

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



**"ANÁLISIS DE LA REGULACIÓN DEL EMBALSE SELLA-  
RUMICANCHA PARA DIFERENTES ESCENARIOS DE  
OFERTA HÍDRICA"**

Elaborado por:

**RIOS CASTRO CARLOS DANIEL**

Proyecto de grado presentado a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar por el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil.

**Semestre I - 2025**

*Tarija – Bolivia*

## **DEDICATORIA**

A mi madre, la Sra. **Sila Castro Valdez**, que con su apoyo y cariño me motivo para conseguir mi meta; a mi padre, el Sr. **Cimar Rios Romero** por brindarme su apoyo incondicional y permanente; a mi hermano, **Eyber Samuel Rios Castro**, que estuvo conmigo brindándome su apoyo.

## **ÍNDICE GENERAL**

|                                                    |           |
|----------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. CAPÍTULO I : ASPECTOS GENERALES.....</b>     | <b>1</b>  |
| 1.1. Introducción.....                             | 1         |
| 1.2. Planteamiento y formulación del problema..... | 2         |
| 1.2.1. Descripción del problema.....               | 2         |
| 1.2.2. Planteamiento del problema. ....            | 2         |
| 1.2.3. Formulación del problema.....               | 3         |
| 1.3. Objetivo general y específicos.....           | 4         |
| 1.3.1. Objetivo general. ....                      | 4         |
| 1.3.2. Objetivos específicos.....                  | 4         |
| 1.4. Hipótesis. ....                               | 4         |
| 1.4.1. Análisis de variables. ....                 | 5         |
| 1.4.2. Definición conceptual.....                  | 5         |
| 1.5. Justificación. ....                           | 5         |
| 1.6. Alcance del Trabajo. ....                     | 6         |
| 1.6.1. Delimitación Espacial.....                  | 7         |
| 1.6.2. Delimitación Temporal. ....                 | 8         |
| 1.7. Método de trabajo (Metodología).....          | 9         |
| <b>2. CAPÍTULO II : FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>    | <b>13</b> |
| 2.1. Presas y embalses. ....                       | 13        |
| 2.1.1. Tipos de presas. ....                       | 14        |
| 2.1.1.1. Presas de tierra.....                     | 14        |
| 2.1.1.2. Presas de escollera. ....                 | 14        |
| 2.1.1.3. Presas de gravedad de hormigón. ....      | 15        |

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1.2. Rendimiento del almacenamiento. ....                            | 15 |
| 2.1.3. Selección de la capacidad para un vaso fluvial. ....            | 16 |
| 2.2. Hidrología para presas. ....                                      | 17 |
| 2.2.1. Diseño hidrológico del embalse. ....                            | 18 |
| 2.2.1.1. Entradas al embalse. ....                                     | 18 |
| 2.2.1.2. Salidas del embalse.....                                      | 19 |
| 2.2.1.3. Niveles y volúmenes característicos.....                      | 20 |
| 2.2.2. Curvas características. ....                                    | 22 |
| 2.2.2.1. Curva altura - superficie. ....                               | 23 |
| 2.2.2.2. Curva altura - volumen. ....                                  | 23 |
| 2.3. Regulación de embalses.....                                       | 24 |
| 2.3.1. Objetivos de la regulación de embalses.....                     | 25 |
| 2.3.2. Escalas de operación.....                                       | 25 |
| 2.3.3. Procedimiento para la regulación y operación de un embalse..... | 26 |
| 2.3.3.1. Recolección de datos. ....                                    | 26 |
| 2.3.3.2. Análisis preliminar. ....                                     | 26 |
| 2.3.3.3. Modelado y simulación. ....                                   | 26 |
| 2.3.3.4. Cálculo de evaporación e infiltración. ....                   | 27 |
| 2.3.3.5. Establecimiento del caudal ecológico.....                     | 27 |
| 2.3.3.6. Desarrollo de un plan de operación. ....                      | 28 |
| 2.3.4. Importancia de la regulación de embalses.....                   | 29 |
| 2.3.5. Otros aspectos relevantes.....                                  | 29 |
| 2.4. Modelación hidrológica. ....                                      | 30 |
| 2.4.1. Definición. ....                                                | 30 |

