

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
FEDERICO VILARREAL**

**VICERECTORADO DE  
INVESTIGACION**

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO**

**“REPRESAMIENTOS EN LA CUENCA DEL MANTARO PARA LA DISPONIBILIDAD  
DE AGUA REGULADA EN UNA CENTRAL HIDROELECTRICA MANTARO”**

**LINEA DE INVESTIGACION: DESARROLLO URBANO-RURAL, CATASTRO,  
PREVENCION DE RIESGOS, HIDRAULICA Y GEOTECNIA**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADEMICO DE  
DOCTOR EN INGENIERIA CIVIL**

**AUTOR:**

**GONZALO RAMCES FANO MIRANDA**

**ASESOR:**

**DRA. MENACHO VARGAS ISABEL**

**JURADO:**

**DR. VALENCIA GUTIERREZ ANDRES AVELINO**

**DR. GUEVARA BENDEZU JOSE C.**

**DR. CANCHO ZUÑIGA GERARDO E.**

**LIMA – PERÚ  
2021**

## **DEDICATORIA**

**A la memoria de mis Padres Roberto y María Jesús**

**A mi Esposa Doris, mis hijos Gonzalo y Andrea**

**A mis hermanos Federico, Roberto, Victoriano, Isabel,  
Fernando y Juan**

**Que de alguna manera han contribuido en mis logros  
profesionales**

## **AGRADECIMIENTO**

**A mi asesora Dra. Isabel Menacho Vargas,**

**A mis Jurados Dr. Andrés Valencia Gutiérrez, Dr. José C.**

**Guevara Bendezú, Dr. Gerardo E. Cancho Zúñiga**

**Al personal administrativo de la EUPG**

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Planteamiento del problema.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Descripción del problema (a nivel global y local).....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. Formulación del problema .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1. Problema General .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2. Problemas Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Antecedentes .....</b>	<b>15</b>
<b>1.5. Justificación e importancia de la investigación .....</b>	<b>22</b>
<b>1.6. Limitaciones de la investigación .....</b>	<b>23</b>
<b>1.7. Objetivos .....</b>	<b>24</b>
<b>1.7.1. Objetivo General.....</b>	<b>24</b>
<b>1.7.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>24</b>
<b>1.8. Hipótesis .....</b>	<b>24</b>
<b>1.8.1. Hipótesis General .....</b>	<b>24</b>
<b>1.8.2. Hipótesis específicas.....</b>	<b>25</b>
<b>II. MARCO TEORICO .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1. Agua.....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.1. Vertientes y disponibilidad de agua .....</b>	<b>26</b>
<b>2.1.2. Uso y manejo de agua .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1.3. Problemática del Agua en el Perú .....</b>	<b>28</b>
<b>2.1.4. Gestión integrada del agua.....</b>	<b>28</b>
<b>2.2. Centrales hidroeléctricas .....</b>	<b>34</b>
<b>2.2.1. Planificación de la expansión hidroeléctrica en un clima que cambia.....</b>	<b>35</b>
<b>2.2.2. El valor del agua para la generación de energía .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.3. Valor para la gestión de los recursos hídricos.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2.4. Central Hidroeléctrica del Mantaro.....</b>	<b>38</b>
<b>2.3. Software WEAP.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.1. Descripción de WEAP .....</b>	<b>39</b>
<b>2.3.2. Proceso de aplicación de un modelo en el software WEAP .....</b>	<b>40</b>
<b>2.3.3. Aspectos de responsabilidad social y medio ambiente.....</b>	<b>41</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1. Tipo de Investigación .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1.1. De acuerdo a la orientación.....</b>	<b>43</b>

3.1.2.	De acuerdo a la técnica de contrastación .....	43
3.2.	Población y muestra .....	43
3.2.1.	Población.....	43
3.2.2.	Muestra .....	43
3.3.	Operacionalización de Variables .....	43
3.4.	Ubicación Geográfica.....	47
3.5.	Instrumentos.....	48
3.5.1.	Información de los datos meteorológicos, uso del suelo, datos hidrométricos, embalses y centrales hidroeléctricas: .....	48
3.5.2.	Análisis de Datos .....	49
3.5.3.	Calibración de los Represamientos .....	52
3.5.4.	Simulación del modelo ante la presencia de la presa Puente Stuart .....	53
IV.	RESULTADOS .....	54
4.1.	Modelo Hidrológico de la cuenca del Mantaro para generar los caudales promedios mensuales no regulados en las subcuencas comprendidas hasta tablachaca .	54
4.1.1.	Definición del esquema topológico .....	54
4.1.2.	Construcción del Modelo Hidrológico WEAP .....	58
4.1.3.	Determinación de las áreas por subcuencas .....	59
4.1.4.	Determinación de las variables climatológicas.....	61
4.1.5.	Alimentación de la información en la base de datos del modelo hidrológico ..	63
4.2.	Reglas de Operación de las represas de Malpaso y Upamayo para la disponibilidad del agua en la central hidroeléctrica del Mantaro .....	78
4.3.	Determinación de la capacidad hidrológica de represas de subcuencas del rio Mantaro .....	81
4.4.	Modelo de Gestión conjunta para analizar la influencia de las reglas de operación de cada una de las represas consideradas.....	88
4.5.	Realizar las simulaciones con el modelo de gestión para cada uno de los casos propuestos.....	89
4.5.1.	Simulaciones con el modelo de gestión sin considerar represamientos .....	90
4.5.2.	Simulaciones con el modelo de gestión considerando represamientos.....	96
4.5.3.	Simulaciones con el modelo de gestión considerando represamientos de afluentes .....	112
4.5.4.	Simulaciones con el modelo de gestión considerando represamientos de afluentes y demandas 200stuart.....	132
4.5.5.	Variantes del almacenamiento Puente Stuart .....	157
4.5.6.	Operación de la represa de puente stuar propuesto .....	164

<b>V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>176</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>177</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>179</b>
<b>VIII. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>180</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área en estudio.....	47
Figura 2. Elementos hidrológicos modelados por WEAP .....	49
Figura 3. Zonas de almacenamiento .....	53
Figura 4. Modelo de Elevación Digital de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca. ....	55
Figura 5. Procesos para la delimitación de la cuenca a partir Modelo de Elevación Digital de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.....	55
Figura 6. Proceso de terminación de las ocho direcciones de flujos de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca. ....	56
Figura 7. Procesos la acumulación de flujos de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca. ....	56
Figura 8. Procesos delineación de la red de subcuencas de Captación (Catchment Grid) zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.....	57
Figura 9. Procesos para determinar los polígonos de las subcuencas zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca. ....	57
Figura 10. Drenaje de la cuenca o polilínea de la red de los ríos zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca. ....	58
Figura 11. Proceso de corte de la cuenca con sus subcuencas y ríos de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca. ....	58
Figura 12. Esquema del modelo hidrológico para la cuenca del rio Mantaro hasta Tablachaca .....	59
Figura 13. Distribución de la cobertura vegetal. Fuente de los datos: MINAM. ....	60
Figura 14. Mapa de suelos de la cenca a partir de mapas de suelos de todo el Perú obtenida del ANA ...	61
Figura 15. Polígonos de Thiessen con las estaciones de precipitación en la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca. ....	62
Figura 16. Polígonos de Thiessen con estaciones de precipitación que tienen influencia dentro de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.....	62
Figura 17. Formulario para el ingreso de información de áreas a cada una de subcuencas del modelo ....	64
Figura 18. Formulario para el ingreso de información de la climatología a cada una de subcuencas del modelo .....	64
Figura 19. Formulario para el ingreso de información de la capacidad máxima en el tiempo a cada una de represamientos considerados en el modelo.....	65
Figura 20. Formulario para el ingreso de información de las curvas de altura - volumen de cada una de represamientos considerados en el modelo.....	65
Figura 21. Formulario para el ingreso de información de las reglas de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo.....	66
Figura 22. Formulario para el ingreso de información de los niveles tope de conservación en volumen de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo.....	66
Figura 23. Formulario para el ingreso de información de los niveles tope buffer en volumen de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo .....	67
Figura 24. Formulario para el ingreso de información de los niveles tope inactivo en volumen de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo.....	67
Figura 25. Formulario para el ingreso de información de los coeficientes buffer en fracción entre 0 y 1 para cada uno de los represamientos considerados en el modelo .....	68
Figura 26. Formulario para el ingreso de información de las prioridades de operación de (1-99) para cada uno de los represamientos considerados en el modelo.....	68
Figura 27. Formulario para el ingreso de información de las restricciones de derivación considerados en el modelo.....	69
Figura 28. Formulario para el ingreso de información del caudal máximo turbinables de cada central considerada en el modelo.....	69

