

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



**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA  
DEL SUELO Y SU INCIDENCIA EN EL COEFICIENTE DE  
ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO VITORIA”**

**Autor:**

**LEÓN TEJERINA RODRIGO**

**SEMESTRE II – 2024**

**TARIJA – BOLIVIA**

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

**“ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA COBERTURA  
DEL SUELO Y SU INCIDENCIA EN EL COEFICIENTE DE  
ESCORRENTÍA EN LA CUENCA DEL RÍO VITORIA”**

**Por:**

**LEÓN TEJERINA RODRIGO**

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 II – 2024**

**TARIJA – BOLIVIA**

### **Dedicatoria**

Dedico el presente trabajo a Dios por darme la fortaleza, perseverancia y guía por el buen camino para poder afrontar todos los problemas que se presentaron.

A mi familia por apoyarme en todo momento y darme la fuerza para seguir adelante, a mi madre y padre por ser siempre comprensivos, a mi hermano por culminar mis estudios.

## ÍNDICE

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| CAPÍTULO I.....                                                | 1  |
| 1. Introducción .....                                          | 1  |
| 1.1. Antecedentes.....                                         | 1  |
| 1.2. Descripción del problema .....                            | 2  |
| 1.3. Planteamiento del problema.....                           | 3  |
| 1.4. Justificación .....                                       | 3  |
| 1.5. Alcance .....                                             | 4  |
| 1.6. Objetivos.....                                            | 4  |
| 1.6.1. General. ....                                           | 4  |
| 1.6.2. Específicos.....                                        | 4  |
| CAPÍTULO II .....                                              | 5  |
| 2. Marco teórico .....                                         | 5  |
| 2.1. Cuenca hidrográfica.....                                  | 5  |
| 2.1.1. Delimitación de la cuenca. ....                         | 5  |
| 2.1.2. Parámetros geomorfológicos de la cuenca. ....           | 5  |
| 2.1.3. Otros parámetros de la cuenca.....                      | 6  |
| 2.2. Escurrimiento.....                                        | 9  |
| 2.2.1. Fuentes del escurrimiento.....                          | 10 |
| 2.2.2. Procesos del escurrimiento.....                         | 11 |
| 2.2.3. Factores que afectan el escurrimiento superficial. .... | 12 |
| 2.3. Tipos de suelos y su clasificación hidrológica.....       | 13 |
| 2.4. Coeficiente de esorrentía $C$ .....                       | 16 |
| 2.5. Teledetección o percepción remota .....                   | 18 |
| 2.5.1. La teledetección en el análisis multitemporal. ....     | 18 |

|                   |                                                                       |    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 2.5.2.            | Espectro Electro-Magnético.....                                       | 19 |
| 2.5.3.            | Comportamiento espectral de la vegetación.....                        | 20 |
| 2.6.              | Satélites Landsat .....                                               | 21 |
| 2.6.1.            | Landsat 7. ....                                                       | 21 |
| 2.6.2.            | Landsat 8. ....                                                       | 22 |
| 2.7.              | Correcciones a las imágenes de satélites .....                        | 23 |
| 2.7.1.            | Corrección radiométrica. ....                                         | 23 |
| 2.7.2.            | Georreferenciación y corrección geométrica de imágenes de satélite... | 24 |
| 2.7.3.            | Corrección atmosférica.....                                           | 26 |
| 2.8.              | Clasificación de imágenes .....                                       | 27 |
| 2.8.1.            | Clasificación no supervisada. ....                                    | 28 |
| 2.8.2.            | Clasificación supervisada. ....                                       | 29 |
| 2.9.              | Validación. Error de clasificación .....                              | 30 |
| 2.10.             | Sistemas de coordenadas en geodesia.....                              | 32 |
| 2.10.1.           | Coordenadas Geodésicas. ....                                          | 32 |
| 2.10.2.           | Coordenadas Geográficas.....                                          | 32 |
| 2.10.3.           | Coordenadas Cartesianas.....                                          | 33 |
| 2.11.             | Qué es la red geodésica.....                                          | 33 |
| 2.12.             | Categorización de la red geodésica.....                               | 34 |
| 2.13.             | La red de operaciones continuas.....                                  | 34 |
| CAPÍTULO III..... |                                                                       | 36 |
| 3.                | Materiales y metodología.....                                         | 36 |
| 3.1.              | Materiales y equipos .....                                            | 36 |
| 3.2.              | Metodología de variables.....                                         | 37 |
| 3.1.              | Modelación de variables.....                                          | 37 |