|                                                                                                                          |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.2. Objetivos de la modelación hidrológica. ....                                                                      | 30        |
| 2.4.3. Tipos de modelos. ....                                                                                            | 31        |
| 2.4.4. Clasificación de modelos. ....                                                                                    | 32        |
| 2.4.5. Calibración y validación de modelos. ....                                                                         | 32        |
| 2.4.5.1. Calibración Manual. ....                                                                                        | 33        |
| 2.4.5.2. Calibración automática. ....                                                                                    | 33        |
| 2.4.5.3. Evaluación de desempeño. ....                                                                                   | 34        |
| 2.4.5.4. Validación. ....                                                                                                | 37        |
| 2.4.6. Modelación WEAP. ....                                                                                             | 38        |
| 2.4.6.1. Descripción y aplicaciones de WEAP. ....                                                                        | 38        |
| 2.4.6.2. Proceso de aplicación de un modelo WEAP. ....                                                                   | 39        |
| 2.4.6.3. Hidrología de superficie – WEAP. ....                                                                           | 39        |
| <b>3. CAPÍTULO III : RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN. ....</b>                                                                | <b>42</b> |
| 3.1. Revisión de documentación existente. ....                                                                           | 42        |
| 3.1.1. Características técnicas de la presa “Sella – Rumicancha” contempladas en el estudio TESA. ....                   | 42        |
| 3.1.2. Características técnicas de la presa “Sella – Rumicancha” a partir de información proporcionada por SEDEGIA. .... | 44        |
| 3.1.2.1. Volúmenes y niveles característicos del embalse “Sella – Rumicancha” ....                                       | 44        |
| 3.1.2.2. Ubicación de la galería para el emplazamiento del desfogue de fondo y riego. ....                               | 46        |
| 3.1.3. Descripción de las áreas de aporte. ....                                                                          | 47        |
| 3.1.4. Descripción de los canales de trasvase propuestos y sistema de aducción. ....                                     | 49        |
| 3.1.5. Caudales medios mensuales. ....                                                                                   | 50        |
| 3.1.5.1. Análisis de aforos y coeficientes de distribución. ....                                                         | 52        |

