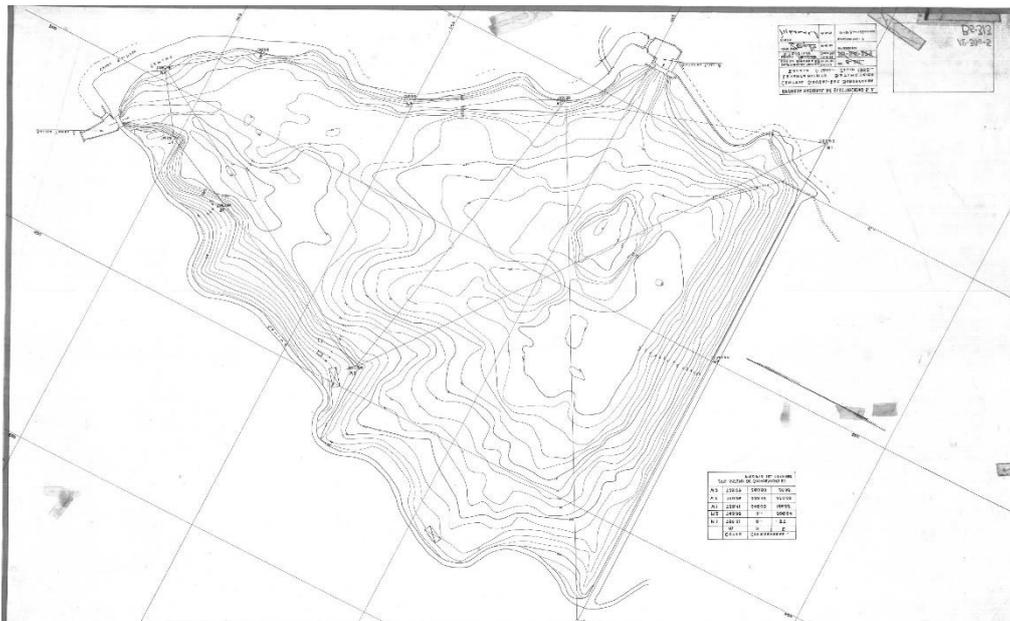


Figura 8: Batimetría original de 1952 Tranque Sauzal. Fuente: Endesa.

