

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



**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ATAGUÍA EN LA  
DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS DEPOSITADOS AGUAS  
ARRIBA DEL CUERPO DE “LA PRESA SAN JACINTO”**

**Por:**

**NELVY ARMANDO IRAHOLA CRUZ**

**Semestre - I - 2020**  
**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL ATAGUÍA EN LA  
DISTRIBUCIÓN DE SEDIMENTOS DEPOSITADOS AGUAS  
ARRIBA DEL CUERPO DE LA PRESA SAN JACINTO”**

**Por:**

**IRAHOLA CRUZ NELVY ARMANDO**

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

**Semestre - I - 2020**  
**TARIJA-BOLIVIA**

-----  
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. José Navia Ojeda

-----  
M.Sc. Ing. Mario Carmelo Gamarra Mendoza

-----  
Ing. Doyle Grover Cuellar Tapia

A la El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleadas en la elaboración del presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia.

A mis padres, por haberme dado la oportunidad de llegar hasta este momento.

A mi familia por brindarme su apoyo moral en cada paso de mi vida.

Gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es y lo justa que puede llegar a ser.

A mis amigos que he tenido en este trazo de mi vida, gracias por los ánimos por cada momento en que te daban una mano para volverte a levantar.

A la universidad y a mis docentes, que hicieron parte de este proceso integral de formación.

Al M.Sc. Ing. Moisés Perales Avilés por su paciencia, por su apoyo y por brindarme los conocimientos para lograr este trabajo,

Y a los tribunales de mi proyecto por su colaboración y consejos.

## **DEDICATORIA**

*A mis padres:*

Por el ejemplo de vida, de responsabilidad sacrificio honradez y respeto, por el cariño y amor, por su apoyo incondicional durante todo este camino recorrido y por su apoyo en todas las etapas de mi vida.

**Muchas Gracias**

*Esmenia Zeballos Castillo*

*Erminia Cruz Zeballos*

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I</b>	<b>Página</b>
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Problema .....	4
1.2.1. Planteamiento del problema.....	5
1.2.2. Formulación del problema .....	5
1.2.3. Hipótesis.....	6
1.3. Objetivos .....	6
1.3.1. Objetivo general .....	6
1.3.2. Objetivos específicos .....	6
1.4. Justificación del proyecto.....	7
1.4.1. Justificación académica.....	7
1.4.2. Justificación técnica .....	7
1.4.3. Justificación social .....	7
1.4.4. Justificación económica .....	7
1.4.5. Justificación institucional.....	8
 <b>CAPÍTULO II</b>	
2. FUNDAMENTO TEÓRICO .....	9
2.1. Introducción .....	9
2.2. Origen y propiedades de los sedimentos.....	11
2.2.1. Origen de los sedimentos .....	12
2.2.1.1. Fuentes naturales .....	12

2.2.1.2.	Fuentes artificiales.....	13
2.2.2.	Propiedades de los sedimentos.....	13
2.3.	Transporte de sedimento .....	15
2.3.1.	Clasificación del transporte de sedimentos .....	16
2.4.	Deposición de sedimento en un embalse .....	17
2.4.1.	Patrones de deposición de sedimentos en embalses.....	19
2.4.2.	Zonas de depósito de sedimentos en embalses .....	20
2.4.3.	Esquema de depósito lateral de sedimentos .....	21
2.4.4.	Geometría de las zonas de depósito longitudinal .....	22
2.5.	Problemas en un embalse por sedimentación.....	23
2.5.1.	Inversión para el proyecto.....	23
2.5.2.	Estructura del embalse .....	24
2.5.3.	Producción de energía.....	24
2.5.4.	Agua para riego.....	24
2.5.5.	Abastecimiento de agua potable.....	24
2.6.	Alternativas de prevención y limpieza de sedimentos.....	25
2.6.1.	Sistemas para el control de sedimentos.....	25
2.6.2.	Métodos indirectos .....	25
2.6.2.1.	Prevención de la erosión.....	25
2.6.2.2.	Ubicación del embalse en sitios adecuados.....	26
2.6.2.3.	Determinación adecuada de la capacidad reservada de azolves....	26
2.6.2.4.	Reducción de la capacidad de retención en embalses .....	27
2.6.2.5.	Intercepción del sedimento antes del embalse.....	28
2.6.3.	Soluciones directas.....	29