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.1.5.2. Esgurrimientos mensuales estimados por el estudio TESA.....                                         | 55        |
| 3.2. Recopilación de información meteorológica. ....                                                         | 58        |
| 3.2.1. Datos climatológicos (SENHAMI) .....                                                                  | 58        |
| 3.2.2. Modelo hidrológico “Guadalquivir_3” modificado por PROCUENCA.....                                     | 59        |
| 3.3. Información hidrométrica. ....                                                                          | 64        |
| 3.4. Uso de suelo y cobertura vegetal. ....                                                                  | 64        |
| 3.4.1. Clasificación de uso de suelo y cobertura vegetal en WEAP .....                                       | 64        |
| 3.4.2. Clasificación de uso de suelo según ZONISIG. ....                                                     | 65        |
| 3.5. Información de demanda. ....                                                                            | 66        |
| 3.5.1. Demanda de agua para riego. ....                                                                      | 66        |
| 3.5.2. Demanda de agua potable.....                                                                          | 67        |
| <b>4. CAPÍTULO IV : INGENIERÍA DEL PROYECTO. ....</b>                                                        | <b>68</b> |
| 4.1. Esquematzación, estructuración e incorporación de información al modelo WEAP<br>“SellaQuebrada_1”. .... | 68        |
| 4.1.1. Delimitación de la zona de estudio.....                                                               | 68        |
| 4.1.2. Uso de suelo y cobertura vegetal usadas. ....                                                         | 70        |
| 4.1.3. Incorporación y análisis de la información climática. ....                                            | 71        |
| 4.1.4. Incorporación y análisis de la información hidrométrica. ....                                         | 73        |
| 4.1.5. Incorporación y análisis de la información de demanda. ....                                           | 74        |
| 4.1.5.1. Demanda de agua potable.....                                                                        | 74        |
| 4.1.5.2. Demanda de agua para riego. ....                                                                    | 75        |
| 4.1.6. Generación de esquema base del modelo “SellaQuebrada_1” en WEAP. ....                                 | 76        |
| 4.1.7. Estructura de datos en el interior de las unidades hidrológicas. ....                                 | 78        |
| 4.2. Calibración y validación del modelo WEAP. ....                                                          | 80        |
| 4.2.1. Criterios para la calibración y validación del modelo. ....                                           | 80        |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.1. Selección de los periodos de calibración y validación del modelo. ....                       | 82  |
| 4.2.2. Calibración del modelo.....                                                                  | 84  |
| 4.2.2.1. Aspectos a considera para la calibración a partir de la primera iteración del modelo. .... | 84  |
| 4.2.2.2. Resultado de la calibración.....                                                           | 90  |
| 4.2.3. Validación del modelo. ....                                                                  | 93  |
| 4.2.3.1. Resultados de la validación. ....                                                          | 93  |
| 4.2.3.2. Validación del modelo respecto a otros estudios. ....                                      | 96  |
| 4.3. Regulación del embalse “Sella Rumicancha” para diferentes escenarios de oferta hídrica. ....   | 100 |
| 4.3.1. Niveles y volúmenes característicos de la presa asumidos para la regulación. ....            | 100 |
| 4.3.2. Oferta hídrica del embalse.....                                                              | 101 |
| 4.3.2.1. Aportación propia. ....                                                                    | 105 |
| 4.3.2.2. Determinación de los caudales de trasvase y aducción. ....                                 | 106 |
| 4.3.2.2.1. Oferta: sub cuenca Chaupicancha.....                                                     | 110 |
| 4.3.2.2.2. Oferta: sub cuenca Negro Muerto. ....                                                    | 112 |
| 4.3.2.2.3. Oferta: sub cuenca Jarcas. ....                                                          | 114 |
| 4.3.2.2.4. Oferta: sub cuenca Jarcas y Negro Muerto.....                                            | 116 |
| 4.3.3. Pérdidas del embalse. ....                                                                   | 118 |
| 4.3.3.1. Pérdidas por evaporación. ....                                                             | 118 |
| 4.3.3.2. Perdidas por filtración. ....                                                              | 119 |
| 4.3.4. Demandas del embalse. ....                                                                   | 121 |
| 4.3.4.1. Demanda de riego.....                                                                      | 121 |
| 4.3.4.2. Caudal ecológico. ....                                                                     | 124 |
| 4.4. Escenarios de regulación del embalse según la variabilidad en la oferta hídrica. ...           | 124 |

|                                                                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4.1. Escenario 1, aporte: Subcuenca Rumicancha .....                                                                                       | 130        |
| 4.4.2. Escenario 2, aporte: Subcuenca Rumicancha y trasvase Chaupicancha. ....                                                               | 133        |
| 4.4.3. Escenario 3, aporte: Subcuenca Rumicancha y trasvase Negro Muerto (con aporte de Jarcas). ....                                        | 137        |
| 4.4.4. Escenario 4, aporte: Subcuenca Rumicancha, trasvases Chaupicancha y Negro Muerto (con aporte de Jarcas). ....                         | 140        |
| 4.4.5. Escenario 5, aporte: Subcuenca Rumicancha, trasvases Chaupicancha y Negro Muerto. ....                                                | 144        |
| 4.4.6. Escenario 6, aporte: Subcuenca Rumicancha, trasvases de Chaupicancha y Negro Muerto y sistema de aducción “Jarcas – Rumicancha” ..... | 147        |
| <b>5. CAPÍTULO V : ANÁLISIS DE RESULTADOS. ....</b>                                                                                          | <b>151</b> |
| 5.1. Análisis Hidrológico. ....                                                                                                              | 151        |
| 5.1.1. Precisión y estacionalidad del modelo WEAP desarrollado.....                                                                          | 151        |
| 5.1.2. Diferencias entre WEAP y TESA en la estimación de caudales mensuales....                                                              | 151        |
| 5.1.3. Errores y observaciones en el estudio TESA.....                                                                                       | 152        |
| 5.2. Análisis de escenarios de regulación del embalse según la variabilidad en la oferta hídrica. ....                                       | 153        |
| <b>6. CAPÍTULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                                                                                  | <b>158</b> |
| 6.1. Conclusiones.....                                                                                                                       | 158        |
| 6.2. Recomendaciones. ....                                                                                                                   | 162        |
| <b>7. BIBLIOGRAFÍA. ....</b>                                                                                                                 | <b>163</b> |
| <b>ANEXOS.</b>                                                                                                                               |            |



