

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA
VEGETAL EN LA GENERACIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA ALTA
DEL RÍO GUADALQUIVIR”**

Por:

WILVER FLORES VICENTE

SEMESTRE- I- 2023

TARIJA - BOLIVIA

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

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA
VEGETAL EN LA GENERACIÓN DE CAUDALES DE LA CUENCA ALTA
DEL RÍO GUADALQUIVIR”**

Por:

WILVER FLORES VICENTE

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

**SEMESTRE- I- 2023
TARIJA - BOLIVIA**

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”.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

	Página
1.1	Introducción1
1.2	Antecedentes1
1.3	Alcance3
1.4	Justificación de la investigación3
1.5	Planteamiento del problema.....4
1.6	Formulación del problema4
1.7	Hipótesis4
1.8	Objetivos.....5
1.8.1	Objetivo general5
1.8.2	Objetivos específicos5

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

	Página
2.1	Escorrentía6
2.2	Balance hídrico6
2.3	Coberturas Vegetales7
2.4	Relaciones Agua-Vegetación.....7
2.5	Análisis Multi-Temporal de Cobertura Vegetal8
2.6	Sistemas de información geográfica (SIG).....10
2.7	Modelos Hidrológicos.....10
2.7.1	Modelos Físicos11
2.7.2	c) Modelos Abstractos.....11
2.8	Modelo Soil Water Assesment Tool (SWAT).....11
2.9	Unidades hidrológicas de respuesta12

2.10	Coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe.....	13
2.11	Calibración y Validación del Modelo SWAT.....	13
2.12	SWAT-CUP (SWAT Calibration and Uncertainty Programs).....	14

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y DESARROLLO

	Página	
3.1	Fase I.....	15
3.2	Fase II	16
3.3	Recolección de información	19
3.4	Ubicación Geográfica	19
3.5	Delimitación de la cuenca hidrográfica	20
3.6	Morfométricas de la Cuenca Hidrográfica atreves de SWAT	21
3.6.1	Área de la Cuenca y sub cuencas (A).....	21
3.6.2	Perímetro de la cuenca y sub cuencas (P).....	22
3.6.3	Topografía de la cuenca	23
3.7	Selección de estaciones meteorológicas	23
3.8	Análisis Climatológico para la Cuenca.....	24
3.8.1	Temperatura	25
3.8.2	Precipitación.....	25
3.9	Determinación de Pendientes en la Cuenca.....	26
3.10	Análisis de Cobertura Vegetal	27
3.11	Coberturas vegetal y uso de la tierra 2001.....	28
3.12	Coberturas vegetal y uso de la tierra 2010.....	30
3.13	Coberturas vegetal y uso de la tierra 2021.....	32
3.14	Análisis de variación de la cobertura vegetal en los periodos de estudio....	34
3.15	Caracterización del Suelo	35
3.16	Modelación Hidrológica (SWAT)	37
3.17	Calibración Del Modelo (SWAT).....	40

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y RESULTADOS

	Página
4.1 Relación del cambio de las coberturas vegetales	41
4.2 Resultados de la modelación en los periodos 2001 – 2014	43
4.3 Resultados de la modelación en el periodo 2001 a 2003	43
4.4 Resultados de la modelación en el periodo 2009 a 2011	44
4.5 Resultados de la modelación en el periodo 2019 a 2021	45
4.6 Calibración del Modelo hidrológico	45
4.7 Correlación de caudales simulados con la variación de la cobertura vegetal en la cuenca Alta del Río Guadalquivir	46
4.8 Análisis para el período 2001-2002	46
4.9 Análisis para el período 2009-2010	48
4.10 Análisis para el período 2020-2021	49