Figura 29. Formulario para el ingreso de información del factor de planta considerada de cada central considerada en el modelo.....	70
Figura 30. Formulario para el ingreso de información del factor de planta considerada de cada central considerada en el modelo.....	70
Figura 31. Formulario para el ingreso de información de la carga de tubería forzada de cada central considerada en el modelo.....	71
Figura 32. Formulario para el ingreso de información de la prioridad de cada central considerada en el modelo .....	71
Figura 33. Formulario para el ingreso de información de la demanda de energía de cada central considerada en el modelo.....	72
Figura 34. Formulario para el ingreso de información para la ejecución de una simulación con el modelo .....	72
Figura 35. Comparación de caudales observados y simulados. ....	74
Figura 36. Comparación de caudales observados y simulados. ....	74
Figura 37. Demanda poblacional por meses en lugares del ámbito del río Mantaro en m <sup>3</sup> por mes.....	76
Figura 38. Demanda agrícola por meses en regantes del ámbito del río Mantaro en m <sup>3</sup> por mes.....	77
Figura 39. Demanda minera por meses en minas del ámbito del río Mantaro en m <sup>3</sup> por mes .....	78
Figura 40. Regla de Operación de la Represa de Upamayo.....	79
Figura 41. Regla de Operación de la Represa de Malpaso .....	79
Figura 42. Formulario para el ingreso de la regla de operación del represamiento de Pomacocha .....	80
Figura 43. Formulario para el ingreso de la regla de operación del represamiento de Pachacayo .....	80
Figura 44. Esquema de Operación de CH. Malpaso y Complejo Mantaro.....	81
Figura 45. Relación de caudales Demandados en cada punto de control y los volúmenes potenciales a almacenarse en el punto de control.....	82
Figura 46. Ubicación de los represamientos Upamayo y Malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	88
Figura 47. Represamiento de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	89
Figura 48. Ubicación de la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro.....	89
Figura 49. Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro.....	90
Figura 50. Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	90
Figura 51. Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	91
Figura 52. Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	91
Figura 53. Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro.....	92
Figura 54. Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	92
Figura 55. Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	93
Figura 56. Curva de persistencia de la Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	93
Figura 57. Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	94
Figura 58. Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro.....	94
Figura 59. Relación de los caudales promedios anuales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a	

la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro.....	95
Figura 60. Curva de persistencia de la Relación de los caudales promedios anuales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro.....	95
Figura 61. Relación de los caudales efluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	96
Figura 62. Curva de persistencia de la Relación de los caudales efluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro .....	96
Figura 63. Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso .....	97
Figura 64. Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.....	97
Figura 65. Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.....	98
Figura 66. Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso .....	98
Figura 67. Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso .....	99
Figura 68. Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.....	99
Figura 69. Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso .....	100
Figura 70. Curva de persistencia de la Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.....	100
Figura 71. Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.....	101
Figura 72. Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	101
Figura 73. Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	102
Figura 74. Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.....	102
Figura 75. Relación de los Caudales promedios mensuales multianuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso .....	103
Figura 76. Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.....	103
Figura 77. Relación de los Caudales promedios anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	104
Figura 78. Curva de persistencia Caudales promedios anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca	

del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	104
Figura 79. Relación de los Caudales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	105
Figura 80. Curva de persistencia de la Relación de los caudales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	105
Figura 81. Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	106
Figura 82. Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	106
Figura 83. Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	107
Figura 84. Curva de persistencia de la Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	107
Figura 85. Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	108
Figura 86. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	108
Figura 87. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	109
Figura 88. Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	109
Figura 89. Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	110
Figura 90. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	110
Figura 91. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	111
Figura 92. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso. ....	111
Figura 93. Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	112
Figura 94. Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	112
Figura 95. Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	113
Figura 96. Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	113
Figura 97. Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	114
Figura 98. Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	114
Figura 99. Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central	



Figura 117. Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	124
Figura 118. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	124
Figura 119. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.....	125
Figura 120. Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	125
Figura 121. Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	126
Figura 122. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	126
Figura 123. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.....	127
Figura 124. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes..	127
Figura 125. Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.....	128
Figura 126. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	128
Figura 127. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.....	129
Figura 128. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	129
Figura 129. Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	130
Figura 130. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	130
Figura 131. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.....	131
Figura 132. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes. ....	131
Figura 133. Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3 .....	132
Figura 134. Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3 ...	132
Figura 135. Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3 .....	133
Figura 136. Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3 .....	133
Figura 137. Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3 .....	134
Figura 138. Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3 .....	134
Figura 139. Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central	



Figura 156. Curva de persistencia de la Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	143
Figura 157. Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	144
Figura 158. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	144
Figura 159. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ...	145
Figura 160. Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	145
Figura 161. Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	146
Figura 162. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	146
Figura 163. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ...	147
Figura 164. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	147
Figura 165. Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	148
Figura 166. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	148
Figura 167. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ...	149
Figura 168. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	149
Figura 169. Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	150
Figura 170. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	150
Figura 171. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ...	151
Figura 172. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	151
Figura 173. Volúmenes almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	152
Figura 174. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	152
Figura 175. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	153
Figura 176. Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	153
Figura 177. Volúmenes almacenados en la represa de Quillon en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3. ....	154
Figura 178. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Quillon en el modelo de	



Figura 197. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro sin vilca y 0MM3 represamiento puente Stuar .....	164
Figura 198. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro sin vilca y 0MM3 represamiento puente stuar .....	165
Figura 199. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 0MM3 represamiento puente stuar.....	166
Figura 200. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 0MM3 represamiento puente stuar.....	167
Figura 201. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 50MM3 represamiento puente stuar.....	168
Figura 202. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 50MM3 represamiento puente stuar .....	169
Figura 203. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 100MM3 represamiento puente stuar .....	170
Figura 204. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 100MM3 represamiento puente stuar .....	171
Figura 205. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 150MM3 represamiento puente stuar .....	172
Figura 206. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 150MM3 represamiento puente stuar .....	173
Figura 207. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 200MM3 represamiento puente stuar .....	174
Figura 208. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 200MM3 represamiento puente stuar .....	175

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables: represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la central hidroeléctrica Mantaro.....	45
Tabla 2. Operacionalización de variables: represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la central hidroeléctrica Mantaro.....	46
Tabla 3. Áreas de los polígonos de las subcuencas intersecadas con los polígonos de Thiessen de la cuenca del Mantaro para pesos de estación .....	63
Tabla 4. Indicadores de eficiencia del modelo.....	73
Tabla 5. Demanda poblacional por meses en lugares del ámbito del río Mantaro en m <sup>3</sup> por mes .....	75
Tabla 6. Demanda agrícola por meses en regantes del ámbito del río Mantaro en m <sup>3</sup> por mes .....	76
Tabla 7. Demanda minera por meses en minas del ámbito del río Mantaro en m <sup>3</sup> por mes .....	77
Tabla 8. Resumen de cálculos de capacidad hidrológica de los diferentes puntos de control sus caudales demandados y los volúmenes potenciales a almacenarse .....	82
Tabla 9. Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m <sup>3</sup> en el punto de control Represa de Upamayo .....	83
Tabla 10. Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m <sup>3</sup> en el punto de control Represa de Malpaso .....	84
Tabla 11. Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m <sup>3</sup> en el punto de control Represa de Oroya .	85
Tabla 12. Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m <sup>3</sup> en el punto de control Represa de Pachacayo .....	86
Tabla 13. Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m <sup>3</sup> en el punto de control Represa de Puente Stuar .....	87
Tabla 14. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	164
Tabla 15. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	165
Tabla 16. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	166
Tabla 17. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	167
Tabla 18. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	168
Tabla 19. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	169
Tabla 20. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	170
Tabla 21. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	171
Tabla 22. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	172
Tabla 23. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	173
Tabla 24. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	174
Tabla 25. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro .....	175

## RESUMEN

La presente tesis titulada represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la central hidroeléctrica del Mantaro, tiene por finalidad calcular los caudales que producen las subcuencas del sistema del río Mantaro desde el punto de derivación a la central del Mantaro (Tablachaca) hasta el río San Juan. El desarrollo consiste en evaluar la incidencia de los represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la Central Hidroeléctrica del Mantaro, establecer un modelo hidrológico de la cuenca del Mantaro para generar los caudales no regulados de la cuenca, evaluar la regla de operación de las represas Malpaso y Upamayo en la disponibilidad del agua en la central hidroeléctrica Mantaro, determinar la capacidad hidrológica de un reservorio futuro ubicado en el puente Stuart, plantear un modelo de operación en conjunto para probar la influencia en la regulación de las represas en la satisfacción de la demanda de la Central Hidroeléctrica del Mantaro, utilizando el sistema de modelación WEAP, así mismo con este, realizar las corridas de simulación para encontrar las mejores reglas de operación. Se desarrolló un modelo siguiendo las etapas establecidas por el SEI en el 2009, 1. Definición del estudio, 2. Búsqueda de información, 3. Desarrollo del modelo, 4. Calibración, 5. Uso del modelo.

**Palabras Clave:** Precipitación, Caudales, Represamientos, Generación, Modelo Hidrológico WEAP, Capacidad Hidrológica.

## ABSTRACT

The present thesis entitled damming in the Mantaro basin for the availability of regulated water in the Mantaro hydroelectric power station is intended to calculate the flows produced by the sub-basins of the Mantaro river system from the point of diversion to the Mantaro plant (Tablachaca) to the San Juan River. The development consists in evaluating the incidence of the damming in the Mantaro basin for the availability of regulated water in the Mantaro Hydroelectric Power Plant, establishing a hydrological model of the Mantaro basin to generate the unregulated flows of the basin, evaluating the rule of operation of the Malpaso and Upamayo dams in the availability of water at the Mantaro hydroelectric plant, determine the hydrological capacity of a future reservoir located on the Stuart bridge, propose a joint operation model to test the influence on the regulation of dams in satisfying the demand of the Mantaro Hydroelectric Power Plant, using the WEAP modeling system, likewise with this, perform the simulation runs to find the best operating rules. A model was developed following the stages established by the SEI in 2009, 1. Study definition, 2. Information search, 3. Model development, 4. Calibration, 5. Use of the model.

**Keywords:** Precipitation, Flows, Dams, Generation, WEAP Hydrological Model, Hydrological Capacity.

## I. INTRODUCCION

El recurso hídrico en la actualidad en el Mundo y en el Perú, específicamente en la cuenca del río Mantaro se torna cada vez más escasa, debido entre otras causas: por el crecimiento poblacional, la mala gestión y distribución del recurso agua, por la falta de equidad en el acceso a ella y al calentamiento global producto de la contaminación de la atmosfera que causa un incremento en la temperatura del ambiente y generando con ello variaciones climáticas que afectan la disponibilidad del recurso hídrico por lo que no cabe duda de que la creciente escasez del agua dulce constituyen una grave amenaza para el desarrollo sostenible.