## **ÍNDICE DE FIGURAS**

|                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1. Localización de la presa Sella-Rumicancha.....                                                                                                 | 7  |
| Figura 1.2. Localización de los ríos pertenecientes a las potenciales áreas de aporte para los posibles trasvases.....                                     | 8  |
| Figura 1.3. Esquema del diseño del proyecto contemplando en el TESA.....                                                                                   | 9  |
| Figura 2.1. Presa “El Molino”, ubicada en la provincia Méndez, Tarija – Bolivia. ....                                                                      | 13 |
| Figura 2.2. Presa de escollera “Sella – Rumicancha”.....                                                                                                   | 15 |
| Figura 2.3. Esquema de las principales salidas y entradas de un embalse. ....                                                                              | 18 |
| Figura 2.4. Esquema de niveles y volúmenes característicos de un embalse. ....                                                                             | 21 |
| Figura 2.5. Planimetría tipo de un embalse. ....                                                                                                           | 22 |
| Figura 2.6. Ejemplo de curva Altura – superficie.....                                                                                                      | 23 |
| Figura 2.7. Ejemplo de curva Altura – Volumen. ....                                                                                                        | 24 |
| Figura 2.8. Clasificación de modelos hidrológicos en función: la forma, la aleatoriedad, variación espacial y temporal de los fenómenos hidrológicos. .... | 31 |
| Figura 2.9. Discretización de modelos a escala espacial: agregados, semi-distribuidos y distribuidos. ....                                                 | 32 |
| Figura 2.10. Proceso de calibración manual de un modelo de simulación.....                                                                                 | 33 |
| Figura 2.11. Proceso de calibración automática de un modelo de simulación. ....                                                                            | 34 |
| Figura 2.12. División de la serie de tiempo en periodos de calibración y validación y periodos de calentamiento (warm up). ....                            | 38 |
| Figura 2.13. Esquema para dos reservorios, balde superior y balde inferior.....                                                                            | 40 |
| Figura 3.1. Vista satelital y coordenadas del eje de la presa “Sella – Rumicancha”. ....                                                                   | 42 |
| Figura 3.2. Curva Altura – Área: Embalse “Sella – Rumicancha”.....                                                                                         | 44 |
| Figura 3.3. Curva Altura – Volumen: Embalse “Sella – Rumicancha”. ....                                                                                     | 45 |
| Figura 3.4. Emplazamiento en la Galería sistemas desfogue de fondo y riego.....                                                                            | 46 |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.5. Vista en planta de la obra de toma para riego (torre), disposición de tuberías y válvulas de control.....      | 47 |
| Figura 3.6. Esquema de subcuencas contempladas en el estudio TESA.....                                                     | 48 |
| Figura 3.7. Área de Estudio y ubicación de las obras y la estación hidrométrica. ....                                      | 49 |
| Figura 3.8. Esquema de canales de trasvase.....                                                                            | 50 |
| Figura 3.9. Caudales específicos: Medios anuales vs. Precipitación media (28/10/2008)...                                   | 51 |
| Figura 3.10. Esquema de la zona de estudio en el modelo WEAP “Guadalquivir_3”. ....                                        | 60 |
| Figura 3.11. Esquema modelo WEAP “SellaQuebrada_1”. ....                                                                   | 61 |
| Figura 3.12. Grupo hidrológico en la cuenca de estudio Sella Quebrada. ....                                                | 65 |
| Figura 3.13. Áreas de riego en la zona de estudio. ....                                                                    | 66 |
| Figura 3.14. Esquema de la población correspondiente a la comunidad Sella Quebrada del modelo “Guadalquivir_3” .....       | 67 |
| Figura 4.1. División de la Zona de estudio para la elaboración del modelo WEAP “SellaQuebrada_1”. ....                     | 69 |
| Figura 4.2. Correlación de la precipitación para UH_Restante.....                                                          | 72 |
| Figura 4.3. Correlación de la temperatura media para UH_Restante.....                                                      | 72 |
| Figura 4.4. Información climática requerida por WEAP.....                                                                  | 73 |
| Figura 4.5. Comparación de los caudales medios mensuales de distintas fuentes .....                                        | 74 |
| Figura 4.6. Consumo de agua potable del periodo 1980 – 2020. ....                                                          | 75 |
| Figura 4.7. Esquema general del modelo WEAP “SellaQuebrada_1”, utilizado para la generacion de los aportes mensuales. .... | 77 |
| Figura 4.8. Ejemplo de introducción de supuestos claves al modelo “SellaQuebrada_1”...                                     | 79 |
| Figura 4.9. Caudales modelados y observados.....                                                                           | 82 |
| Figura 4.10. Hidrograma de calibración para la Cuenca Sella Quebrada, periodo 1978 – 1986. ....                            | 83 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.11. Caudales modelados vs. Observados (primera iteración del modelo). ....                                             | 85  |
| Figura 4.12. Humedad relativa del suelo 1(%) – primera iteración del modelo. ....                                               | 87  |
| Figura 4.13. Humedad relativa del suelo 2 (%) – primera iteración del modelo.....                                               | 88  |
| Figura 4.14. Caudales mensuales Modelados vs. Observados para la calibración.....                                               | 91  |
| Figura 4.15. Caudales medios mensuales Modelados vs. Observados para la calibración. .                                          | 91  |
| Figura 4.16. Humedad relativa del suelo 1 (%), calibración del modelo. ....                                                     | 92  |
| Figura 4.17. Humedad relativa del suelo 2 (%), calibración del modelo. ....                                                     | 93  |
| Figura 4.18. Caudales mensuales Modelados vs. Observados para la validación.....                                                | 95  |
| Figura 4.19. Caudales medios mensuales Modelados vs. Observados para la calibración. .                                          | 95  |
| Figura 4.20. Caudales medios simulados en el estudio vs. Caudales medidos de otras<br>fuentes.....                              | 99  |
| Figura 4.21. Esquema de niveles de la presa “Sella – Rumicancha”. ....                                                          | 100 |
| Figura 4.22. Esquema general describiendo las entradas hacia el embalse “Sella –<br>Rumicancha”. ....                           | 101 |
| Figura 4.23. Esquema de entradas al embalse superpuesto sobre las cuencas de estudio..                                          | 102 |
| Figura 4.24. Caudales mensuales (1980 – 2020) modelados para la cuenca Sella Quebrada.<br>.....                                 | 103 |
| Figura 4.25. Caudales medios mensuales simulados para la cuenca Sella Quebrada. ....                                            | 104 |
| Figura 4.26. Hidrograma de caudales medios mensuales sub cuenca Rumicancha vs.<br>Caudales estimados por el estudio TESA.....   | 106 |
| Figura 4.27. Esquema de la cuenca de estudio en el modelo WEAP “Guadalquivir_3”....                                             | 107 |
| Figura 4.28. Esquema del modelo WEAP “SellaQuebrada_1” – Unidades hidrológicas de<br>riego. ....                                | 108 |
| Figura 4.29. Demandas no cubiertas por las unidades de riego: R_Ch2 y R_NM2 .....                                               | 109 |
| Figura 4.30. Hidrograma de caudales medios mensuales sub cuenca Chaupicancha vs.<br>Caudales estimados por el estudio TESA..... | 111 |

