

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**APLICACIÓN DEL MODELO USLE PARA EL
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN
DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DE LA PRESA
“EL MOLINO”**

POR:

PONCE CABRERA MAURICIO ALEJANDRO

SEMESTRE I – 2022

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DEL MODELO USLE PARA EL
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN
DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DE LA PRESA
“EL MOLINO”**

POR:

PONCE CABRERA MAURICIO ALEJANDRO

Proyecto elaborado en la asignatura de CIV-502.

SEMESTRE I – 2022

TARIJA – BOLIVIA

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a mis padres
Juan Edgar y Ana Marcela.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. ANTECEDENTES.....	1
1.1.1. PRESA EL MOLINO.....	1
1.2. ANÁLISIS DE PROBLEMA.....	3
1.2.1. PLANTEAMIENTO.....	3
1.2.2. FORMULACIÓN.....	4
1.2.3. SISTEMATIZACIÓN.....	4
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4.1. TEÓRICA.....	5
1.4.2. METODOLÓGICA.....	5
1.4.3. PRÁCTICA.....	5
1.5. HIPÓTESIS.....	6
CAPÍTULO II: MARCO DE REFERENCIA.....	7
2.1. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.1. MODELO USLE.....	7
2.1.1.1. FACTOR DE EROSIVIDAD DE LLUVIAS.....	8
2.1.1.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO.....	9
2.1.1.3. FACTOR DE LONGITUD Y GRADO DE PENDIENTE.....	9
2.1.1.4. FACTOR DE MANEJO DE COBERTURA VEGETAL.....	10
2.1.1.5. FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS.....	11

2.1.2.	BATIMETRÍA.....	12
2.1.3.	VIDA ÚTIL DE UN EMBALSE.	12
2.2.	MARCO CONCEPTUAL.....	13
2.2.1.	CUENCA HIDROGRÁFICA.....	13
2.2.1.1.	PARTES DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.	14
2.2.1.2.	DIVISIÓN DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.	15
2.2.1.3.	CLASIFICACIÓN DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	15
2.2.1.4.	EROSIÓN DE SUELOS.....	16
2.2.1.4.1.	EROSIÓN HÍDRICA.....	16
2.2.1.4.2.	SEDIMENTACIÓN EN EMBALSES.	17
2.2.2.	SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	17
2.2.2.1.	MODELOS DE REPRESENTACIÓN GEOGRÁFICA.	18
2.2.2.1.1.	MODELO RÁSTER.....	18
2.2.2.1.2.	MODELO VECTORIAL.....	18
2.2.2.2.	SISTEMA DE COORDENADAS.....	19
2.2.2.2.1.	COORDENADAS GEOGRÁFICAS.	19
2.2.2.2.2.	COORDENADAS PROYECTADAS.....	20
2.2.3.	TELEDETECCIÓN.....	20
2.2.3.1.	MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN.	20
2.2.3.1.1.	SATÉLITE ALOS – PALSAR.....	21
2.2.3.2.	SISTEMAS SATELITALES.....	22
2.2.3.2.1.	SATÉLITE LANDSAT – 8.....	22
2.3.	MARCO ESPACIAL.....	23
2.4.	MARCO TEMPORAL.....	24

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	25
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.2. MATERIALES E INFORMACIÓN.....	25
3.3. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.4. VARIABLES.....	25
3.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	26
3.6. ÁREA DE ESTUDIO.....	26
3.6.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA PRESA.....	26
3.6.2. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA.....	27
3.6.2.1. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS.....	27
3.6.2.2. CURVAS CARACTERÍSTICAS.....	29
3.7. ORGANIGRAMA DE TRABAJO.....	31
3.8. FACTORES DEL MODELO USLE.....	32
3.8.1. EROSIVIDAD DE LLUVIAS.....	32
3.8.2. ERODABILIDAD DEL SUELO.....	39
3.8.3. LONGITUD Y GRADO DE PENDIENTE.....	45
3.8.4. MANEJO DE COBERTURA VEGETAL.....	46
3.8.5. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS.....	47
3.9. APORTE DE SEDIMENTOS.....	48
3.9.1. MODELO USLE.....	48
3.9.1.1. PESO ESPECÍFICO DE LOS SEDIMENTOS.....	49
3.9.2. BATIMETRÍA.....	52
3.10. VIDA ÚTIL DEL EMBALSE.....	54
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	60

4.1.	FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO.	60
4.2.	FACTOR DE LONGITUD Y GRADO DE PENDIENTE.	65
4.3.	FACTOR DE MANEJO DE COBERTURA VEGETAL.	67
4.4.	FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS.	67
4.5.	FACTOR DE EROSIVIDAD DE LLUVIAS.	68
4.6.	INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	69
4.6.1.	RESULTADOS DEL MODELO USLE.	69
4.6.2.	APORTE DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE.	70
4.6.3.	VIDA ÚTIL DEL EMBALSE.	74
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		77
5.1.	CONCLUSIONES.	77
5.2.	RECOMENDACIONES.	79
BIBLIOGRAFÍA.		81
WEBGRAFÍA.		90

ANEXOS:

ANEXO 1. Mapas complementarios.

ANEXO 2. Factor R.

ANEXO 3. Ajuste de la ecuación del Factor R.

ANEXO 4. Factores del modelo USLE.

ANEXO 5. Fotografías.

ANEXO 6. Justificación del número de muestras de suelo y sedimento.

ANEXO 7. Curvas granulométricas de muestras de suelo.