2.6.3.1.	Dragado de sedimentos.....	29
2.6.3.2.	Remoción hidráulica.....	32

### **CAPÍTULO III**

3.	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES .....	33
3.1.	Ubicación de la zona de estudio.....	33
3.2.	Delimitación de la zona de estudio .....	36
3.3.	Recopilación de la información existente de la zona de estudio.....	38
3.3.1.	Información topográfica.....	38
3.3.2.	Información batimétrica .....	42
3.3.2.1.	Batimetría año 1989 .....	42
3.3.2.2.	Batimetría año 1995 .....	42
3.3.2.3.	Batimetría año 2004 .....	43
3.3.2.4.	Batimetría año 2013 .....	45
3.3.2.5.	Batimetría año 2016 .....	46
3.3.2.6.	Resumen de batimetrías.....	46
3.3.2.7.	Equipos utilizados para las batimetrías en embalse San Jacinto ...	47
3.3.3.	Operación de las compuertas .....	54
3.4.	Procesamiento de la información .....	61
3.4.1.	Digitalización de la información topográfica inicial del año 1986 .....	61
3.4.2.	Digitalización del plano a detalle del cuerpo de la presa San Jacinto...	62
3.4.3.	Ajustes de la información topográfica y batimétrica .....	64

### **CAPÍTULO IV**

4.	CAMPAÑAS DE CAMPO .....	66
4.1.	Batimetría año 2018 .....	66

4.1.1.	Antecedentes .....	66
4.1.2.	Objetivo.....	66
4.1.3.	Equipo utilizado .....	67
4.1.4.	Etapas contempladas en el levantamiento batimétrico.....	70
4.1.4.1.	Etapa 1. Pre proceso y planificación .....	70
4.1.4.2.	Etapa 2. Trabajo de campo .....	72
4.1.4.3.	Etapa 3. Procesamiento de datos obtenidos en campo.....	74
4.2.	Batimetría año 2019 .....	75
4.2.1.	Antecedentes .....	75
4.2.2.	Objetivo.....	75
4.2.3.	Importancia .....	75
4.2.4.	Descripción de las actividades .....	76
4.2.5.	Procesamiento de la información obtenida de campo.....	77
4.2.6.	Principales inconvenientes .....	78

## **CAPÍTULO V**

5.	ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN SEDIMENTARIA .....	79
5.1.	Análisis de la capacidad de almacenamiento .....	79
5.1.1.	Curvas de la topografía inicial año 1986.....	80
5.1.2.	Curvas topobatimétricas año 1989 .....	82
5.1.3.	Curvas topobatimétricas año 1995 .....	84
5.1.4.	Curvas topobatimétricas año 2004 .....	86
5.1.5.	Curvas topobatimétricas año 2013 .....	88
5.1.6.	Curvas topobatimétricas año 2016.....	90
5.1.7.	Curvas topobatimétricas año 2018.....	92

5.1.8.	Curvas topobatimétricas año 2019 .....	94
5.1.9.	Discusión de resultados.....	96
5.2.	Análisis de la variación temporal, espacial y patrones de sedimentación.	101
5.2.1.	Análisis periodo 1986-1989 .....	101
5.2.2.	Análisis periodo 1989-1995 .....	104
5.2.3.	Análisis periodo 1995-2004 .....	106
5.2.4.	Análisis periodo 2004-2013 .....	109
5.2.5.	Análisis periodo 2013-2016.....	111
5.2.6.	Análisis periodo 2016-2018 .....	114
5.2.7.	Análisis periodo 2018-2019 .....	117
5.3.	Análisis de niveles de sedimento .....	120
5.3.1.	Superficies 2016-2018 .....	120
5.3.2.	Superficies 2018-2019 .....	122
5.3.3.	Superficies 1989-2019 .....	124
5.4.	Análisis de la influencia de la ataguía en las compuertas de fondo.....	126
5.4.1.	Funcionamiento de las compuertas de fondo .....	126
5.4.2.	Operatividad de las compuertas de fondo.....	128
5.4.3.	Cono de influencia de remoción de sedimentos.....	129
5.5.	Análisis de la vida útil y la colmatación del embalse San Jacinto .....	133
5.5.1.	Información antecedente .....	133
5.5.2.	Proyección sedimentaria con información topobatimétrica.....	135
5.5.3.	Análisis del estado actual volumen muerto.....	136
5.5.4.	Análisis de la tasa de sedimentación anual .....	138
5.5.5.	Vida útil del embalse.....	142