|                                                                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.31. Hidrograma de caudales medios mensuales sub cuenca Negro Muerto vs. Caudales estimados por el estudio TESA.....            | 113 |
| Figura 4.32. Hidrograma de caudales medios mensuales sub cuenca Jarcas vs. Caudales estimados por el estudio TESA. ....                 | 115 |
| Figura 4.33. Hidrograma de caudales medios mensuales sub cuencas Negro Muerto y Jarcas vs. Caudales estimados por el estudio TESA. .... | 117 |
| Figura 4.34. Esquema de aportes: escenario 1.....                                                                                       | 125 |
| Figura 4.35. Esquema de aportes: escenario 2.....                                                                                       | 125 |
| Figura 4.36. Esquema de aportes: escenario 3.....                                                                                       | 126 |
| Figura 4.37. Esquema de aportes: escenario 4.....                                                                                       | 127 |
| Figura 4.38. Esquema de aportes: escenario 5.....                                                                                       | 128 |
| Figura 4.39. Esquema de aportes: escenario 6.....                                                                                       | 129 |
| Figura 4.40. Variación mensual de la oferta total del embalse: escenario 1.....                                                         | 130 |
| Figura 4.41. Variación mensual del volumen aprovechable frente a la demanda total: escenario 1. ....                                    | 131 |
| Figura 4.42. Variación mensual de la altura de la presa: escenario 1. ....                                                              | 133 |
| Figura 4.43. Variación mensual de la oferta total del embalse: escenario 2.....                                                         | 134 |
| Figura 4.44. Variación mensual del volumen aprovechable frente a la demanda total: escenario 2. ....                                    | 135 |
| Figura 4.45. Variación mensual de la altura de la presa: escenario 2. ....                                                              | 136 |
| Figura 4.46. Variación mensual de la oferta total del embalse: escenario 3.....                                                         | 137 |
| Figura 4.47. Variación mensual del volumen aprovechable frente a la demanda total: escenario 3. ....                                    | 138 |
| Figura 4.48. Variación mensual de la altura de la presa: escenario 3. ....                                                              | 140 |
| Figura 4.49. Variación mensual de la oferta total del embalse: escenario 4.....                                                         | 141 |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 4.50. Variación mensual del volumen aprovechable frente a la demanda total:<br>escenario 4. .... | 142 |
| Figura 4.51. Variación mensual de la altura de la presa: escenario 4. ....                              | 143 |
| Figura 4.52. Variación mensual de la oferta total del embalse: escenario 5. ....                        | 144 |
| Figura 4.53. Variación mensual del volumen aprovechable frente a la demanda total:<br>escenario 5. .... | 145 |
| Figura 4.54. Variación mensual de la altura de la presa: escenario 5. ....                              | 147 |
| Figura 4.55. Variación mensual de la oferta total del embalse: escenario 5. ....                        | 148 |
| Figura 4.56. Variación mensual del volumen aprovechable frente a la demanda total:<br>escenario 6. .... | 149 |
| Figura 4.57. Variación mensual de la altura de la presa: escenario 6. ....                              | 150 |