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

	Página
5.1 Conclusiones	51
5.2 Recomendaciones	53
BIBLIOGRAFÍA	54

ANEXOS

Anexo A: Desarrollo del paso a paso de la modelación Con SWAT

Anexo B: Resultados del modelo de observados y simulados

Anexo C: Resultados de las variaciones de la cobertura vegetal en la cuenca

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Porcentajes regional de las clases CCI de cobertura vegetal para 1992.....	9
Figura 2: Porcentajes regional de las clases CCI de cobertura vegetal para 2015.....	9
Figura 3: Estructura de la metodología para la modelación hidrológica con SWAT	18
Figura 4: Mapa de ubicación geográfica de la cuenca alta del Río Guadalquivir.....	20
Figura 5: Mapa de sub cuencas de la cuenca Alta del río Guadalquivir	21
Figura 6: Mapa de estaciones Meteorológicas	24
Figura 7: Mapa de Pendientes	27
Figura 8: Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del año 2001	29
Figura 9: Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del año 2010	31
Figura 10: Mapa de cobertura vegetal y uso de suelo del año 2021	33
Figura 11: Mapa de cambio de cobertura de la sub cuenca La Victoria.....	35
Figura 12: Mapa del tipo de suelo según la FAO.....	37
Figura 13: Ejemplo de la forma donde se encuentra la información básica de las estaciones	38
Figura 14: Ejemplo de los formatos para la correcta lectura de las variables climáticas en el Modelo, para Precipitaciones	39
Figura 15: Ejemplo de los formatos para la correcta lectura de las variables climáticas en el Modelo, para temperaturas máximas y mínimas.....	39
Figura 16: Comparación de tipos de cobertura en las escalas de tiempo en estudio	42

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Área de Sub Cuencas de la Cuenca Alta del Río Guadalquivir	22
Tabla 2: Perímetro de Sub Cuencas de la cuenca alta del Río Guadalquivir	22
Tabla 3: Factores Topográficos de la Cuenca alta del Río Guadalquivir	23
Tabla 4: Estaciones meteorológicas utilizadas para el modelo SWAT.....	23
Tabla 5: Estaciones meteorológicas con data de temperatura Max. y Min.....	25
Tabla 6: Estaciones meteorológicas con data de precipitaciones Diarias	26
Tabla 7: Rango de pendiente de la cuenca alta del Rio Guadalquivir	26
Tabla 8: Cobertura vegetal y uso de suelo periodo 2001	28
Tabla 9: Cobertura vegetal y uso de suelo periodo 2010.....	30
Tabla 10: Cobertura vegetal y uso de suelo periodo 2021	32
Tabla 11: Área del cambio de cobertura en la sub cuenca de la Victoria	34
Tabla 12: Tipo de suelo según la clasificación de la FAO.....	36
Tabla 13: Valores de Calibración según el Programa SWAT-CUP	40
Tabla 14: Significado según la Codificación la FAO en la cobertura vegetal	42
Tabla 15: Precipitación y Escorrentía para el análisis en el periodo 2001-2002	47
Tabla 16: : Precipitación y Escorrentía para el análisis en el periodo 2009-2010	48
Tabla 17: : Precipitación y Escorrentía para el análisis en el periodo 2020-2021	50

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1: Porcentaje de cobertura vegetal y uso de suelo 2001	30
Gráfico 2: Porcentaje de cobertura vegetal y uso de suelo 2010	32
Gráfico 3: Porcentaje de cobertura vegetal y uso de suelo 2021	34
Gráfico 4: Variación de la cobertura vegetal en los periodos de estudio.....	41
Gráfico 5: Caudales Observados vs Caudales simulados del 2001-2014	43
Gráfico 6: Comparación de caudales observados vs simulados	44
Gráfico 7: Comparación de caudales observados vs simulados	44
Gráfico 8: Caudales simulados con el Modelo SWAT	45
Gráfico 9: Caudales calibración vs observados en los periodos del 2001 a2014.....	46
Gráfico 10: Precipitación y Escorrentía periodos 2001-2002.....	47
Gráfico 11: Precipitación y Escorrentía periodos 2009-2010.....	49
Gráfico 12: Precipitación y Escorrentía periodos 2020-2021	50
Gráfico 13: Coeficiente de correlación R^2 del periodo de calibración.....	52