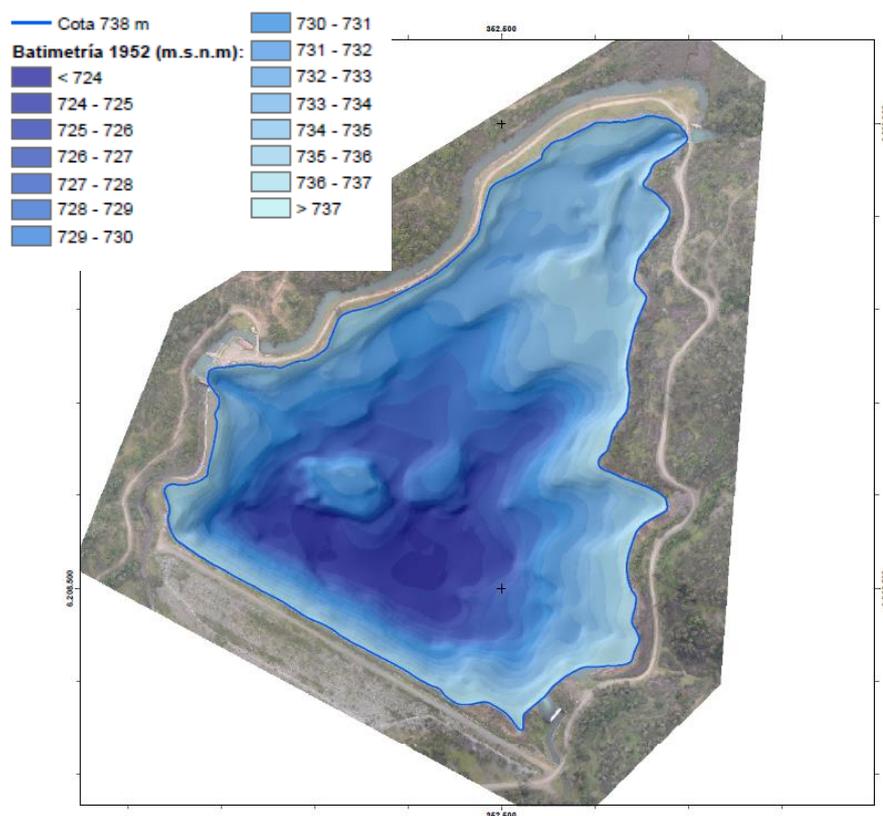


Figura 9: Batimetría 1952 tras georreferenciación y digitalización. Fuente: Geosoluciones.

Al final del presente informe se presentan las siguientes láminas:

- Modelo Batimétrico 1952 – Tranque Sauzal (Formato A3).
- Modelo de Sedimentación - Tranque Sauzal (Formato A3).

3.3 CALCULO DE VOLÚMENES

Para realizar las diferentes cubicaciones en función de la capacidad actual del tranque se construyó un modelo topo-batimétrico a partir de la topografía procedente del vuelo fotogramétrico y la batimetría procedente del levantamiento bajo la lámina de agua. De este modo se generó una superficie integral que representa con precisión la topografía actual del tranque sobre y bajo la lámina de agua.

A partir del modelo topo-batimétrico se han generado distintas cubicaciones desde la cota del piso del canal hasta la cota máxima del tranque con incrementos de 0,5 metros.

Posteriormente se compararon los resultados obtenidos por Geosoluciones con los valores informados por Endesa correspondientes al día 30 de Octubre de 2015 para los mismos planos de referencia.

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

Capacidad del Tranque informada por Endesa a 30 de Octubre de 2015		Capacidad del Tranque según Geosoluciones a 3 de Agosto de 2016			
Cota	Volumen de Regulación	Superficie Lámina de Agua	Capacidad del Tranque	Volumen de regulación	Volumen de Sedimentos
msnm	miles m ³	ha	miles m ³	miles m ³	miles m ³
736	0,0	0,7	0,0	0,0	1103,6
736,5	0,0	4,8	72,3	20,1	1155,8
737	23,0	10,4	150,4	63,5	1190,5
737,5	51,0	14,6	225,9	128,9	1200,6
738	96,0	15,1	301,2	203,1	1201,7
TOTAL	96,0		301,2	203,1	98,1

Tabla 5: Valores informados por Endesa y Conclusiones Obtenidas por Geosoluciones.

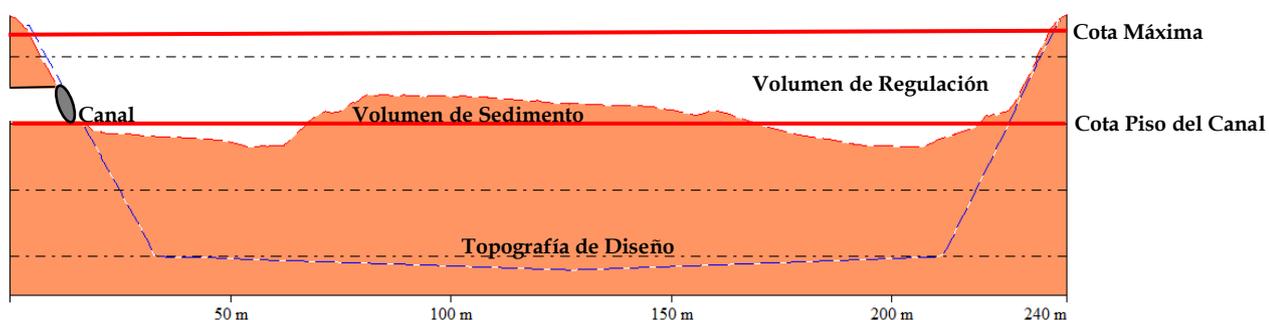
4. CONCLUSIONES

La cota del espejo de agua a 3 de Agosto de 2016 es de **737,910 m**.

El volumen de regulación a 3 de Agosto de 2016 alcanza un total de **203.100 m³**.