## **ÍNDICE DE TABLAS**

|                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1. Coordenadas de la presa Sella-Rumicancha. ....                                                                              | 7  |
| Tabla 1.2. Coordenadas de los ríos de aporte. ....                                                                                     | 8  |
| Tabla 1.3. Estación Sella Quebradas. ....                                                                                              | 9  |
| Tabla 2.1. Medidas estadísticas incorporadas en WEAP. ....                                                                             | 35 |
| Tabla 3.1. Niveles y volúmenes característicos del embalse, presentados en el estudio<br>TESA. ....                                    | 43 |
| Tabla 3.2. Características del Embalse “Sella – Rumicancha” presentado en documento<br>anexo. ....                                     | 43 |
| Tabla 3.3. Niveles y volúmenes acumulados del embalse “Sella – Rumicancha”, a partir de<br>información proporcionada por SEDEGIA. .... | 45 |
| Tabla 3.4. Volúmenes característicos del embalse “Sella – Rumicancha”, a partir de<br>información proporcionada por SEDEGIA. ....      | 46 |
| Tabla 3.5. Algunos parámetros de las subcuencas de estudio contemplados en el TESA. ....                                               | 48 |
| Tabla 3.6. Caudales medios mensuales cuencas de referencias. ....                                                                      | 51 |
| Tabla 3.7. Caudales medios mensuales y coeficientes de distribución. ....                                                              | 53 |
| Tabla 3.8. Caudales medios mensuales y coeficientes de distribución elaborados por el Ing.<br>Alfonso Vacaflores. ....                 | 54 |
| Tabla 3.9. Coeficientes de distribución usados por el estudio TESA para estimar los<br>caudales medios mensuales. ....                 | 55 |
| Tabla 3.10. Caudales medios anuales de las cuencas de estudio. ....                                                                    | 55 |
| Tabla 3.11. Caudales medios obra de toma Chaupicancha. ....                                                                            | 56 |
| Tabla 3.12. Caudales medios obra de toma Negro Muerto. ....                                                                            | 56 |
| Tabla 3.13. Caudales medios presa Rumicancha. ....                                                                                     | 57 |
| Tabla 3.14. Caudales medios presa San Pedrito. ....                                                                                    | 57 |
| Tabla 3.15. Caudales medios presa Jarcas. ....                                                                                         | 58 |