Este problema nos pone en cuestión de cómo será la disponibilidad del recurso hídrico en un futuro y la necesidad de establecer mecanismos de regulación de la demanda para reasignar los suministros disponibles, fomentar el aprovechamiento más eficiente y promover el acceso más equitativo. Una de las formas de demostrar este comportamiento es realizando modelaciones hidrológicas con sistemas informáticos diseñados para convertir las lluvias en caudales, por lo que en esta tesis se aplicó el modelamiento con el sistema Water Evaluation and Planning System (WEAP), que es un modelo capaz de realizar escenarios futuros a partir de un escenario actual de disponibilidad, con el ingreso de datos climáticos, cobertura vegetal entre otros de interés, el cual ha sido desarrollado por el Instituto de Medio Ambiente de Estocolmo (SEI), es usado por gran cantidad de países en el mundo y también aplicado en nuestro país el Perú en diferentes estudios y proyectos que se desarrollan.

La Central Hidroeléctrica del Mantaro es el proyecto más grande desarrollado en el País por la década del 60 con más o menos 750 MW de producción de energía hidroeléctrica la cual se encuentra en la parte sur del río Mantaro entre Kichuhuas donde se produce la captación de hasta 80 m<sup>3</sup>/s a través de un represamiento del río con el dique de Tablachaca hasta Colcabamba donde

se encuentran las centrales Mantaro y Restitución en la que se encuentran las turbinas en número de 11, las aguas que se captan son las que se van almacenando en los distintos represamientos. El esquema hidráulico del Sistema a lo largo del río desde sus nacientes como río San Juan la que almacena sus aguas en el lago de Junín mediante el represamiento de Upamayo, que a la fecha tiene conflictos con la población de las comunidades aledañas al lago por efecto del almacenamiento adicional a la cota del vertedero de demasías que es de 4081.8 m.s.n.m. en la que se almacena 371 MMC, las cuales son operadas durante el periodo de estiaje con una descarga promedio mensual de 26.5m<sup>3</sup>/s (mayo a octubre). así mismo tenemos el represamiento de Malpaso en la cuenca aguas abajo de Upamayo y aguas arriba de Malpaso almacenado alrededor de 50 MMC, en el cauce del río Mantaro, luego la subcuenca del río Yauli almacena alrededor de 30MMC, que en el futuro almacenara 90MMC, para trasvasar 60MMC al río Rímac para tratar el agua en la planta potabilizadora Huachipa 6m<sup>3</sup>/s, la subcuenca del río huari se ha creado almacenamientos de las lagunas creando un almacenamiento de aproximadamente 15MMC, en la subcuenca del río Pachacayo también se han creado represamientos de varias de las lagunas existentes creando un almacenamiento aproximado de 30MMC.

Para la modelación hidrológica de la Cuenca del río Mantaro se utilizó el sistema informático para evaluación y planeación del agua (WEAP) para esto se siguió las etapas de recolección de datos de precipitaciones de las diferentes estaciones pluviométricas de la cuenca, caracterización de la cuenca, visita de reconocimiento, procesamiento de datos climáticos, y calibración del modelo. El modelo se construyó en base a las subcuencas delimitadas hasta el punto de derivación de los caudales para la central hidroeléctrica del Mantaro, en este último se ingresaron variaciones en los parámetros de aumento en la temperatura, reducción de la cobertura vegetal y con los datos generados se realizó un escenario futuro, donde se detalla los comportamientos mensuales de la

disponibilidad hídrica de los que dependerán las medidas de prevención a tomar según estos resultados.

### **1.1. Planteamiento del problema**

El recurso hídrico en las cuencas del Perú se presenta como respuesta a las precipitaciones que se producen entre los meses de noviembre y marzo de cada año en la cual estas laminas van en ascendencia hasta llegar a sus máximos y luego van disminuyendo hasta llegar a cero, de estas precipitaciones parte se infiltran ya que el suelo tiene un espacio poroso que depende de los tipos de suelos y así mismo tiene coberturas (bajas, medias o altas) pastos, arbustos o árboles, la lámina infiltrada alimenta el agua subterránea ya que en el periodo de estiaje esta va liberando agua para alimentar el flujo base a través de filtraciones en los cauces de los ríos, la otra parte escurre por los cauces que tiene cada una las cuencas produciendo los flujos de agua los cuales son cuantificados como caudales en los puntos de control (estaciones de aforo), estos caudales vienen a constituir las disponibilidades de agua en la cuenca a lo largo del año que cuando empieza el periodo de lluvias los caudales van en ascendencia llegando a producirse caudales máximos instantáneos los cuales de alguna forma afectan infraestructuras que estén cercanas a las riveras de los Cauces (ríos), así mismo el análisis de estos caudales máximos permiten dimensionar las infraestructuras de gestión de los recursos hídricos en una cuenca, luego los caudales van disminuyendo hasta el flujo base en los meses de abril hasta octubre que depende de los almacenamientos naturales como el subterráneo, los glaciares, las lagunas reguladas, y los represamientos artificiales a través de presas de tierra, enrocado o de concreto armado. Los glaciares que de alguna forma se han visto afectados por la presencia humana en las cotas altas de la cuenca que hacen que este almacenamiento natural ya no está funcionando en forma normal por lo que el flujo base ha disminuido, la cuenca del Mantaro no es ajena a esta forma de

funcionamiento tanto natural como artificial, así mismo las demandas (poblacionales, agrícolas, energéticas, etc.), cada vez van en crecimiento continuo por lo que se hace necesario la búsqueda de alternativas de represamiento para ir gestionando de la mejor forma el agua disponible en cada una de las subcuencas componentes del Mantaro hasta la ubicación de la derivación hacia la central hidroeléctrica del Mantaro que es el objetivo en la presente investigación, la central hidroeléctrica del Mantaro es la infraestructura hidráulica que produce la mayor energía hidroeléctrica a nivel del país, el sistema informático WEAP que ha sido desarrollado por el instituto de Estocolmo, es en la actualidad uno de los software disponibles que permiten realizar la evaluación de infraestructura hidráulica de almacenamiento y derivación de una forma detallada ya que su análisis está basada en los conceptos de la Ingeniería de Sistemas. WEAP (Sistema de Evaluación y Planificación del Agua) es una calculadora automática que provee un enfoque integral para la gestión de los recursos hídricos en una cuenca. Los desafíos de la gestión del agua dulce son cada vez más comunes. La asignación de recursos hídricos limitados para uso energético, agrícola, poblacional, pecuaria, industrias y otros, en la actualidad, requiere la integración completa de la demanda, el suministro, la calidad del agua y consideraciones ecológicas a través de la evaluación de infraestructura hidráulica de represamientos y derivaciones de una forma detallada ya que su análisis está basado en los conceptos de la Ingeniería de Sistemas. El Sistema de Evaluación y Planificación del Agua, o WEAP ("Water Evaluation and Planning"), apunta a incorporar estos asuntos en un instrumento práctico y robusto para la planificación integrada de los recursos hídricos. WEAP ha sido desarrollado por el Stockholm Environment Institute's U.S. Center. y que sirva como base para la planificación hidrológica, es decir, como un medio necesario para formular, ejecutar y controlar la política de desarrollo en todos los sectores que estén directa o indirectamente relacionados con el uso y aprovechamiento del recurso agua y que se enmarque dentro de la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento.

## 1.2. Descripción del problema (a nivel global y local)

La energía hidroeléctrica presenta numerosas ventajas sobre la mayoría de otras fuentes de energía eléctrica, incluyendo un alto nivel de fiabilidad, tecnología probada y de alta eficiencia, los costes más bajos de operación y mantenimiento, y una gran flexibilidad y capacidad de almacenamiento.

La energía hidroeléctrica es la principal fuente renovable, ya que triplica a la eólica que, con 350 GW, es la segunda fuente. Los aportes de esta tecnología en los últimos años han generado más electricidad que el resto de las energías renovables juntas. Y el potencial de desarrollo de esta tecnología es enorme, especialmente en África, Asia y América Latina. La hoja de ruta de la AIE prevé que se duplique la capacidad instalada global hasta casi 2.000 GW en 2050, con una producción mundial de electricidad superior a los 7.000 TWh.

La mayor parte del crecimiento de la generación hidráulica provendrá de los grandes proyectos en las economías emergentes y en desarrollo. En estos países, los grandes y pequeños proyectos de energía hidroeléctrica pueden mejorar el acceso a los servicios de la energía moderna y aliviar la pobreza en numerosas regiones del planeta a las que todavía no ha llegado la luz ni el agua potable.

La energía hidroeléctrica, obtenida a través del aprovechamiento de la energía cinética y el potencial de las corrientes y saltos de agua, es una de las fuentes renovables más antiguas y utilizadas del planeta para la obtención de energía. China, es hoy el mayor productor mundial de energía hidroeléctrica, seguido de Brasil, Canadá, Estados Unidos y Rusia, países que cuentan con las principales centrales hidroeléctricas del mundo (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de las Tres Gargantas. 22.500 MW. China.** La central hidroeléctrica china de las Tres Gargantas tiene una potencia instalada de 22.500 MW. Está situada en Yichang,

provincia de Hubei, y es la mayor del mundo. Se trata de una instalación hidroeléctrica de represamiento convencional que aprovecha el agua proveniente del río Yangtsé, siendo propiedad de la china **Three Gorges Corporation** a través de su filial **China Yangtze Power**, que además opera la central.