5.5.6. Caracterización del embalse desde el punto de vista sedimentario.....	143
--	-----

## **CAPÍTULO VI**

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	145
6.1. Conclusiones .....	145
6.2. Recomendaciones.....	155

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1.1. Área de levantamiento sector presa San Jacinto.....	2
Figura 2.1. Embalse en proceso de sedimentación. ....	9
Figura 2.2. Proceso erosivo de una cuenca. ....	13
Figura 2.3. Modos de transporte de sedimento.....	15
Figura 2.4. Clasificación del transporte de sedimento .....	17
Figura 2.5. Proceso de depositación de sedimentos en un embalse artificial. ....	18
Figura 2.6. Proceso de consolidación del aterramiento en el lecho del embalse. ....	19
Figura 2.7. Patrón de sedimentación del embalse Peñol-Colombia.....	20
Figura 2.8. Esquema general de la zona de depósito en un embalse. ....	21
Figura 2.9. Esquema básico del depósito de sedimentos .....	23
Figura 2.10. Muros para formación de terrazas .....	26
Figura 2.11. Corriente de densidad. ....	27
Figura 2.12. Pequeñas obras de control río Erque Cochabamba-Bolivia.....	28
Figura 2.13. Dragado mecánico de cucharón (USACE,1983). ....	30
Figura 2.14. Dragas tipo sifón. ....	31
Figura 2.15. Proceso remoción hidráulica de sedimentos durante extracción. ....	32
Figura 3.1. Ubicación geográfica de la presa San Jacinto.....	34
Figura 3.2. Imagen satelital de la zona de estudio. ....	35
Figura 3.3. Área de levantamiento batimétrico propuesta en los TDR.....	36
Figura 3.4. Área delimitada para el levantamiento batimétrico.....	37
Figura 3.5. Topografía inicial año 1984 del sector de la presa. ....	38
Figura 3.6. Plano a detalle del cuerpo de la presa en arco San Jacinto.....	39
Figura 3.7. Plano a detalle de los niveles en el cuerpo de la presa. ....	40
Figura 3.8. Plano a detalle del cuerpo de la presa San Jacinto.....	41
Figura 3.9. Características de los descargadores de fondo.....	54
Figura 3.10. Curvas topográficas de la zona de estudio año 1986.....	61
Figura 3.11. Plano a detalle 1 de elevaciones del cuerpo de la presa San Jacinto .....	62