|                                                                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 3.16. Datos climáticos, estación Sella Quebradas (1980 – 2023).....                                                                    | 59  |
| Tabla 3.17. Relación de datos entre los modelos “Guadalquivir_3” y “SellaQuebrada_1”. .....                                                  | 62  |
| Tabla 3.18. Resumen climatológico: UH_Chaupicancha y UH_Chaupicancha2. ....                                                                  | 62  |
| Tabla 3.19. Resumen climatológico: UH_NegroMuerto y UH_NegroMuerto2 .....                                                                    | 63  |
| Tabla 3.20. Resumen climatológico: UH_Jarcas.....                                                                                            | 63  |
| Tabla 3.21. Resumen climatológico: UH_SanPedrito .....                                                                                       | 63  |
| Tabla 3.22. Resumen climatológico: UH_Rumicancha.....                                                                                        | 63  |
| Tabla 3.23. Resumen climatológico: UH_Restante.....                                                                                          | 63  |
| Tabla 3.24. Áreas de riego de las unidades hidrológicas del modelo “SellaQuebrada_1”... ..                                                   | 67  |
| Tabla 3.25. Coordenadas de los puntos de estudio usados para la división de unidades<br>hidrológicas del modelo WEAP “SellaQuebrada_1”. .... | 68  |
| Tabla 4.1. Tipo de cobertura vegetal usada en el modelo WEAP “SellaQuebrada_1”.....                                                          | 70  |
| Tabla 4.2. Clasificación de ESA-CCI-2010.....                                                                                                | 71  |
| Tabla 4.3. Caudales medios mensuales de distintas fuentes de información. ....                                                               | 73  |
| Tabla 4.4. Coeficientes de cultivos usados para el modelo “SellaQuebrada_1” .....                                                            | 76  |
| Tabla 4.5. Valores iniciales de supuestos claves para el modelo “SellaQuebrada_1”.....                                                       | 79  |
| Tabla 4.6. Medidas estadísticas para la evaluación del desempeño de los caudales<br>observados vs. simulados. ....                           | 89  |
| Tabla 4.7. Valores definidos de supuestos claves para el modelo “SellaQuebrada_1”. ....                                                      | 90  |
| Tabla 4.8. Medidas estadísticas para la calibración del modelo. ....                                                                         | 90  |
| Tabla 4.9. Medidas estadísticas para la validación del modelo. ....                                                                          | 94  |
| Tabla 4.10. Caudales medios simulados (1980 – 2007) en el estudio vs. Caudales medidos<br>de otras fuentes. ....                             | 96  |
| Tabla 4.11. Caudales medios mensuales para año seco, promedio y húmedo – Sub cuenca<br>Rumicancha. ....                                      | 105 |