La construcción del proyecto requirió una inversión de 18.000 millones de euros. Esta colosal obra de la ingeniería fue iniciada en 1993 y quedó terminada en 2012. La presa tiene 181 metros de altura y 2.335 metros de longitud, fue llevada a cabo como parte del proyecto de las Tres Gargantas, unida a la central hidroeléctrica compuesta de 32 turbinas de 700 MW cada una, y dos unidades generadoras de 50 MW. En la actualidad, la producción de energía anual de la planta acaba de establecer el record mundial en 2014 con 98,8 TWh, permitiendo suministrar electricidad a nueve provincias y dos ciudades, incluyendo Shanghai. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Itaipú. 14.000 MW. Paraguay-Brasil.** La central hidroeléctrica de Itaipú, con una potencia instalada de 14.000 MW se sitúa como la segunda mayor del mundo. La instalación, operada por la compañía **Itaipú Binacional**, se encuentra en el río Paraná, en la frontera entre Brasil y Paraguay. La inversión realizada en la construcción de la planta fue de 15.000 millones de euros. Las obras se iniciaron en 1975 y fueron finalizadas en 1982. Los ingenieros del consorcio de **IECO** con sede en Estados Unidos y **ELC Electroconsult** con sede en Italia, llevaron a cabo la construcción, dando inicio a la producción de energía de la central en mayo de 1984.

La planta hidroeléctrica de Itaipú suministra alrededor del 17,3% del consumo energético de Brasil y el 72,5% de la energía consumida en Paraguay. Específicamente consta de 20 unidades generadoras con una capacidad de 700 MW cada una, habiendo llegado a lograr una producción en 2014 prácticamente igual a la de Tres Gargantas, al alcanzar los 98,5 TWh, lo que la convierte

prácticamente en colíder mundial por generación de energía, aunque no lo sea por potencia instalada. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Xiluodu. 13.860 MW. China.** La central hidroeléctrica de Xiluodu situada en el curso del río Jinsha, afluente del río Yangtze en su curso superior, está en el centro de la provincia de Sichuan, es la segunda mayor central de energía de China y la tercera más grande del mundo. La capacidad instalada de la planta alcanzó los 13.860 MW a finales de 2014 cuando se pusieron las dos últimas turbinas de generación. El proyecto fue desarrollado por la **Three Gorges Project Corporation** y se espera que genere 64 TWh de electricidad al año cuando esté plenamente operativa.

El proyecto requirió la inversión de 5.500 millones de euros y empezó a construirse en 2005, poniéndose en marcha las primeras turbinas en julio de 2013. La central consta de una presa de arco de doble curvatura de una altura de 285,5 metros y un ancho de 700 metros, creando un embalse con una capacidad de almacenamiento de 12.670 millones de metros cúbicos. El equipamiento de las instalaciones, suministrado por los ingenieros de Voith, consta de 18 generadores de turbinas Francis de una capacidad de 770 MW cada una y un generador refrigerado por aire con 855,6 MVA de salida. La central es operada por **China Yangtze Power** y es actualmente la segunda mayor central eléctrica de China y la tercera del mundo. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Guri. 10.235 MW. Venezuela.** La central Guri, también conocida como la central hidroeléctrica Simón Bolívar, se posiciona como la tercera más grande del mundo con una capacidad instalada de 10.235 MW. Las instalaciones se encuentran en el río Caroní, situado en el sudeste de Venezuela, siendo **Electrificación del Caroní C.A. (EDELCA)** la propietaria y operadora de la planta.

La construcción del proyecto de represamiento fue iniciada en 1963 llevándose a cabo en dos

fases, la primera quedó completada en 1978 y la segunda en 1986. La central consta de 20 unidades de generación de diferentes capacidades que oscilan entre los 130 MW y los 770 MW.

La empresa **Alstom** fue seleccionada mediante dos contratos en 2007 y 2009 para la renovación de cuatro unidades de 400 MW y cinco de 630 MW, recibiendo Andritz también un contrato para suministrar cinco turbinas Francis de 770MW en 2007. Después de las renovaciones en el equipamiento de generación, la central de Guri alcanzó un suministro eléctrico superior a los 12.900 GW/h. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Tucuruí. 8.370 MW. Brasil.** El Complejo Hidroeléctrico de Tucuruí localizado en la parte baja del río Tocantins, en Tucuruí, perteneciente al Estado de Pará en Brasil, se coloca como la cuarta central hidroeléctrica más grande en el mundo con sus 8.370 MW. La construcción del proyecto, que requirió una inversión de 4.000 millones de euros, fue iniciada en 1975 completándose la primera fase en 1984, constituida por una presa de gravedad de hormigón de 78 metros de altura y 12.500 metros de longitud, 12 unidades generadoras con una capacidad de 330MW cada una y dos unidades auxiliares de 25 MW.

La construcción de la segunda fase añadió una nueva central eléctrica que fue iniciada en 1998 y terminada a finales de 2010, en la que se llevó a cabo la instalación de 11 unidades de generación con una capacidad de 370 MW cada una. Los ingenieros de un consorcio formado por **Alstom, GE Hydro, Inepar-Fem y Odebrecht** suministraron los equipos para esta fase. En la actualidad, la central suministra electricidad a la ciudad de Belém y el área circundante. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica Grand Coulee. 6.809 MW. Estados Unidos.** La central hidroeléctrica Grand Coulee de 6.809 MW situada en el río Columbia en Washington, Estados Unidos, es actualmente la quinta central hidroeléctrica más grande del mundo. La central, construida en tres fases, es propiedad de la **US Bureau of Reclamation** desde que comenzó a funcionar en 1941,

alcanzando una capacidad de generación anual de más de 24 TWh.

La central de energía hidroeléctrica Grand Coulee, inició su construcción en 1933, consta de tres plantas de energía y una presa de gravedad de hormigón con 168 metros de altura y 1.592 metros de longitud. Dos de sus plantas constan de un total de 18 turbinas Francis de 125 MW y tres unidades adicionales de 10 MW, operativas desde 1950. La tercera planta comenzó a construirse en 1967, finalizando el proceso final de la implementación de sus seis unidades entre 1975 y 1980, compuestas por tres turbinas de 805 MW y otras tres de 600 MW.

La renovación de las tres unidades de 805 MW de la tercera planta fue iniciada en 2013 y se espera que finalice en septiembre de 2017, mientras que la actualización de las otras tres unidades de 600 MW no se iniciará hasta el año 2018. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Xiangjiaba. 6.448 MW. China.** La central hidroeléctrica de Xiangjiaba es el último paso del desarrollo en cascada en aguas abajo de la corriente principal del Río Jinsha, con el Condado de Yibin en la margen izquierda y el Condado Shuifu en la margen derecha. Está localizado a 33 kilómetros en aguas arriba de la ciudad de Yibin, a 2,5 km del Condado de Shuifu.

La presa es de gravedad de hormigón, que tiene una cota de coronación de 384 metros, una altura máxima de 162 metros y una longitud de coronación de 896,26 metros. La instalación cuenta con ocho turbinas Francis, cuatro con una capacidad de 812 MW y cuatro con un nominal de 800 MW, totalizando una capacidad instalada de 6.448 MW y una generación anual de energía de 30,7 TWh.

La central hidroeléctrica de Xiangjiaba tiene un nivel normal de almacenamiento de 380 metros y un nivel de reserva muerta de 370 metros. El embalse es de tipo regulación temporal parcial con una capacidad de almacenamiento total de 5.163 millones de metros cúbicos y una capacidad de

regulación de 903 millones de metros cúbicos. Su trabajo preparatorio se inició en marzo de 2004, pero el inicio de las obras oficiales fue en noviembre de 2006. El primer grupo de turbinas generadoras fue puesto en operación en 2012, y el proyecto se ha completado en 2015, con un período de construcción de 9 años y 6 meses. La inversión realizada en el proyecto ha sido de unos 6.000 millones. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Longtan. 6.426 MW. China.** La central hidroeléctrica de Longtan, situada en el río Hongshui en Tian'e, en la región autónoma china de Guangxi, es la séptima mayor del mundo con una capacidad instalada de 6.300 MW. Esta central hidroeléctrica propiedad de **Longtan Hydropower Development**, fue diseñada por **Hydrochina Zhongnan Engineering** y construida por Sinohydro, la cual se compone de nueve unidades generadoras Francis de 700 MW y una presa de gravedad de hormigón de 216,5 metros de altura y 832 metros de ancho.

La construcción del proyecto hidroeléctrico Longtan comenzó en mayo de 2007, entrando en servicio la central a pleno rendimiento en 2009. Los generadores de turbinas de la planta han sido suministrados por los ingenieros de **Voith, Dongfang, Harbin y Tianjin**, alcanzando en la actualidad una capacidad anual de generación de 18,7 TWh. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Sayano-Shushenskaya. 6.400 MW. Rusia.** La central hidroeléctrica de Sayano-Shushenskaya situada en el río Yenisei en Sayanogorsk (Jakasia), Rusia, se posiciona como la séptima mayor del mundo. La planta, operada por **RusHydro**, tiene una capacidad instalada actual de 6.400 MW. La construcción de la central se inició en 1963 y se completó en 1978, incluyéndose una presa de arco-gravedad de 242 metros de altura y 1.066 metros de longitud como parte del proyecto, así como 10 unidades generadoras Francis con una capacidad de 640 MW cada una, lo que permite generar 23,5 TWh de energía al año, de los cuales

el 70% se utiliza en exclusiva para cuatro fundiciones de aluminio en Siberia.

