

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS



**“EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS SEDIMENTOS DEL EMBALSE SAN
JACINTO PARA ESTIMAR LA VIDA ÚTIL Y SU PROYECCIÓN”**

Por:

BRAIAN EMANUEL LLANOS LAMAS

Semestre - I - 2021
TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS



**“EVALUACIÓN DEL VOLUMEN DE LOS SEDIMENTOS DEL EMBALSE SAN
JACINTO PARA ESTIMAR LA VIDA ÚTIL Y SU PROYECCIÓN”**

Por:

BRAIAN EMANUEL LLANOS LAMAS

Proyecto de grado presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO” como requisito para optar el grado académico de Licenciatura de Ingeniería Civil.

Junio 2021
TARIJA - BOLIVIA

V°B°

M.Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez
**DECANO FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
**VICEDECANA FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

TRIBUNAL:

M.Sc. Ing. Jaime Orlando Zenteno Benítez

M.Sc. Ing. Oscar Ricaldi Torrez

M.Sc. Ing. Henry Monzon de los Rios.

Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

DEDICATORIA

A mi amada familia, que siempre estuvo apoyándome, brindándome su cariño, y creyendo firmemente que lograría culminar esta etapa académica. A pesar de todas las vicisitudes en mi corta vida, hoy felizmente, puedo decir que llegué a la meta y cumplí con mi objetivo. “Soy un INGENIERO”.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios, por haberme acompañado en cada momento, fortaleciendo mi mente, cuerpo y alma para poder culminar esta etapa académica.

A mis padres; Raúl Llanos T. y Ana Lamas M. a mis hermanos; Alex Llanos y Gabriel Llanos., que siempre me brindaron su apoyo y me acompañaron en todo este recorrido.

A Carla Romero A., que me apoyó y me brindó su apoyo y ayuda en todo momento para culminar mi proyecto.

Al Msc. Ing. Moisés Perales Avilés, quien me brindó su tiempo y apoyo para poder obtener los datos de batimetrías y guiarme en su procesamiento, y demás docentes que me otorgaron conocimientos y experiencias durante el proceso del proyecto.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES	3
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.4. OBJETIVOS.....	9
1.4.1. Objetivo general	9
1.4.2. Objetivos específicos	9
1.5. HIPÓTESIS.....	10
1.6 ALCANCE	10
2. MARCO TEÓRICO	12
2.1. CONCEPTOS DE BATIMETRÍA	12
2.1.1. Definición de la batimetría	12
2.1.2. Coordenadas UTM	13
2.2. EMBALSES.....	13
2.2.1 Embalse	13
2.2.2 Sedimento	13
2.2.3. Sedimentos en embalses	14
2.2.4. Vida útil del embalse	15
2.2.5. Modelos estadísticos para la estimación de sedimentos	15
3. APLICACIÓN PRÁCTICA	20
3.1. EL PROYECTO SAN JACINTO	20
3.2. ESTUDIOS EXISTENTES SOBRE LA SEDIMENTACIÓN EN SAN JACINTO	20
3.3. ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE INFORMACIÓN BATIMÉTRICA	22

3.3.1. Batimetría 1989	23
3.3.2 Batimetría 2013	23
3.3.3. Batimetría 2016	24
3.4. BATIMETRÍA 2019	25
3.5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	27
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	36
4.1. CÁLCULO DE LA TASA DE SEDIMENTACIÓN ANUAL 2019	36
4.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BATIMETRÍAS 2013, 2016 Y 2019	37
4.2.1. Curvas características de la batimetría 2013	37
4.2.2. Curvas características de la batimetría 2016	40
4.2.3. Curvas características de la batimetría 2019	43
4.3. ESTIMACIÓN DE LA VIDA ÚTIL DEL EMBALSE MEDIANTE ESCENARIOS ...	46
4.3.1. Escenario uno, proyección directa por batimetría	46
4.3.2. Escenario dos, curva de proyección sedimentaria	48
4.3.3. Escenario tres, método batimétrico CIAGUA.....	50
4.3.4. Escenario cuatro, de acuerdo con el nivel mínimo de operación del embalse	52
4.3.5. Escenario cinco, de acuerdo con el nivel de la obra de toma del embalse	54
4.3.6. Escenario seis, de acuerdo con el nivel de la obra de toma del embalse	56
4.4. ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA EN LAS LÍNEAS DE SONDEO DE LA BATIMETRÍA 2019	58
4.4.1. Rendimiento del batímetro.....	58
4.4.2. Análisis de eficiencia con diferentes separaciones de líneas de sondeo	60
4.4.3. Cálculo de la eficiencia de las diferentes separaciones de líneas de sondeo en función de la batimetría original.....	64
4.5. APLICACIÓN DE MODELOS HIDROLÓGICOS.....	68

4.5.1. Modelo de Djorovic	68
4.5.2. Modelo de Fournier	69
4.5.3. Modelo de Lawrence	71
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	72
CONCLUSIONES	72
RECOMENDACIONES.....	77
BIBLIOGRAFÍA.....	79
WEBGRAFÍA.....	80
ANEXOS.....	81
Puntos extraídos del HYPACK para la exportación al civil 3d.	81
Curvas de nivel obtenidas para la generación de la superficie en la batimetría 2016.....	93
Puntos extradidos del HYPACK para su exportación al CIVIL 3D, batimetría 2019.....	94
Valores obtenidos del CIVIL 3D para la generación de las curvas características.....	104
ÍNDICE DE FIGURAS	
Figura 1 <i>Imagen satelital del embalse San Jacinto</i>	3
Figura 2 <i>Ubicación Geográfica del embalse</i>	5
Figura 3 <i>Sedimentación en embalses.....</i>	14
Figura 4 <i>Líneas batimétricas realizadas en la batimetría 2013.....</i>	24
Figura 5 <i>Superficie batimétrica generada en la batimetría 2016</i>	25
Figura 6. <i>Administrador de datos batimétricos HYPACK 2016.....</i>	26
Figura 7. <i>Selección de la batimetría en el administrador de proyectos</i>	27
Figura 8. <i>Revisión de reporte de líneas en bruto.....</i>	28

