

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



**ANÁLISIS DE METODOLOGÍAS DE INTERPOLACIÓN PARA
SUPERFICIES BATIMÉTRICAS EN EMBALSES DE MONTAÑA
CASO DE APLICACIÓN “EL TRANQUE”**

Por:

CRISTHIAN HORACIO TORREZ TARIFA

Semestre - II - 2021

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por la gracia de todas las bendiciones que tengo en esta vida, sin ellas este trabajo no sería posible.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí.

ÍNDICE
CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de investigación	3
1.2.1. Planteamiento del problema	3
1.2.2. Formulación del problema	4
1.3. Objetivo de proyecto	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivo específicos	4
1.4. Justificaciones del proyecto	4
1.4.1. Justificación académica	4
1.4.2. Justificación técnica	5
1.4.3. Justificación social	5
1.5. Alcance	5

CAPÍTULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

	Página
2. FUNDAMENTO TEÓRICO	6
2.1. Análisis de variables espacialmente distribuidas	6
2.1.1. Influencia Espacial de los Datos	6
2.1.2. Distribución normal	6
2.1.3. Estacionariedad de los datos	7

2.1.4. Tendencias	8
2.1.5. Auto-Correlación espacial.....	9
2.2. Características del fenómeno en estudio.....	10
2.2.1. Superficie terrestre	10
2.2.2. Embalses de montaña.....	11
2.2.3. Modelo Digital de Terreno (M.D.T.)	12
2.2.4. Modelo Digital de Elevación (M.D.E.).....	13
2.2.5. Aplicación de los modelos digitales de elevación (MDE's)	16
2.3. Métodos de Interpolación	16
2.3.1. Métodos de Interpolación determinísticos	16
2.3.2. Método IDW	16
2.3.3. Método TIN.....	18
2.3.4. Métodos de Interpolación geo estadísticos	19
2.3.5. Método Kriging.....	19
2.3.6. Errores por métodos de interpolación	21
2.3.7. Métodos de cálculo de volúmenes y modelamiento	22
2.3.8. Validación cruzada.....	24
2.3.9. Raíz del error medio cuadrático (RMSE)	24

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

	Página
3. MARCO METODOLÓGICO.....	26
3.1. Instrumentos de investigación.....	27
3.2. Pre - proceso: Planificación del levantamiento batimétrico.	27
3.2.1. Trazado de líneas de sondeo	27

3.2.2. Ubicación de la red geodésica en el embalse El Tranque	29
3.2.3. Estudio e inspección preliminar del lugar	29
3.3. Proceso: Recolección de datos.....	29
3.3.1. Monumentación de pares Geodésicos.....	29
3.3.2. Sesionamiento de pares geodésicos	30
3.3.3. Levantamiento Batimétrico.....	31
3.3.4. Levantamiento Topográfico.....	33
3.4. Proceso: Recolección de datos.....	33
3.4.1. Generación de datos y reducción de la muestra total.....	33
3.4.2. Análisis de distribución de frecuencias.....	35
3.4.3. Análisis de tendencias.....	36
3.4.4. Modelación de superficies batimétricas.....	36
3.4.5. Estimación de errores.....	37
3.4.6. Cálculo de volúmenes	38
3.4.7. Validación cruzada y RMSE.....	39

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

	Página
4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	41
4.1. Analisis de tamaño de celda.....	41
4.1.1. Criterio de variacion de volumen.....	41
4.1.2. Criterio de velocidad de procesamiento.....	42
4.2. Análisis del método de interpolación TIN (Triangulated Irregular Network).....	42
4.3. Análisis del método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighting) ...	43
4.4. Análisis del método de interpolación Kriging Ordinario (K.O.)	45

4.5. Comparación de volúmenes.....	46
4.6. Comparación de RSME	48

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones	50
5.2. Recomendaciones	51

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2. 1 Histograma distribución de frecuencias de elevación embalse “El Tranque”	7
Figura 2. 2 Mapa de Voronoi embalse “El Tranque” entropía de los datos	8
Figura 2. 3 Análisis de tendencias de datos embalse “El Tranque”	9
Figura 2. 4 MDT en formato TIN con curvas de nivel en formato vectorial	13
Figura 2. 5 Modelo Digital de Elevación	15
Figura 2. 6 Representación del Modelo Digital de Elevación	15
Figura 2. 7 Interpolación Distancia Inversa Ponderada basada en la distancia del punto de muestra ponderada.....	17
Figura 2. 8 Triangulación de Delaunay con circunferencias	18
Figura 2. 9 Semivariograma	19
Figura 2. 10 Cálculo de la diferencia cuadrada entre las ubicaciones asociadas.....	20
Figura 2. 11 Auto similares Interpolación.....	23
Figura 2. 12 Detalles de modelo digital del terreno y TIN generados para el depósito Bariri entre dos secciones batimétricas.....	24
Figura 3. 1 Imagen satelital embalse “El Tranque”	28
Figura 3. 2 Imagen satelital con líneas planeadas embalse “El Tranque”	28

Figura 3. 3 Ubicación de pares geodésicos embalse “El Tranque”	29
Figura 3. 4 Monumentación de pares geodésicos embalse “El Tranque”	30
Figura 3. 5 Sesionamiento de pares geodésicos embalse “El Tranque”	31
Figura 3. 6 Levantamiento Batimétrico embalse “El Tranque”	31
Figura 3. 7 Medición de la velocidad de sonido en el embalse “El Tranque”	32
Figura 3. 8 Levantamiento Topográfico embalse “El Tranque”	33
Figura 3. 9 Nube de todos los puntos cada 10-20, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 y 200 metros de distancia	34
Figura 3. 10 Análisis de distribución de frecuencias de alturas	35
Figura 3. 11 Análisis de Tendencias de distribución espacial	36
Figura 3. 12 Modelos digitales del embalse “El Tranque” interpolados por diferentes métodos de interpolación a) Kriging b) IDW c) TIN.....	37
Figura 3. 13 Estimación de errores y ubicación de errores métricos.....	38
Figura 3. 14 Distribución de frecuencia de error.....	38
Figura 3. 15 Validación cruzada utilizada para la optimización de modelos	39
Figura 3. 16 Cálculo del RSME por medio de hoja de cálculo	40
Figura 4. 1 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por el método (TIN).	43
Figura 4. 2 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por el método (IDW).	44
Figura 4. 3 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por el método (K.O.).	46
Figura 4. 4 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por TIN, IDW y K.O.	47

Figura 4. 5 Variación del RSME en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por TIN, IDW y K.O..	49
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 3.1 Resumen de coordenadas red geodésica embalse “El Tranque”	30
Tabla 4.1 Variación de volúmenes de modelos digitales del embalse “El Tranque” en función del tamaño de grilla.	41
Tabla 4.2 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por el método (TIN).	42
Tabla 4.3 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por el método (IDW).	44
Tabla 4.4 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por el método (K.O.).	45
Tabla 4.5 Variación de volúmenes en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por TIN, IDW y K.O.	47
Tabla 4.6 Variación del RSME en función de la separación de líneas de sondeo para los modelos digitales generados por TIN, IDW y K.O.	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A – Modelos Digitales de Elevación	A.1
Anexo B – Análisis de Tendencias	B.1
Anexo C – Histograma de distribución de frecuencia de elevación	C.1
Anexo D – Semivariogramas	D.1
Anexo E – Validación Cruzada	E.1
Anexo F – Especificaciones Técnicas de los equipos	F.1