La planta fue cerrada en 2009 después de un accidente que causó daños al sistema de turbinas. Un año después, en 2010, se volvió a abrir. Actualmente está previsto que sean instaladas en la central diez nuevas unidades con una eficiencia del 96,6%, un proyecto de mejora que costará alrededor de mil millones de euros. (Roca, 2015)

**Central hidroeléctrica de Krasnoyarsk. 6.000 MW. Rusia.** Central hidroeléctrica de Krasnoyarsk se encuentra a orillas del río Yenisei, en Divnogorsk, Rusia, siendo actualmente la octava mayor del mundo con una capacidad de 6.000 MW. Su construcción fue iniciada en 1956 y se finalizó en 1972, constituida por una presa de gravedad de hormigón de una altura de 124 metros y una longitud de 1.065 metros, así como una planta de energía compuesta por 12 unidades generadoras Francis con una capacidad de 500 MW cada una.

Las instalaciones, operadas por **JSC Krasnoyarsk HPS**, cuentan con un sistema de turbinas/generadores íntegramente diseñados por los ingenieros de **Leningradsky Metallichesky Zavod (LMZ) y Electrosila**, permitiendo alcanzar una capacidad anual de 18,4 TWh. (Roca, 2015)

Primera Central Hidroeléctrica “Santa Rosa” (Chosica, Yanacoto, 1945). En realidad, las fuentes hídricas que alimentan a las centrales hidroeléctricas, al servicio de agua potable y a los canales de regadío de la gran Lima, no solo hay que buscarlas en los flancos de la Cordillera (entre los 4 y 5 mil metros de altitud) sino al otro lado de las cumbres, “corrigiendo” la geografía para lograr que las aguas que normalmente iban al Atlántico, discurran por el río Rímac y desemboquen en el Pacífico.

Ha sido una labor paciente de varias décadas, impulsada por ingenieros peruanos. Así, por ejemplo, el río Rímac está relacionado con la generación de energía eléctrica a nuestra ciudad a

través de cinco centrales hidroeléctricas: Huampaní, Matucana, Huinco, Barbablanca, y Juan Carosio. La de Matucana (también llamada Pablo Bonner) es de acceso restringido, pero tiene áreas de esparcimiento como salas de recreación, canchas de fútbol, bungalows, juegos para niños, extensas áreas verdes y, su mayor atractivo, un funicular único en Lima. Por su lado, Huinco (a 65 kilómetros de Lima, en el valle de Santa Eulalia, provincia de Huarochirí, cerca del pueblo de Huinco a 1850 msnm, construida con la forma de caverna y con 4 generadores de electricidad) es la principal central hidroeléctrica de Lima. Su producción es de 262 Mw a través de 4 generadores. La cuenca hídrica que abastece a Huinco es recogida de las lagunas de Marcapomacocha y Represadas en Antacoto a 5 mil m.s.n.m. Las aguas son derivadas a través de una caída neta de 1.245 m para ser absorbidas por 8 turbinas Pelton. Fue puesta en operación en 1965.

Las primeras investigaciones sobre el uso de la energía hidráulica en el Mantaro fueron en la década de 1940 por el ingeniero peruano y físico Santiago Antúnez de Mayolo. En 1945 se comenzó el estudio de una planta de energía hidroeléctrica en Mantaro. En 1961, la Corporación de Energía Eléctrica del Mantaro nace con el objetivo de realizar el proyecto de una planta de energía hidroeléctrica en el Mantaro. La construcción de la planta de energía se inició en 1967. El proyecto se realizó en tres etapas.

La primera fue de junio de 1967 a octubre 1973 con construcción de la presa Tablachaca, la central I y el túnel de conexión entre los dos. Las primeras tres máquinas de la central fueron conectadas a la red en octubre de 1973. En un segundo paso, tuberías de presión adicionales fueron construidas y, en mayo de 1979, fue la puesta en marcha de las cuatro máquinas restantes. A partir de entonces, la central II fue construida como la última parte del proyecto y fue terminada en noviembre de 1984.

La central eléctrica Santiago Antúnez de Mayolo está situada cerca de Campo Armiño a una

altitud de 1840 m sobre el nivel del mar. El pueblo de Campo Armiño fue construido especialmente para los trabajadores de la construcción.

Tiene una capacidad instalada de 798 MW. La central comenzó a funcionar en 1973 con tres máquinas. En 1979, las cuatro turbinas restantes le siguieron. La producción anual en 2009 fue de 5.369 millones de kWh; lo que corresponde al 16,3% de la electricidad generada en este año en Perú.

Hay siete turbinas Pelton con un eje vertical y cuatro boquillas. Cada turbina tiene una potencia máxima de 114 MW. Los generadores proporcionan 120 MVA, su tensión nominal es de 13,8 kV. La velocidad nominal de la turbina es de 450/min.

La máxima altura de caída es de 748 m y la máxima velocidad de flujo es 15,78 m<sup>3</sup>/s por turbina.

La central eléctrica **Restitución** tiene una capacidad instalada de 210 MW. Se puso en funcionamiento en 1984. La producción anual en 2009 fue 1,68 millones de kWh; lo que corresponde al 5,1% de la electricidad generada en este año en Perú.

Hay tres turbinas Pelton con un eje vertical y seis boquillas. Cada turbina tiene una potencia máxima de 70 MW. Los generadores proporcionan 82,5 MVA, su tensión nominal es de 13.8 kV. La velocidad nominal de la turbina es de 200/min.

La máxima altura de caída es de 257 m y la máxima velocidad de flujo es de 32 m<sup>3</sup>/s por turbina.

**Cuenca del Mantaro.** La Cuenca Hidrográfica del Mantaro está ubicada en la región central del país y abarca los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho. El río Mantaro se origina en el Lago Junín, el cual está regulado por la presa de Upamayo, el reservorio de regulación estacional más importante del país.

Ubicado a 4080 msnm, el Lago Junín tiene una capacidad total de 556 MMC y un volumen útil máximo regulable de 441 MMC.

Debido a la variación del caudal del río Mantaro entre las épocas de estiaje y de lluvias, se hace necesaria la construcción de obras de regulación con el objeto de minimizar el riesgo de escasez de agua y al mismo tiempo optimizar el uso de la capacidad instalada del complejo.

Los excedentes de agua durante las épocas de lluvia pueden ser almacenados y utilizados durante los meses de estiaje, entre mayo y octubre, para aumentar el caudal del río hasta el nivel requerido de 96 m<sup>3</sup>/seg, cubriendo así los déficits de agua para la generación de energía. Electroperú, viene ejecutando obras de afianzamiento hídrico en las lagunas de la Cuenca media y alta del río Mantaro desde 1993.

Actualmente existen presas de regulación por un total de 224,76 MMC en las subcuencas de los ríos Huari, Pachacayo, Moya, Quillón y Sur Oeste del Lago Junín.

En el Sur Oeste del Lago Junín se han construido 03 presas que representan una capacidad de almacenamiento de 31,8 MMC.

En la sub cuenca del río Huari se encuentran las presas Huacracocho y Lacsacocho con una capacidad de almacenamiento de 15,2 MMC

En la parte alta del río Pachacayo, en la subcuenca del río Cochabambas se encuentran: las presas de Caullau, Calzada, Huaylacancha, Carhuacocho, Azulcocho y Tembladera, que totalizan un volumen regulado de 64,8 Hm<sup>3</sup>. En la sub cuenca del río Piñascocho se construyeron las presas de: Vichecocho, Yuraccocho y Ñahuincocho, con una regulación total de 14,2 MMC

En la sub cuenca del río Quillón se han construido 5 presas que regulan un total de 56 Hm<sup>3</sup> en las lagunas de: Coyllorcocho, Yurajcocho, Balsacocho, Huichicocho, Ñahuincocho.

En la sub cuenca del río Moya se regulan 42,78 MMC aprovechando el vaso natural de la Laguna Chilicocho. Esta laguna se desagua a través de un túnel de descarga regulada a 40 metros de profundidad, y recupera su nivel máximo mediante una obra de captación en el río Callancocho,

consistente en una bocatoma, un túnel de aducción y un canal hasta la laguna.

### **1.3. Formulación del problema**

#### **1.3.1. Problema General**

¿En qué medida incide los represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la Central Hidroeléctrica Mantaro?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

¿En qué medida incidirá un modelo hidrológico de la cuenca del Mantaro para generar los caudales no regulados de la cuenca?

¿En qué medida incidirá una regla de operación de las represas Malpaso y Upamayo en la disponibilidad actual del agua en la central hidroeléctrica Mantaro?

¿En qué medida incidirá la capacidad hidrológica de un reservorio futuro ubicado en el puente Stuart?

¿En qué medida incidirá el plantear un modelo de operación en conjunto para probar la influencia en la regulación actual de las represas en la satisfacción de la demanda de la central hidroeléctrica Mantaro?

¿En qué medida influirá el plantear mejores reglas de operación?

### **1.4. Antecedentes**

Escalante M. (2016), realizó la simulación hidrológica de la laguna Aricota utilizando el modelo WEAP para conocer la oferta de agua disponible para la instalación de la central hidroeléctrica Aricota III. Además, se halló, a partir de la optimización del caudal de diseño, la potencia a instalar de la central hidroeléctrica por medio de la solución numérica de una función objetivo con el fin de minimizar el costo anual del proyecto por kilowatt-hora de energía al año.

Aquino L. (2019), buscó obtener la oferta hídrica regulada para 8 embalses seleccionados y

también una no regulada en la subcuenca del río Cajamarca hasta la estación de aforo Jesús Túnel. Para esto el trabajo se dividió en tres partes. La primera, utilizando el sistema informático WEAP que utiliza el modelo de precipitación-escorrentía denominado “soil moisture method” se realiza un modelamiento hidrológico. En segundo lugar, se pasó a ubicar, en la zona de estudio seleccionada, las formaciones de vasos naturales, obteniendo también sus características. Por último, ya con el modelo hidrológico calibrado y a partir de los puntos de interés, se generaron caudales los cuales representan los volúmenes de agua que ingresan en el embalse. Finalmente, como resultados se obtuvo una capacidad de almacenamiento de 90.08Hm<sup>3</sup> con 8 embalses y una disponibilidad de 9.5 m<sup>3</sup>/s.