|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 4.12. Caudales medios mensuales para año seco, promedio y húmedo – Sub cuenca Chaupicancha.....          | 110 |
| Tabla 4.13. Caudal de trasvase, oferta: sub cuenca Chaupicancha.....                                           | 111 |
| Tabla 4.14. Caudales medios mensuales para año seco, promedio y húmedo – Sub cuenca Negro Muerto. ....         | 112 |
| Tabla 4.15. Caudal de trasvase, oferta: sub cuenca Negro Muerto. ....                                          | 113 |
| Tabla 4.16. Caudales medios mensuales para año seco, promedio y húmedo – Sub cuenca Jarcas. ....               | 114 |
| Tabla 4.17. Caudal de aducción, oferta: sub cuenca Jarcas. ....                                                | 116 |
| Tabla 4.18. Caudales medios mensuales para año seco, promedio y húmedo – Sub cuenca Negro Muerto y Jarcas..... | 117 |
| Tabla 4.19. Caudal de trasvase, oferta: sub cuenca Negro Muerto y Jarcas.....                                  | 118 |
| Tabla 4.20. Perdidas por evaporación del embalse “Sella – Rumicancha”. ....                                    | 119 |
| Tabla 4.21. Valores de permeabilidad para diferentes tipos de suelos.....                                      | 120 |
| Tabla 4.22. Perdidas por filtración del embalse “Sella – Rumicancha”. ....                                     | 120 |
| Tabla 4.23. Cedula de cultivos propuestos por el estudio TESA. ....                                            | 122 |
| Tabla 4.24. Demanda de riego calculada por el estudio TESA. ....                                               | 122 |
| Tabla 4.25. Calendario productivo propuesto de los cultivos.....                                               | 123 |
| Tabla 4.26. Periodo vegetativo y coeficiente de cultivo.....                                                   | 123 |
| Tabla 4.27. Volúmenes mensuales de oferta: escenario 1.....                                                    | 130 |
| Tabla 4.28. Volumen aprovechable mensual y volúmenes de demandas: escenario 1. ....                            | 131 |
| Tabla 4.29. Áreas de cultivo estimadas: escenario 1. ....                                                      | 132 |
| Tabla 4.30. Caudal de demanda por mes de nuevas áreas de cultivo: escenario 1.....                             | 132 |
| Tabla 4.31. Volúmenes mensuales de oferta: escenario 2.....                                                    | 133 |
| Tabla 4.32. Volumen aprovechable mensual y volúmenes de demandas: escenario 2. ....                            | 134 |



|                                                                                         |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 4.33. Áreas de cultivo estimadas: escenario 2. ....                               | 135 |
| Tabla 4.34. Caudal de demanda por mes de nuevas áreas de cultivo: escenario 2. ....     | 136 |
| Tabla 4.35. Volúmenes mensuales de oferta: escenario 3. ....                            | 137 |
| Tabla 4.36. Volumen aprovechable mensual y volúmenes de demandas: escenario 3. ....     | 138 |
| Tabla 4.37. Áreas de cultivo estimadas: escenario 3. ....                               | 139 |
| Tabla 4.38. Caudal de demanda por mes de nuevas áreas de cultivo: escenario 3. ....     | 139 |
| Tabla 4.39. Volúmenes mensuales de oferta: escenario 4. ....                            | 140 |
| Tabla 4.40. Volumen aprovechable mensual y volúmenes de demandas: escenario 4. ....     | 141 |
| Tabla 4.41. Áreas de cultivo estimadas: escenario 4. ....                               | 142 |
| Tabla 4.42. Caudal de demanda por mes de nuevas áreas de cultivo: escenario 4. ....     | 143 |
| Tabla 4.43. Volúmenes mensuales de oferta: escenario 5. ....                            | 144 |
| Tabla 4.44. Volumen aprovechable mensual y volúmenes de demandas: escenario 5. ....     | 145 |
| Tabla 4.45. Áreas de cultivo estimadas: escenario 5. ....                               | 146 |
| Tabla 4.46. Caudal de demanda por mes de nuevas áreas de cultivo: escenario 5. ....     | 146 |
| Tabla 4.47. Volúmenes mensuales de oferta: escenario 6. ....                            | 147 |
| Tabla 4.48. Volumen aprovechable mensual y volúmenes de demandas: escenario 6. ....     | 148 |
| Tabla 4.49. Áreas de cultivo estimadas: escenario 6. ....                               | 149 |
| Tabla 4.50. Caudal de demanda por mes de nuevas áreas de cultivo: escenario 6. ....     | 150 |
| Tabla 5.1. Comparación de aportes de los diferentes escenarios analizados. ....         | 153 |
| Tabla 5.2. Comparación de demandas cubiertas de los diferentes escenarios analizados. . | 153 |
| Tabla 5.3. Comparación de los niveles mínimos alcanzados en cada escenario. ....        | 155 |
| Tabla 5.4. Comparación de los niveles máximos alcanzados en cada escenario. ....        | 155 |

## **ÍNDICE DE ANEXOS.**

**ANEXO 1:** Información recopilada del proyecto embalse “Sella – Rumicancha”.

**ANEXO 2:** Información topográfica y su procesamiento.

**ANEXO 3:** Información climática, estación Sella Quebradas (SENHAMI).

**ANEXO 4:** Calculo de caudales medios mensuales.

**ANEXO 5:** Regulación del embalse para diferentes escenarios.