Figura 3.12. Plano a detalle 2 de elevaciones del cuerpo de la presa San Jacinto .....	63
Figura 3.13. Desface existente debido al elipsoide de trabajo topografía año 1986... 65	65
Figura 4.1. Ventana principal de Hypack.....	70
Figura 4.2. Trazado de lines de traqueo dentro de la ventana Hypack. ....	72
Figura 4.3. Aplicación de comando borrar en información de puntos erróneos. ....	74
Figura 5.1. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topografía 1986. ....	81
Figura 5.2. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 1989.....	83
Figura 5.3. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 1995.....	85
Figura 5.4. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2004.....	87
Figura 5.5. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2013.....	89
Figura 5.6. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2016.....	91
Figura 5.7. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2018.....	93
Figura 5.8. Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2019.....	95
Figura 5.9. Curvas Altura -Volumen sector cuerpo de la presa (1986-2019).....	96
Figura 5.10. Capacidad de almacenamiento periodo 1986-2019.....	97
Figura 5.11. Capacidad de almacenamiento periodo 2018-2019.....	98
Figura 5.12. Volúmenes de sedimentos según batimetrías realizadas. ....	99
Figura 5.13. Superposición de superficies 1986-1989.....	101
Figura 5.14. Mapa de distribución de sedimentos periodo 1989-1986.....	103
Figura 5.15. Superposición de superficies 1995-1989.....	104
Figura 5.16. Mapa de distribución de sedimentos periodo 1995-1989.....	105
Figura 5.17. Superposición de superficies 1995-2004.....	106
Figura 5.18. Mapa de distribución de sedimentos periodo 2004-1995.....	108
Figura 5.19. Superposición de superficies 2004-2013.....	109
Figura 5.20. Mapa de distribución de sedimentos periodo 2013-2004.....	110
Figura 5.21. Superposición de superficies 2013-2016.....	112
Figura 5.22. Mapa de distribución de sedimentos periodo 2016-2013.....	113
Figura 5.23. Superposición de superficies 2016-2018.....	115
Figura 5.24. Mapa de distribución de sedimentos periodo 2018-2016.....	116
Figura 5.25. Superposición de superficies 2018-2019.....	118

Figura 5.26. Mapa de distribución de sedimentos periodo 2019-2018. ....	119
Figura 5.27. Perfil longitudinal superficies 2016-2018. ....	121
Figura 5.28. Perfil longitudinal superficies 2018-2019. ....	123
Figura 5.29. Perfil longitudinal superficies 1989-2019. ....	125
Figura 5.30. Perfiles transversales sector presa San Jacinto. ....	127
Figura 5.31. Morfología actual del área de estudio.....	128
Figura 5.32. Características del cono de influencia. ....	130
Figura 5.33. Cono de influencia generado según batimetría 2018 y 2019.....	131
Figura 5.34. Cono de influencia generado según batimetría 2016.....	132
Figura 5.35. Estado actual de la obra de toma según batimetría 2018.....	134
Figura 5.36. Calibración de curva proyección sedimentaria.....	136
Figura 5.37. Trap efficiency of reservoirs capacity-inflow (C/I) ratio. ....	140

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	<b>Página</b>
Fotografía 4.1. Móvil Z-Boat 1800.....	67
Fotografía 4.2. Echotrac CV100DF .....	68
Fotografía 4.3. GPS Hemisphere V320.....	68
Fotografía 4.4. Perfilador de velocidad Mini SVP.....	69
Fotografía 4.5. Inicio del levantamiento batimétrico.....	73
Fotografía 4.6. Desplazamiento del Z-Boat en la zona de estudio.....	73
Fotografía 4.7. Levantamiento batimétrico del sector del cuerpo de la presa.....	76
Fotografía 4.8. Recorrido del equipo Z-Boat a través de las líneas planeadas. ....	77
Fotografía 4.9. Estado del área de estudio (Batimetría año 2018).....	78