Hacha E. (2015), realizó un estudio sobre el comportamiento hidrológico en la subcuenca de Pitumarca, por medio del uso de un modelo simulado con el programa WEAP. Para realizar este modelo, se hicieron cálculos como las características geomorfológicas, análisis de los datos meteorológicos, regionalización de datos climáticos del área de estudio, ya que no existen datos registrados de caudales de la subcuenca. Así mismo, para la demanda hídrica total considera la demanda poblacional, pecuario y agrícola, los cuales dependerán de los cambios futuros de la demanda de esta subcuenca.

Los resultados que se obtuvieron fueron, en primer lugar, los principales parámetros morfométricos de la subcuenca que indican un área de 689.347 km<sup>2</sup>, longitud axial 48.730 km., ancho promedio 14.146 km., coeficiente de compacidad 1.782, dando la forma de la subcuenca de oval oblonga a rectangular oblonga, un factor de forma igual a 0.29 que indica una clase de forma ligeramente achatada y la subcuenca es menos propensa a tener lluvias intensas.

En segundo lugar, los valores hidromorfométricos indicaron que el grado de ramificación de los cursos de agua son de 4° orden; y la densidad de drenaje es 0.81 km/km<sup>2</sup> el mismo que se

considera baja y la respuesta de la subcuenca frente a una tormenta será lenta pudiendo evacuar el agua en más tiempo.

El inventario de fuentes hídricas mostró como resultado un total de 57 manantiales, 31 entre río y riachuelos y 23 lagunas, para ello se realizaron las mediciones de caudal por los métodos de sección velocidad, volumétrico, conductor aforador y correntómetro. Además, el inventario de las infraestructuras hidráulicas dio un total de 40 infraestructuras de riego, tanto de gravedad y presurizado, 38 infraestructuras de agua potable para consumo humano, de los cuales 9 infraestructuras de riego están en la comunidad de Ccapachapi y Pampachiri. Los datos climatológicos para el cálculo fueron regionalizados tomando en cuenta las estaciones de Pomacanchi, Sicuani y Yauri con un registro históricos de 1992 al 2011, la subcuenca fue dividida en microcuencas las cuales son: microcuenca de Chillcamayo, Yanamayo y Pitumarca, para cada una estas microcuencas se regionalizó, obteniendo las precipitaciones total anual de 1011.30 mm., para la microcuenca de Chillcamayo, 1000.03 mm., microcuenca de Yanamayo y 918.73 mm., microcuenca de Pitumarca. Los resultados obtenidos en el balance hídrico con el modelo hidrológico WEAP, para el escenario actual y futuro (año 2035). La subcuenca de Pitumarca tiene una disponibilidad hídrica de 122.208 m<sup>3</sup> /s, y una demanda (poblacional, pecuaria y agrícola) de 6.158 m<sup>3</sup> /s para el escenario actual, con un superávit hídrico de 116.050 m<sup>3</sup> /s y no hay déficit hídrico durante todo el año, para el escenario futuro con disminución de área de humedales andinos en un 50%, se tiene una oferta hídrica de 117.202 m<sup>3</sup> /s , y un superávit hídrico de 111.044 m<sup>3</sup> /s, y una reducción en 0.251 m<sup>3</sup> /s al año, esto debido a que los humedales andinos almacenan y retienen agua en las épocas de lluvias y retardan el escurrimiento del flujo superficial de agua. Para el escenario futuro con aumento de temperatura se tiene una oferta hídrica de 118.747 m<sup>3</sup> /s, y un superávit hídrico de 111.159 m<sup>3</sup> /s, y una reducción en 0.173 m<sup>3</sup> /s al año, esto indica que al

aumentar la temperatura aumentará la evaporación del agua y la evapotranspiración de los cultivos. Finalmente se obtuvo que no existe déficit hídrico actual y futuro en la cuenca de Pitumarca.

Ticona A. (2016), buscó determinar los escenarios futuros de caudales promedios en la cuenca del río Llave haciendo uso del modelo hidrológico WEAP. Para esto, se realizaron cálculos propios de una evaluación hidrológica como características geomorfológicas de la cuenca, análisis de los datos meteorológicos, regionalización de datos climáticos para el área de estudio escogida. Estos datos fueron necesarios para la generación de caudales con el modelo hidrológico WEAP. Como resultado del proyecto de investigación se determinó un escenario actual y futura de disponibilidad hídrica. Asimismo, se determinó en función al “Cambio Climático, denominado Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2050” considerando los parámetros de la disminución y aumento de cobertura vegetal en la cuenca del río Llave en bofedales a -44.2%, pajonales a - 16.6%, bosques a -28.3%, aumento en áreas cultivables a +41.9%, aumento en vegetación poco concentrada a +24.2%), aumento de temperatura de +2°C, disminución de humedad relativa de a -6% y precipitación a - 20%, usando estos parámetros en el modelo hidrológico WEAP se obtuvo una disponibilidad hídrica futura para el año 2050 de 631.3 MMC/año, en la cuenca del río Llave. En cuanto a los parámetros climáticos e hidrológicos en el escenario actual existe en su totalidad la cobertura vegetal, ya que estos almacenan y retienen agua en las épocas de lluvias y retardan la escorrentía superficial, producto de esto se ve el caudal máximo medio mensual es en el mes de febrero con 138.4 m<sup>3</sup>/s y el más bajo en octubre un caudal mínimo de 5.6 m<sup>3</sup>/s. La calibración de valores medios mensuales se realizó con los resultados del año (1965 – 1995), utilizando el método de error cuadrático se tiene como resultado de 0.83, es aceptable porque se aproxima al cero y el valor obtenido por el método de Nash es de 0.79, por lo que es una calibración válida porque este valor se acerca a 1. Validación valores medios mensuales se realizó con los resultados del año

(1966 – 2013) utilizando el método de error cuadrático se tiene como resultado de 0.69, es aceptable porque se aproxima al cero y el valor obtenido por el método de Nash es de 0.71, por lo que es una calibración válida porque este valor se acerca a 1.

Parra M. (2016), examinó escenarios climáticos futuros de cambios en la precipitación y temperatura y cuál es la incidencia en la disponibilidad de agua en una cuenca hidrográfica. Para este análisis se utilizó el modelo de planificación WEAP (Water Evaluation and Planning) como una herramienta para determinar el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad del agua en la cuenca del Río Machángara. Para el uso del modelo, se recopiló los datos históricos climatológicos e hidrológicos. Además, se utilizó la cartografía de la zona de estudio, de manera que sirvió de soporte y obteniendo modelos que pueden ser usados para comparar con la actualidad.

Adicionalmente, se plantearon escenarios climáticos ECHAM A2 y B2 con el fin de evaluar los cambios que se producen por las variaciones del clima sobre el suministro de agua y con esto tomar medidas para una planificación y gestión del agua a corto y mediano plazo.

De los resultados obtenidos del cruce entre la oferta y demanda de agua en el futuro, se obtuvo que para el caso de la demanda para consumo humano para los meses entre junio y agosto existirá un déficit de agua para cubrir sus necesidades. Este estudio podría servir para que los gestores del agua tomen una decisión sustentada en un mejor uso posible del recurso hídrico actual y futuro y su correcta administración en la permanente búsqueda de un desarrollo sostenible de la población de la cuenca del río Machángara.

García C. (2018), evaluó el impacto del reservorio Vilcazán al ser implementado en el sistema San Lorenzo, este interés es debido a que incrementó la oferta hídrica en el sistema y satisfacer las demandas actuales. Además, se analizó el comportamiento del sistema si incrementa la demanda.

Para la evaluación, se aplicó el balance hídrico. Para aplicar esta metodología, fue necesario

conocer la oferta hídrica en la cuenca del río Quiroz, las demandas registradas por la junta de usuarios del sistema San Lorenzo y el cálculo del volumen útil del embalse. Se utilizó el software WEAP para la generación de caudales mediante el modelo de precipitación - escorrentía. Para la calibración y validación del modelo hidrológico, se utilizaron los datos de aforo de las estaciones Zamba en el río Quiroz y Lagartera en el río Chipillico.

Para el cálculo de la demanda hídrica, consideró las cédulas de cultivo en las comisiones de usuarios y el uso poblacional. El método utilizado para el cálculo del volumen útil del embalse Vilcazán fue el de “picos secuenciales”. Como resultado en la simulación, se obtuvo que al implementar el reservorio Vilcazán en el sistema San Lorenzo no existirá déficit hídrico, además que dicho embalse operaría en más del 65% del tiempo con volúmenes mayores al 70% de su capacidad, y los volúmenes mínimos del reservorio San Lorenzo aumentaron al doble. Se concluyó que la implementación del reservorio en el sistema San Lorenzo sí permitirá satisfacer las demandas hídrica actuales totalmente.

Cordova J. (2016), determinó la capacidad de almacenamiento requerida para el vaso proyectado en la subcuenca Vichaycocha, con el fin de aumentar la oferta hídrica en la cuenca Canchay - Huaral durante los meses de estiaje. Para el cálculo del volumen útil se utilizó el método de picos secuenciales y para utilizar este método fue necesario definir la oferta hídrica en el punto de interés y la demanda que se espera cubrir desde el embalse. Se utilizó el software WEAP para, por medio del modelo de precipitación-escorrentía, generar caudales en el eje donde se ubica el cierre o boquilla del vaso. Para la validación y calibración del modelo hidrológico se utilizaron los datos de la estación hidrométrica Santo Domingo y para la demanda hídrica, se tomó en cuenta el caudal ecológico y las necesidades de para el uso agrícola y el de la población.