Figura 9. <i>Formato de datos en el bloc de notas</i>	29
Figura 10. <i>Creación del archivo</i>	29
Figura 11. <i>Inserción de puntos</i>	30
Figura 12. <i>Inserción de archivo</i>	30
Figura 13. <i>Selección de formato</i>	31
Figura 14. <i>Creación de la superficie</i>	32
Figura 15. <i>Superficie sin contorno delimitado</i>	33
Figura 16. <i>Superficie con contorno delimitado</i>	33
Figura 17. <i>Superficie de volumen</i>	34
Figura 18 <i>Curva característica altura volumen batimetría 2013</i>	38
Figura 19 <i>Curva característica altura área batimetría 2013</i>	39
Figura 20 <i>Curva característica altura, área, volumen, batimetría 2013</i>	39
Figura 21 <i>Curva característica altura volumen batimetría 2016</i>	41
Figura 22 <i>Curva característica altura área batimetría 2016</i>	42
Figura 23 <i>Curva característica altura, área, volumen, batimetría 2016</i>	42
Figura 24 <i>Curva característica altura volumen batimetría 2019</i>	44
Figura 25 <i>Curva característica altura volumen batimetría 2019</i>	45
Figura 26 <i>Curva característica altura, área, volumen, batimetría 2019</i>	45

Figura 27 <i>Puntos sedimentación vs tiempo de operación, escenario 2.</i>	49
Figura 28 <i>Puntos volumen debajo del nivel vs años de operación, escenario 4.</i>	53
Figura 29 <i>Puntos volumen debajo del nivel vs años de operación, escenario 5.</i>	55
Figura 30 <i>Puntos volumen debajo del nivel vs años de operación, escenario 6.</i>	57
Figura 31 <i>Batimetría 2019 con separaciones de líneas de sondeo de 40 a 50 metros.</i>	61
Figura 32 <i>Batimetría 2019 con separaciones de líneas de sondeo de 70 a 100 metros.</i>	62
Figura 33 <i>Batimetría 2019 con separaciones de líneas de sondeo de 180 a 200 metros.</i>	62
Figura 34 <i>Batimetría 2019 con separaciones de líneas de sondeo de 400 a 500 metros.</i>	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Ubicación de la presa</i>	4
Tabla 2. <i>Características técnicas</i>	6
Tabla 3. <i>Batimetrías realizadas</i>	7
Tabla 4. <i>Clasificación de Djorovic para el coeficiente Z</i>	16
Tabla 5 <i>Resultados de erosión específica en la cuenca del Río Tolomosa</i>	21
Tabla 6 <i>Resumen resultados de batimetrías</i>	35
Tabla 7 <i>Valores de curva característica para la batimetría 2013</i>	37
Tabla 8 <i>Volúmenes correspondientes a niveles del embalse, batimetría 2013</i>	39
Tabla 9 <i>Valores de curva característica para la batimetría 2016</i>	40

Tabla 10 <i>Volúmenes correspondientes a niveles del embalse, batimetría 2016</i>	43
Tabla 11 <i>Valores de curva característica para la batimetría 2019</i>	43
Tabla 12 <i>Volúmenes correspondientes a niveles del embalse, batimetría 2019</i>	46
Tabla 13 <i>Planilla de proyección, escenario uno.</i>	47
Tabla 14 <i>Planilla de resultados, escenario uno</i>	47
Tabla 15 <i>Planilla curva de sedimentos, escenario dos.</i>	48
Tabla 16 <i>Planilla método batimétrico, escenario tres.</i>	50
Tabla 17 <i>Planilla resultados, escenario tres.</i>	51
Tabla 18 <i>Velocidad media realizada en las mediciones de la batimetría 2019.</i>	59
Tabla 19 <i>Análisis de líneas de sondeo a diferentes separaciones, batimetría 2019.</i>	63
Tabla 20 <i>Análisis de eficiencias en líneas de sondeo, batimetría 2019.</i>	66
Tabla 21 <i>Resultados del análisis de eficiencias en líneas de sondeo, batimetría 2019.</i>	67
Tabla 22 <i>Coefficientes de corrección batimétricos para volúmenes.</i>	67
Tabla 23 <i>Resumen curvas características.</i>	72
Tabla 24 <i>Comparación de resultados.</i>	74
Tabla 25 <i>Parámetros para la aplicación en los escenarios.</i>	74
Tabla 26 <i>Resumen vida útil embalse San Jacinto.</i>	75
Tabla 27 <i>Resumen de análisis de eficiencia de líneas de sondeo.</i>	77

ABREVIATURAS

ICOLD	Comisión Internacional de Grandes Presas
CIAGUA	Centro de investigación del agua
SNHN	Servicio Nacional de Hidrografía Naval
CODETAR	Corporación de Desarrollo de Tarija
PRONAR	Programa Nacional de Riego
PEAB	Programa Estratégico de Acción para la Cuenca Binacional del río Bermejo
COBINABE	Comisión Binacional para el desarrollo de la alta cuenca del Río Bermejo y el río Bermejo.
OTN	Oficina Técnica Nacional
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
DEM	Modelo Digital de Elevación
UAJMS	Universidad Autónoma Juan Misael Saracho