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 2.1 Comparación de profundidades de dragado para diferentes métodos.....	31
Tabla 3.1 Coordenadas de los vértices del área de levantamiento batimétrico.....	37
Tabla 3.2 Levantamientos batimétricos realizados en el embalse San Jacinto. ....	42
Tabla 3.3 Diques construidos para la contención de sedimentos.....	44
Tabla 3.4 Diques construidos para la contención de sedimentos.....	45
Tabla 3.5 Tabla Resumen de batimetrías 1989 - 2016.....	46
Tabla 3.6 Registro de apertura de compuertas embalse San Jacinto (1988-2018).....	54
Tabla 3.7 Eventos relevantes ocurrido en el embalse San Jacinto desde su inicio ....	60
Tabla 5.1 Curva Cota – Volumen correspondiente a la topografía 1986. ....	80
Tabla 5.2 Volúmenes de agua topografía 1986 a la cota 1884 msnm.....	81
Tabla 5.3 Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 1989.....	82
Tabla 5.4 Volúmenes de agua topobatimetría 1989 a la cota 1884 msnm.....	83
Tabla 5.5 Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 1995.....	84
Tabla 5.6 Volúmenes de agua topobatimetría 1995 a la cota 1884 msnm.....	85
Tabla 5.7 Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2004.....	86
Tabla 5.8 Volúmenes de agua topobatimetría 2004 a la cota 1884 msnm.....	87
Tabla 5.9 Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2013.....	88
Tabla 5.10 Volúmenes de agua topobatimetría 2013 cota 1884 msnm. ....	89
Tabla 5.11 Curva Cota – Volumen correspondiente a la topobatimetría 2016.....	90
Tabla 5.12 Volúmenes de agua topobatimetría 2016 a la cota 1884 msnm.....	91
Tabla 5.13 Curva Cota – Volumen correspondiente topobatimetría 2018. ....	92
Tabla 5.14 Volúmenes de agua topobatimetría 2018 a la cota 1884 msnm.....	93
Tabla 5.15 Curva Cota – Volumen correspondiente topobatimetría 2019.....	94
Tabla 5.16 Volúmenes de agua topobatimetría 2019 a la cota 1884 msnm.....	95
Tabla 5.17 Cuadro comparativo de la pérdida de capacidad de almacenamiento. ...	100
Tabla 5.18 Volumen de erosión-Sedimentación periodo 1986-1989.....	101
Tabla 5.19 Volumen de erosión-Sedimentación periodo 1989-1995.....	104

Tabla 5.20 Volumen de erosión-Sedimentación periodo 1995-2004.....	107
Tabla 5.21 Volumen de erosión-Sedimentación periodo 2004-2013.....	109
Tabla 5.22 Volumen de erosión-Sedimentación periodo 2013-2016.....	112
Tabla 5.23 Volumen de erosión-Sedimentación periodo 2016-2018.....	115
Tabla 5.24 Volumen de erosión-Sedimentación periodo 2018-2019.....	118
Tabla 5.25 Características del cono de remoción.....	132
Tabla 5.26 Sedimentos acumulados en el embalse San Jacinto (1989- 2019).....	133
Tabla 5.27 Resumen de información del embalse San Jacinto año 1996. ....	134
Tabla 5.28 Proyección de la pérdida de vida útil del embalse de San Jacinto. ....	135
Tabla 5.29 Pérdida de vida útil de la obra de toma embalse San Jacinto. ....	137
Tabla 5.30 Valores para el coeficiente de erosión (Z). ....	139
Tabla 5.31 Datos utilizados en el modelo. ....	139
Tabla 5.32 Tabla resultados de la tasa anual y volumen de sedimentos. ....	140
Tabla 5.33 Tasa de sedimentación y el volumen proyectado año 2019.....	141
Tabla 5.34. Pesos específicos de los sedimentos aireados y sumergido US SCS. ....	141
Tabla 5.35 Vida útil del embalse de San Jacinto. ....	143
Tabla 5.36 Categorization of sediment-induced problems. ....	144

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>Página</b>
Anexo 1. Orden de ompr de la empresa ENDE Guaracachi S.A.....	A
Anexo 2. Especificaciones técnicas del equipo Z-BOAT.....	B
Anexo 3. Plano curvas de nivel San Jacinto (UTM-PSAD 56-20S).....	C
Anexo 4. Plano curvas de nivel San Jacinto (UTM-WGS 84-20S).....	D
Anexo 5. Superposición PSAD 56 y WGS 84.....	E
Anexo 6. Memoria de puntos levantamiento batimétrico año 2018.....	F
Anexo 7. Memoria de puntos levantamiento batimétrico año 2019.....	G
Anexo 8. Planos topobatimétricos 1986-2019.....	H
Anexo 9. Secciones transversales 2016-2018-2019.....	I
Anexo 10. Superposición y perfil longitudinal.....	J
Anexo 11. Imágenes TIN sector presa 1986-2019.....	K
Anexo 12. Raster diferencia sector presa 1986-2019.....	L
Anexo 13. Vistas 3D sector presa San Jacinto 1986.....	M