El volumen de sedimento a 3 de Agosto de 2016 alcanza un total de **98.100 m³**.

De acuerdo con la información disponible y basándonos en el análisis realizado a partir de los datos levantados en terreno junto con la documentación entregada por el propietario de las instalaciones a través del CDEC SIC, el volumen máximo de regulación del tranque Sauzal es de 203.100 m³. El volumen de embancamiento es de 98.100 m³.



$$V_{Regulación} = V_{Cota Máxima} - V_{Cota Piso Canal} - V_{Sedimento}$$

Figura 10: Esquema del Volumen de Regulación de un Tranque. Fuente: Geosoluciones.

Modelo Batimétrico - Tranque Sauzal

Leyenda:

- Lámina de Agua
- Cota Piso Canal**
 - 736 m
- Cota Máxima**
 - 738 m
- Batimetría (msnm):**
 - < 731
 - 731 - 732
 - 732 - 733
 - 733 - 734
 - 734 - 735
 - 735 - 736
 - 736 - 737
 - > 737

Información del Tranque:

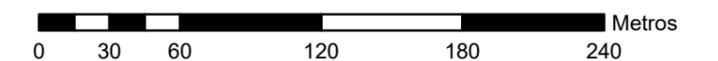
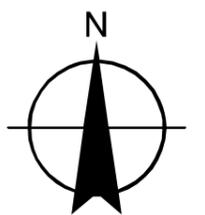
Fecha del levantamiento batimétrico: 03/08/2016
Fecha del levantamiento fotogramétrico: 03/08/2016
Empresa propietaria: ENDESA
Instalación: Central Sauzal
Nombre del tranque: Sauzal
Volumen de regulación: 203.100 m³
Volumen de sedimentos: 98.100 m³
Cota s.n.m.m de lámina de agua: 737,91 m.



Referencias Cartográficas:

Sistema de Referencia:
WGS84

Sistema de Proyección:
Transverse Mercator
Falso Este: 500.000
Falso Norte: 10.000.000
Meridiano Central: -69,00
Factor de Escala: 0,9996
Latitud de Origen: 0
Unidades: Metros



Contacto:

www.GeoSoluciones.cl
Plaza Pedro de Valdivia 1783, Oficina 18, 1
Providencia, Santiago de Chile
Teléfono: (56)-22-2091431.
Email: info@geosoluciones.cl



Autor: Ing. MSc. José Sánchez
Email: jsanchez@geosoluciones.cl

352.500

6.209.000

6.209.000

6.208.500

6.208.500

352.500

Modelo de Profundidad - Tranque Sauzal

Leyenda:

 Lámina de Agua	 2 - 2,5
Cota Piso Canal	 2,5 - 3
 736 m	 3 - 3,5
Cota Máxima	 3,5 - 4
 738 m	 4 - 4,5
Profundidad (m):	 4,5 - 5
 0 - 0,5	 5 - 5,5
 0,5 - 1	 5,5 - 6
 1 - 1,5	 6 - 6,5
 1,5 - 2	 > 6,5

Información del Tranque:

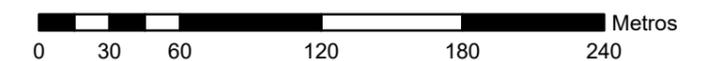
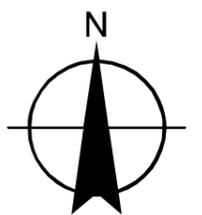
Fecha del levantamiento batimétrico: 03/08/2016
 Fecha del levantamiento fotogramétrico: 03/08/2016
 Empresa propietaria: ENDESA
 Instalación: Central Sauzal
 Nombre del tranque: Sauzal
 Volúmen de regulación: 203.100 m³
 Volúmen de sedimentos: 98.100 m³
 Cota s.n.m.m de lámina de agua: 737,91 m.