ANEXO 8. Contenido de materia orgánica de muestras de suelo.

ANEXO 9. Tasa de erosión.

ANEXO 10. Planos del Diseño Final de la Presa El Molino.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de erosión hídrica.	8
Tabla 2. Clasificación de la erosividad de lluvias.	9
Tabla 3. Clasificación del Factor C en función de los tipos de cultivos y prácticas agrícolas.....	10
Tabla 4. Correlación entre el NDVI y el Factor C del modelo USLE.....	11
Tabla 5. Clasificación de las cuencas, subcuencas y microcuencas.	15
Tabla 6. Las bandas que componen las imágenes LANDSAT – 8.....	23
Tabla 7. Especificaciones técnicas de la presa “El Molino”.	26
Tabla 8. Cultivos característicos de la cuenca delimitada por la presa “El Molino”.....	27
Tabla 9. Parámetros morfométricos generales de la cuenca delimitada por la presa “El Molino”.....	28
Tabla 10. Datos para la obtención de la curva hipsométrica y la frecuencia de altitudes. ..	29
Tabla 11. Datos de precipitación de la estación Campanario.	32
Tabla 12. Modelos de erosividad de lluvias en función del IMF.	34
Tabla 13. Datos de precipitación máxima diaria de la estación Campanario.	35
Tabla 14. Datos de días con lluvia de la estación Campanario.	38
Tabla 15. Códigos de la estructura y permeabilidad del suelo.	44
Tabla 16. Métodos para calcular el Factor LS del modelo USLE.	45
Tabla 17. Factor de Prácticas de Conservación de Suelos.....	47
Tabla 18. Valores de peso específico y constantes de consolidación para Lane y Koelzer (1943).	50
Tabla 19. Constantes de consolidación para Miller (1953).	50
Tabla 20. Coeficientes de peso unitario inicial para Miller (1953).	51
Tabla 21. Clasificación del sedimento en función al tamaño de las partículas propuesto por la American Geophysical Union (AGU).	51
Tabla 22. Levantamiento Topográfico y Batimétrico del Embalse de la presa “El Molino”.	52
Tabla 23. Datos de la curva Elevación vs Volumen.	52
Tabla 24. Resultados obtenidos de la topografía y batimetría.	54

Tabla 25. Valores de K en función del tipo y uso de suelo.	55
Tabla 26. Fórmulas para determinar el Coeficiente de escurrimiento anual (C_e).....	56
Tabla 27. Clasificación de la USDA para el tamaño de las partículas.	60
Tabla 28. Textura de las muestras de suelo.	60
Tabla 29. Erodabilidad del suelo en función de Wischmeier y Smith (1978).....	61
Tabla 30. Composición de las muestras de suelo.	61
Tabla 31. Erodabilidad del suelo en función de Sharpley y Williams (1990).....	62
Tabla 32. Resultados de los mapas del Factor K.	63
Tabla 33. Resultados del Factor LS.....	65
Tabla 34. Resultados del Factor C.....	67
Tabla 35. Resultados del Factor P.	68
Tabla 36. Resultados del Factor R.....	68
Tabla 37. Resultados del Factor R utilizando la ecuación ajustada.....	69
Tabla 38. Resultados del modelo USLE.....	70
Tabla 39. Resultados de tasa de erosión promedio.....	70
Tabla 40. Resultados de erosión bruta.....	70
Tabla 41. Resultado del aporte de sedimentos (t/año).....	71
Tabla 42. Ubicación de los puntos de muestreo de sedimentos en coordenadas UTM.	71
Tabla 43. Peso específico de las muestras de sedimento en función de Lane y Koelzer (1943).....	72
Tabla 44. Peso específico de las muestras de sedimento en función de Miller (1953).	72
Tabla 45. Valor del peso específico del sedimento.	73
Tabla 46. Resultados del aporte de sedimentos en el embalse.	73
Tabla 47. Valor del coeficiente de escurrimiento anual.	75
Tabla 48. Valor de volumen medio anual de escurrimiento.....	75
Tabla 49. Valores de capacidad de retención del embalse.	75
Tabla 50. Vida útil del embalse de la presa “El Molino”.	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipo para la medición batimétrica Z – Boat.	12
Figura 2. Partes de una cuenca hidrográfica.....	14
Figura 3. División de una cuenca hidrográfica.....	15
Figura 4. Esquema de una ladera con lluvia y sus demás componentes.	16
Figura 5. Celdas de una malla ráster con sus valores asociados.	18
Figura 6. Primitivas geométricas en el modelo de representación vectorial.	19
Figura 7. Imagen satelital ALOS – PALSAR del Municipio El Puente, Provincia Méndez, Tarija.	21
Figura 8. Ubicación geográfica del área de estudio.	24
Figura 9. Curvas características del ciclo de erosión de una cuenca.....	30
Figura 10. Curva hipsométrica y gráfica de frecuencia de altitudes.	30
Figura 11. Organigrama de trabajo.....	31
Figura 12. Mapa de unidades fisiográficas.....	40
Figura 13. Mapa de muestreo de suelos.	41
Figura 14. Triángulo de texturas.	43
Figura 15. Curva de Elevación vs Volumen de la Topografía y la Topobatimetría.....	53
Figura 16. Curva de Eficiencia de Retención de Brune (1953).....	58
Figura 17. Mapa del Factor de Erodabilidad del Suelo.	64
Figura 18. Mapa del Factor de Longitud y Grado de Pendiente.	66
Figura 19. Gráfica de producción de sedimento acumulado.	74