Los resultados muestran que el vaso requiere de un volumen de  $6.0 \text{ hm}^3$  y mediante de la

simulación de operación del embalse se comprobó que dicha capacidad permite contar con una garantía de abastecimiento de la demanda de casi totalmente el 100%. Finalmente se obtuvo que el método de picos secuenciales permitió de manera eficiente definir la capacidad de almacenamiento del vaso proyectado en la subcuenca.

Pilares I. (2018), determinó los escenarios futuros de la disponibilidad del recurso hídrico para el sistema integral de lagunillas con incidencia del cambio climático para lo cual se determinó un escenario actual y futuro de disponibilidad hídrica, teniendo en cuenta al “Cambio Climático, denominado Escenarios Climáticos”. Para solucionar este problema planteó una planificación y modelación hidrológica considerando la disponibilidad del recurso hídrico regulado de la cuenca del río Cabanilla. Utilizó el software WEAP para realizar el modelo hidrológico debido a que permite integrar valores necesarios para el estudio. La variación promedio anual obtuvo resultados positivos en todos los escenarios. Para el periodo futuro cercano; el escenario que presenta menor variación con un 17 por ciento es CNR 4.5, representando este valor un cambio no significativo, y el de mayor variación con 99 por ciento es CAN 4.5 siendo un cambio extremo. La variación promedio estacional también obtuvo resultados positivos en todos los escenarios cabe resaltar que, en el verano, el cambio es no significativo y, invierno y primavera, el cambio es de significativo a extremo. La variación promedio mensual presenta resultados de variación más detallados. El modelo CNRM-CM5 presenta ocho meses con variación negativa, cinco de futuro cercano y tres de lejano; el modelo CANESM2 presenta siete meses con variación negativa, cuatro de futuro cercano y tres de lejano; y el modelo MPI-ES-MR presenta un solo caso de variación negativa con el promedio mensual de marzo en periodo futuro. En cuanto a la determinación de la capacidad hidrológica de la cuenca en estudio, obtuvo con la información de caudales generados para la información histórica de precipitaciones en las subcuencas del Río Verde y Río Cerrillos

(Lagunillas) y la demanda potencial que viene a constituir en la máxima demanda, que podría cubrirse regulándose las aguas en cada una de estas subcuencas, de lo cual se observó que para un mismo caudal de demanda se obtiene mayores volúmenes de los caudales generados bajo el efecto de Cambio Climático que los caudales con información histórica de las subcuencas del río Cerrillos y río Verde.

### **1.5. Justificación e importancia de la investigación**

Fox (2003), Describe que “El agua es el gran tema del siglo XXI, es nuestro futuro común. Juntos, sociedades y gobiernos del mundo debemos impulsar acciones decididas que nos permita preservar y garantizar este capital natural. El agua es un tema de seguridad y de sobrevivencia para todas las naciones y solamente podrá ser abordado y resuelto en una lógica global. Trabajemos en incrementar el patrimonio de las próximas generaciones. Nunca es demasiado tarde, podemos sembrar hoy para cosechar grandes frutos el día de mañana”.

La escasez del recurso hídrico en la cuenca del Mantaro es cada vez más notoria al mismo tiempo en él se observa que las fuentes hídricas en el transcurrir de los años han ido disminuyendo sus caudales, produciendo la demanda hídrica insatisfecha en cultivos. En el Mantaro, el manejo de centrales hidroeléctricas necesita adecuadas estimaciones de los requerimientos de agua, lo cual significa conocer con mayor precisión la disponibilidad de agua provenientes de las precipitaciones pluviales. Actualmente en la cuenca del río Mantaro, se caracteriza por ser una zona de producción energética, que al igual que otras cuencas, son afectados por el fenómeno del cambio climático, que estaría jugando un rol que genera deficiencias en el desarrollo de la cuenca, por lo que es necesario crear un plan sostenible y así cuidar y contar con un manejo del recurso hídrico. Ministerio de Agricultura (2007).

Ante este problema, se plantea realizar una planeación y/o modelación hidrológica en base a la

disponibilidad del recurso hídrico regulado de la cuenca del río Mantaro, determinando el escenario actual y el escenario futuro, para así disponer información futura, preventiva, la misma que servirá para el desarrollo de proyectos posteriores, que estén de acorde con el desarrollo y bienestar poblacional. Yates, et al, 2005 (23), manifiesta que los modelos hidrológicos son herramientas que pueden ayudar a la planificación explicando el comportamiento de las cuencas en la actualidad y en el futuro. En este sentido **WEAP** presenta ventajas sobre otros sistemas informáticos hidrológicos, pudiendo integrar ofertas con modelos hidrológicos y demandas de agua en relación con la gestión del recurso, además de su capacidad de trabajar sobre escenarios futuros, como el escenario de cambio climático, lo que permitiría saber el comportamiento de las cuencas en estudio.

El almacenamiento y regulación del recurso hídrico es necesario, ya que muchas actividades primarias dependen de ello (agricultura, ganadería, etc.) también dependen la minería y las grandes centrales Hidroeléctricas del país, debido a esto el recurso agua no nos debe faltar en ninguna temporada del año.

Los caudales de estiaje son muy bajos en comparación a la demanda creciente actual en todas poblaciones a nivel nacional y esto no le es diferente al Mantaro ya que las lluvias se dan solamente en 6 meses de noviembre a marzo y los otros 6 de abril a octubre los caudales dependerán solamente de los almacenamientos naturales como artificiales.

Es por esto que se plantea realizar un estudio del recurso disponible en las temporadas de lluvia para definir los volúmenes de posibles regulaciones y así mismos serán utilizados para el diseño de la altura de futuros represamientos, permitiendo así el manejo óptimo del recurso hídrico en las épocas de estiaje.

## **1.6. Limitaciones de la investigación**

Las limitaciones de la investigación es que las informaciones básicas se encuentran en diversas instituciones del estado y privadas como: ANA, Electro Perú, Electroandes, Senamhi, el Coes, etc. Pero se han solucionado en el tiempo a través de sus páginas web, visitas a las bibliotecas de dichas instituciones y visitas de campo

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Evaluar la incidencia de los represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la Central Hidroeléctrica Mantaro.

### **1.7.2. Objetivos específicos**

Establecer un modelo hidrológico de la cuenca del Mantaro para generar los caudales no regulados de la cuenca.

Evaluar la regla de operación de las represas Malpaso, Upamayo, Pomacocha, Pachacayo, Vilca y Quillón en la disponibilidad del agua en la central hidroeléctrica Mantaro.

Determinar la capacidad hidrológica de un reservorio futuro ubicado en el puente Stuart.

Plantear un modelo de operación en conjunto para probar la influencia en la regulación de las represas en la satisfacción de la demanda de la central hidroeléctrica del Mantaro, utilizando el programa de modelación WEAP.

Realizar la corrida de simulación en el sistema de modelación WEAP para encontrar las mejores reglas de operación.

## **1.8. Hipótesis**

### **1.8.1. Hipótesis General**

Los represamientos en la cuenca del Mantaro incidirán para la disponibilidad de agua regulada en una Central Hidroeléctrica.

### **1.8.2. Hipótesis específicas**

Un modelo hidrológico de la cuenca del Mantaro incidirá para generar los caudales no regulados de la cuenca.

Las reglas de operación de las represas Malpaso y Upamayo incidirán en la disponibilidad del agua regulada en la central hidroeléctrica del Mantaro.

La determinación de la capacidad hidrológica de un reservorio futuro ubicado en el puente Stuart incidirá en la disponibilidad del agua regulada en la central hidroeléctrica del Mantaro.

Los modelos de operación en conjunto para probar la influencia en la regulación de las represas incidirán en la satisfacción de la demanda de la central hidroeléctrica del Mantaro, utilizando el programa de modelación WEAP.

La corrida de la simulación en el sistema de modelación WEAP incidirá para encontrar las mejores reglas de operación.

## II. MARCO TEORICO

### 2.1. Agua

#### 2.1.1. Vertientes y disponibilidad de agua

El territorio peruano está dividido en tres grandes vertientes: la vertiente del Pacífico, del Atlántico y la del Titicaca; la masa anual promedio de agua superficial que producen estas tres vertientes es de 780 000 millones de m<sup>3</sup>, donde el 90 por ciento es agua que se va al Atlántico a través del río Amazonas, y del 10 por ciento restante sólo se aprovecha una pequeña parte, debido al régimen estacional de nuestras corrientes de agua.

La vertiente del Pacífico drena las aguas que se generan en el lado occidental de la Cordillera de Los Andes (sierra occidental y costa), a través de 53 cuencas hidrográficas, cuyos ríos desembocan directamente en el Océano Pacífico. La superficie de esta vertiente representa el 22 por ciento del territorio nacional, pero su disponibilidad de recurso hídrico natural es muy baja, ya que su disponibilidad (37 030 millones de m<sup>3</sup>/ año) es de menos del 2 por ciento del volumen de agua dulce del país. Paradójicamente, en esta vertiente, la más seca de las tres, vive más del 60 por ciento de la población y se consume el 87 por ciento del total de agua utilizada en el país. De los 16 500 millones de metros cúbicos de agua que se consumen en esta vertiente, la mayoría es para fines de uso agrícola (86 por ciento), industrial (6,7 por ciento) y poblacional (6,2 por ciento).