Referencias Cartográficas:

Sistema de Referencia:
WGS84

Sistema de Proyección:
 Transverse Mercator
 Falso Este: 500.000
 Falso Norte: 10.000.000
 Meridiano Central: -69,00
 Factor de Escala: 0,9996
 Latitud de Origen: 0
 Unidades: Metros



Contacto:

www.GeoSoluciones.cl
 Plaza Pedro de Valdivia 1783, Oficina 18, 1
 Providencia, Santiago de Chile
 Teléfono: (56)-22-2091431.
 Email: info@geosoluciones.cl



Autor: Ing. MSc. José Sánchez
 Email: jsanchez@geosoluciones.cl

352.500

6.209.000

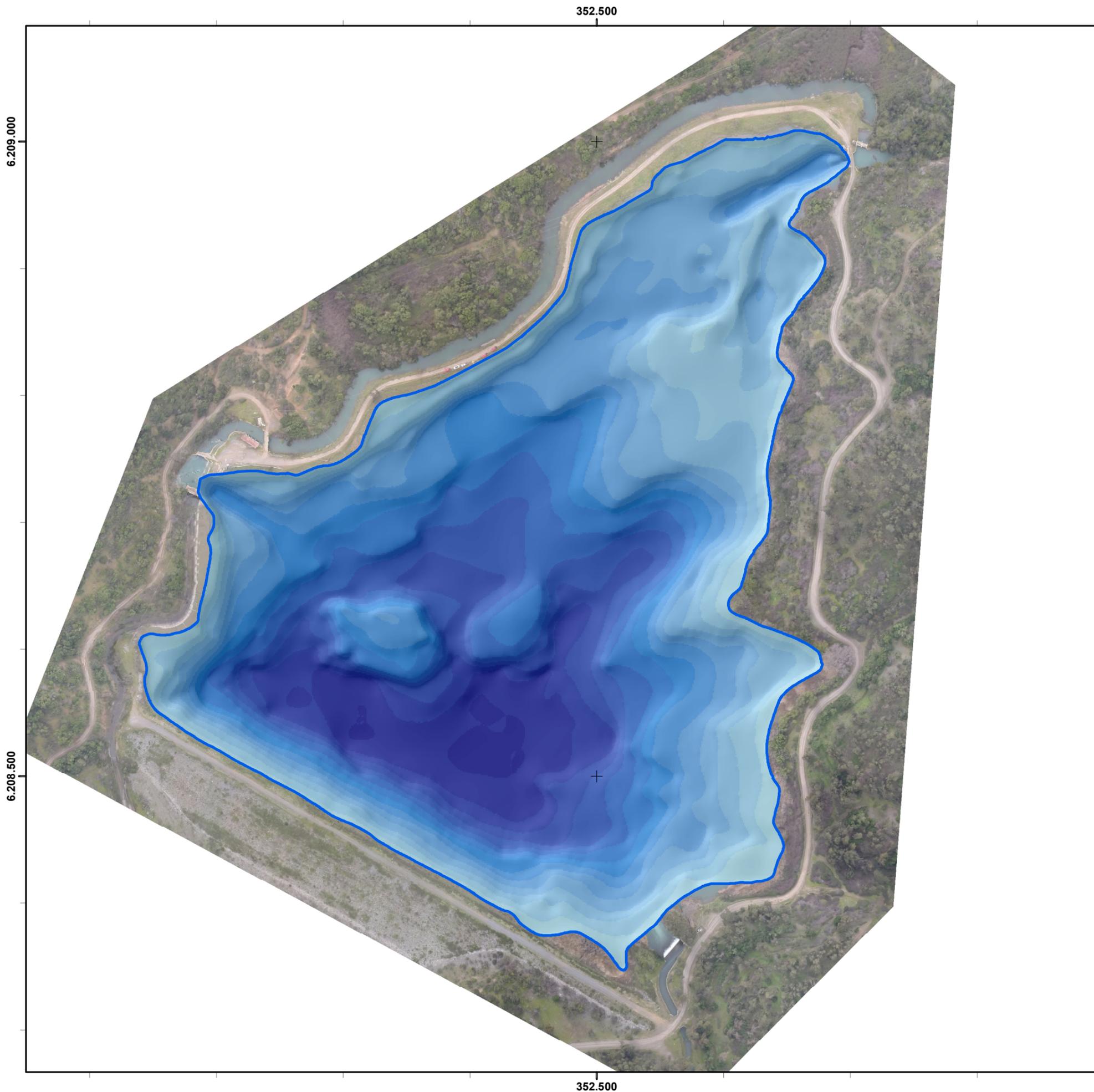
6.209.000

6.208.500

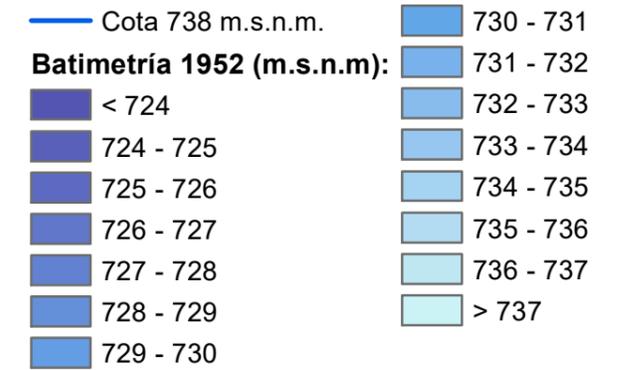
6.208.500

352.500

Modelo Batimétrico 1952 - Tranque Sauzal



Leyenda:



Información del Tranque:

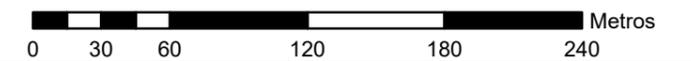
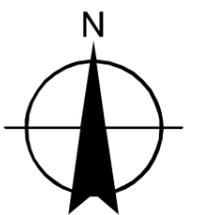
Fecha del levantamiento batimétrico: 1952
Fecha del levantamiento fotogramétrico: 03/08/2016
Empresa propietaria: ENDESA
Instalación: Central Sauzal
Nombre del tranque: Sauzal
Volúmen de regulación: - m3
Volúmen de sedimentos: - m3
Cota máxima lámina de agua: 738 m.s.n.m.



Referencias Cartográficas:

Sistema de Referencia:
WGS84

Sistema de Proyección:
Transverse Mercator
Falso Este: 500.000
Falso Norte: 10.000.000
Meridiano Central: -69,00
Factor de Escala: 0,9996
Latitud de Origen: 0
Unidades: Metros



Contacto:

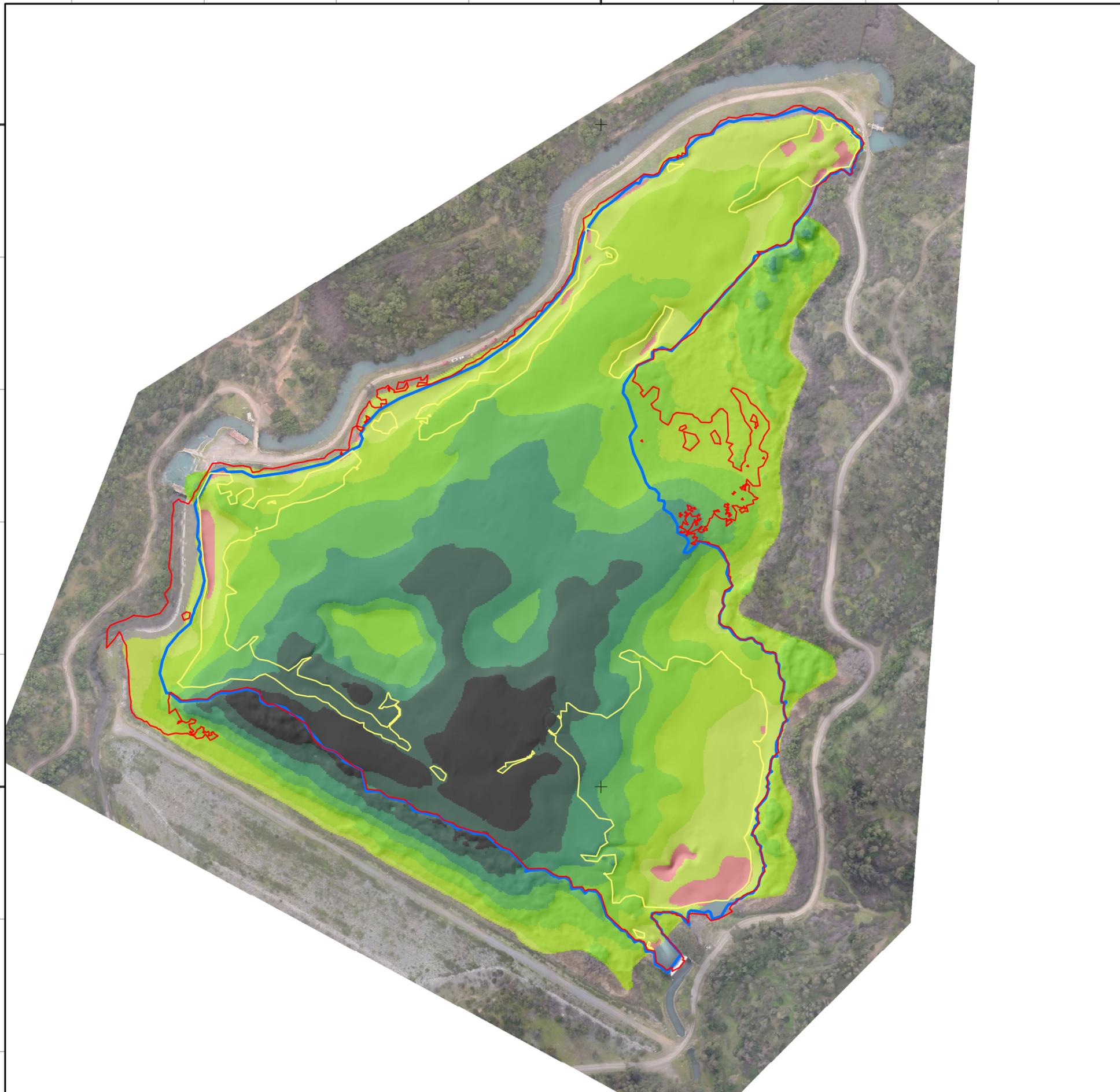
www.GeoSoluciones.cl
Plaza Pedro de Valdivia 1783, Oficina 18, 1
Providencia, Santiago de Chile
Teléfono: (56)-22-2091431.
Email: info@geosoluciones.cl



Modelo de Sedimentación - Tranque Sauzal

352.500

6.209.000



6.209.000

6.208.500

352.500

Leyenda:

-  Lámina de Agua Actual
- Cota Piso Canal**
 -  736 m
- Cota Máxima**
 -  738 m
- Sedimentación 1952-2016 (m):**
 -  -2 - 0
 -  0 - 2
 -  2 - 4
 -  4 - 6
 -  6 - 8
 -  8 - 10
 -  10 - 12
 -  12 - 14,7

Información del Tranque:

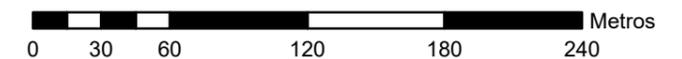
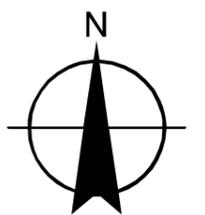
Fecha del levantamiento batimétrico: 03/08/2016
Fecha del levantamiento fotogramétrico: 03/08/2016
Empresa propietaria: ENDESA
Instalación: Central Sauzal
Nombre del tranque: Sauzal
Volúmen de regulación: 203.100 m³
Volúmen de sedimentos: 98.100 m³
Cota s.n.m.m de lámina de agua: 737,91 m.



Referencias Cartográficas:

Sistema de Referencia:
WGS84

Sistema de Proyección:
Transverse Mercator
Falso Este: 500.000
Falso Norte: 10.000.000
Meridiano Central: -69,00
Factor de Escala: 0,9996
Latitud de Origen: 0
Unidades: Metros



Contacto:

www.GeoSoluciones.cl
Plaza Pedro de Valdivia 1783, Oficina 18, 1
Providencia, Santiago de Chile
Teléfono: (56)-22-2091431.
Email: info@geosoluciones.cl



Autor: Ing. MSc. José Sánchez
Email: jsanchez@geosoluciones.cl