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 3.3. Variables .....                           | 38 |
| 3.3.1. Cuenca la victoria.....                 | 38 |
| 3.3.2. Puntos de georreferenciación. ....      | 40 |
| 3.3.3. Cobertura vegetal.....                  | 44 |
| 3.3.4. Pendiente del terreno. ....             | 46 |
| 3.3.5. Tipo de suelo. ....                     | 47 |
| CAPÍTULO IV .....                              | 48 |
| 4. Resultados .....                            | 48 |
| 4.1. Cobertura vegetal.....                    | 48 |
| 4.2. Pendientes de terreno .....               | 50 |
| 4.3. Tipos de suelos.....                      | 52 |
| 4.4. Análisis multitemporal de cobertura ..... | 54 |
| CAPÍTULO V .....                               | 56 |
| 5. Conclusiones y recomendaciones .....        | 56 |
| 5.1. Conclusiones.....                         | 56 |
| 5.2. Recomendaciones .....                     | 57 |
| Bibliografía .....                             | 59 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Clasificación del tamaño de cuencas. ....                                                                     | 6  |
| Tabla 2 Clasificación del relieve de una cuenca de acuerdo a su pendiente. ....                                       | 7  |
| Tabla 3 Grupos hidrológicos. ....                                                                                     | 14 |
| Tabla 4 Grupos de suelos de referencia, no modificados intensamente por el hombre, y grupo hidrológico asignado. .... | 15 |
| Tabla 5 Coeficiente de escurrimiento. ....                                                                            | 16 |
| Tabla 6 Coeficiente de escurrimiento. ....                                                                            | 17 |
| Tabla 7 Coeficiente de escurrimiento. ....                                                                            | 17 |
| Tabla 8 Características del Landsat 7 bandas. ....                                                                    | 22 |
| Tabla 9 Características del Landsat 8 Bandas. ....                                                                    | 22 |
| Tabla 10 Matriz de confusiones con 6 clases. ....                                                                     | 31 |
| Tabla 11 Características morfométricas de la cuenca ....                                                              | 39 |
| Tabla 12 Coordenadas U.T.M. ....                                                                                      | 43 |
| Tabla 13 Coordenadas Geodesicas. ....                                                                                 | 43 |
| Tabla 14 Clasificación de cobertura vegetal. ....                                                                     | 48 |
| Tabla 15 Clasificación de pendientes. ....                                                                            | 50 |
| Tabla 16 Clasificación de los tipos de suelos. ....                                                                   | 52 |
| Tabla 17 Análisis multitemporal. ....                                                                                 | 54 |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1 Curva hipsométrica. ....                                                            | 9  |
| Ilustración 2 Espectro Electro - Magnético.....                                                   | 20 |
| Ilustración 3 Firma espectral para distitos tipos de coberturas. ....                             | 21 |
| Ilustración 4 Definición no supervisada de clases en el espacio de variables. ....                | 28 |
| Ilustración 5 Dendrograma obtenido a partir de los pixels de las áreas de entrenamiento.<br>..... | 29 |
| Ilustración 6 Imagen MSS y definición supervisada de clases. ....                                 | 30 |
| Ilustración 7 Jerarquía de la Red Geodésica Margen para Bolivia. ....                             | 35 |
| Ilustración 8 Imágenes de los equipos. ....                                                       | 36 |
| Ilustración 9 Modelación de Variables. Fuente: Elaboración propia. ....                           | 37 |
| Ilustración 10 Curva hipsométrica. ....                                                           | 39 |
| Ilustración 11 Equipos GNSS en el campo. ....                                                     | 42 |
| Ilustración 12 Pos-proceso en Leyca Geo Office.....                                               | 43 |
| Ilustración 13 Imagenesa Satelitales. ....                                                        | 44 |
| Ilustración 14 Diagrama de clasificación.....                                                     | 46 |
| Ilustración 15 Cambio de cobertura vegetal.....                                                   | 55 |



## ÍNDICE DE MAPAS

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| Mapa 1 Delimitación de cuenca.....   | 38 |
| Mapa 2 Ubicación de los puntos. .... | 41 |
| Mapa 3 Cobertura vegetal. ....       | 49 |
| Mapa 4 Pendientes del terreno. ....  | 51 |
| Mapa 5 Tipos de suelos.....          | 53 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS A. Reportes de puntos geodésicos

ANEXOS B. Memoria fotográfica

ANEXOS C. Tablas de cálculos de coeficiente de escorrentía