Por otro lado, la vertiente del Atlántico drena las aguas que se generan en el lado oriental de la Cordillera de los Andes (sierra oriental y Amazonía), a través de 44 cuencas hidrográficas, cuyos ríos dirigen sus aguas hacia el Océano Atlántico. La superficie de esta vertiente representa el 74 por ciento del territorio del Perú, y debido a las abundantes lluvias en la selva alta y baja, esta vertiente dispone de más del 97 por ciento del volumen de agua del país (1 998 405 m<sup>3</sup>/año). De los 2 368 millones de m<sup>3</sup> de agua que se consumen en esta vertiente, la mayoría es para fines de

uso agrícola (84 por ciento), poblacional (6,2 por ciento) y minero (2,2 por ciento). Por último, la vertiente del Titicaca que es la más pequeña, es apenas el 4 por ciento del territorio peruano, y aporta el 0,5 por ciento del volumen total de agua hacia el complejo hidrográfico del lago Titicaca, a través de 9 cuencas. De los 103 millones de m<sup>3</sup> de agua que se consumen en esta vertiente, la mayoría es para fines de uso agrícola (69 por ciento), poblacional (17 por ciento) y pecuario (2,2 por ciento). (MINAGRI, Sector agrario, recurso agua, uso y manejo de agua, 2013)

### **2.1.2. Uso y manejo de agua**

El uso del agua puede ser “consuntivo”, es decir que se consume efectivamente durante alguna actividad, como la agrícola, poblacional, industrial, etc., o “no consuntivo”, donde se utiliza el agua sin consumirse efectivamente, como en la actividad energética, donde luego del aprovechamiento por las hidroeléctricas, puede estar apta para otros fines, como los agrícolas, por ejemplo. Si bien el consumo del agua se divide por sectores económicos, constituye también una red de transporte principal en la selva.

El consumo de agua en el Perú, en su mayoría se debe a actividades agrícolas, las cuales consumen 12 veces más que para fines poblacionales. El uso del agua para generación de energía eléctrica es también muy importante, utilizándose más de 11 000 millones de m<sup>3</sup>/año.

En la costa, debido a la gran demanda de agua para agricultura, al asentamiento de más de la mitad de la población y a la concentración de grandes industrias, se utiliza el 36 por ciento del agua disponible naturalmente para esa región. El consumo de esta región (en promedio por persona) es de 1 105 m<sup>3</sup>/año, aproximadamente 3 000 litros de agua por persona al día, el triple del consumo en la sierra y diez veces más que en la selva.

En la sierra se utiliza el 0,83 por ciento del agua disponible naturalmente para esa región. El consumo promedio por persona es de 354 m<sup>3</sup>/año, aproximadamente 1000 litros de agua por

persona al día.

En la selva, debido al gran volumen de agua disponible, se utiliza tan solo el 0,02 por ciento del agua disponible naturalmente para esa región. El consumo promedio por persona es de 109 m<sup>3</sup>/año, aproximadamente 300 litros de agua por persona al día.

Para dar solución a la escasez de agua en las zonas áridas, se tiene una red de reservorios. El Perú tiene una capacidad máxima de almacenamiento de agua de 2 731 millones de m<sup>3</sup>, distribuida en nueve reservorios.

En cuanto al agua potable, en el 2003, las más de 40 empresas de servicios produjeron 1 188 millones de m<sup>3</sup> en todo el país (SUNASS). Esto equivale a una disponibilidad promedio de 120 litros de agua potable disponibles por persona al día. (MINAGRI, Sector agrario, recursos naturales, vertientes y disponibilidad de agua, 2013)

### **2.1.3. Problemática del Agua en el Perú**

La mayoría de las personas habitan en ciudades donde se requiere más agua de la que la geografía provee.

En el escenario nacional, tanto la legislación como la institucionalidad creada para regular y administrar el uso del agua resultan débiles y frágiles. Este panorama, puede ser diagnosticado como una “crisis en la gestión del agua”. (Guevara, 2008)

### **2.1.4. Gestión integrada del agua**

*Global Water Partnership*, Solanes, et al (2000); llegan a la conclusión de que la gestión integrada del agua puede entenderse como cinco formas distintas de integración (Axel Dourojeanni, 2002): La integración de los intereses de los diversos usos y usuarios de agua y la sociedad en su conjunto, con el objetivo de reducir los conflictos entre los que dependen de y los que compiten por este escaso y vulnerable recurso.

La integración de todos los aspectos del agua que tengan influencia en sus usos y usuarios (cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia) y de la gestión de la oferta con la gestión de la demanda.

La integración de los diferentes componentes del agua o de las diferentes fases del ciclo hidrológico (por ejemplo, la integración entre la gestión del agua superficial y del agua subterránea).

La integración de la gestión del agua y de la gestión de la tierra y otros recursos naturales y ecosistemas relacionados.

La integración de la gestión del agua en el desarrollo económico, social y ambiental.

## **Ley de Recursos Hídricos Ley N° 29338 (Ana, 2009)**

### **TITULO PRELIMINAR**

#### **Artículo I.-Contenido**

La presente Ley regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta. Se extiende al agua marítima y atmosférica en lo que resulte aplicable.

#### **Artículo II.- Finalidad**

La presente Ley tiene por finalidad regular el uso y gestión integrada del agua, la actuación del Estado y los particulares en dicha gestión, así como en los bienes asociados a esta.

#### **Artículo III.- Principios**

Los principios que rigen el uso y gestión integrada de los recursos hídricos son:

- a) Principio de valoración del agua y de gestión integrada del agua El agua tiene valor sociocultural, valor económico y valor ambiental, por lo que su uso debe basarse en la gestión integrada y en el equilibrio entre estos.

El agua es parte integrante de los ecosistemas y renovable a través del ciclo hidrológico.

b) Principio de prioridad en el acceso al agua El acceso al agua para la satisfacción de las necesidades primarias de la persona humana es prioritario por ser un derecho fundamental sobre cualquier uso, inclusive en épocas de escasez.

c) Principio de participación de la población y cultura del agua

El Estado crea mecanismos para la participación de los usuarios y de la población organizada en la toma de decisiones que afectan el agua en cuanto a calidad, cantidad, oportunidad u otro atributo del recurso.

Fomenta el fortalecimiento institucional y el desarrollo técnico de las organizaciones de usuarios de agua. Promueve programas de educación, difusión y sensibilización, mediante las autoridades del sistema educativo y la sociedad civil, sobre la importancia del agua

## **TÍTULO V PROTECCIÓN DEL AGUA**

### **Artículo 85°.- Certificación de aprovechamiento eficiente**

a) El certificado de eficiencia es el instrumento mediante el cual la Autoridad Nacional certifica el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos por parte de los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica.

b) La Autoridad Nacional otorga “certificados de eficiencia” a los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, que cumplan con los parámetros de eficiencia.

c) La Autoridad Nacional otorga “certificados de creatividad, innovación e implementación para la eficiencia del uso del agua” a los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica que diseñen, desarrollen o implementen equipos, procedimientos o tecnologías que incrementen la eficiencia en el aprovechamiento de los recursos hídricos, así como la conservación de bienes naturales y el mantenimiento adecuado y oportuno de la infraestructura hidráulica.

**Artículo 86°.- Incentivos institucionales**

Para promover el aprovechamiento eficiente y la conservación de los recursos hídricos, la Autoridad Nacional puede organizar concursos de mejores prácticas, realizar pasantías, otorgar premios, difundir experiencias exitosas y promover el uso de equipos y tecnologías innovadoras. Pueden ser beneficiarios de los incentivos mencionados en el primer párrafo los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, que cuenten con uno de los certificados señalados en el artículo 85°.

El Reglamento establece los requisitos, procedimientos y criterios para la aplicación de los incentivos.

**Artículo 89°.- Prevención ante efectos de cambio climático**

La Autoridad Nacional, en coordinación con la Autoridad del Ambiente, debe desarrollar estrategias y planes para la prevención y adaptación a los efectos del cambio climático y sus efectos sobre la cantidad de agua y variaciones climáticas de orden local, regional y nacional.

Asimismo, realiza el análisis de vulnerabilidad del recurso hídrico, glaciares, lagunas y flujo hídrico frente a este fenómeno.

**PLANIFICACIÓN DE LA GESTIÓN DEL AGUA****Artículo 97°.- Objetivo de la planificación de la gestión del agua**

La planificación de la gestión del agua tiene por objetivo equilibrar y armonizar la oferta y demanda de agua, protegiendo su cantidad y calidad, propiciando su utilización eficiente y contribuyendo con el desarrollo local, regional y nacional.

**Artículo 100°.- Plan Nacional de los Recursos Hídricos**

El Plan Nacional de los Recursos Hídricos contiene la programación de proyectos y actividades

estableciendo sus costos, fuentes de financiamiento, criterios de recuperación de inversiones, entidades responsables y otra información relevante relacionada con la política nacional de gestión de los recursos hídricos.

El Plan Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos es aprobado por decreto supremo a propuesta del Consejo Directivo de la Autoridad Nacional.

#### **Artículo 101°.- Plan de adecuación para el aprovechamiento eficiente de recursos hídricos**

Los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica que no cumplan los parámetros de eficiencia establecidos por la Autoridad Nacional deben presentar un plan de adecuación para el aprovechamiento eficiente de recursos hídricos a fin de reducir sus consumos anuales hasta cumplir, en un período no mayor de cinco (5) años, con los parámetros de eficiencia.

El plan de adecuación debe contener, como mínimo, las metas anuales de reducción de pérdidas volumétricas de agua, los procesos que se implementan para lograr dichas metas. Así como los parámetros de eficiencia, acceso al financiamiento o cofinanciamiento.

Los costos que se generen en virtud de la elaboración y ejecución del plan de adecuación para el aprovechamiento eficiente de recursos hídricos son de cargo de los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica.

La Autoridad Nacional aprueba y supervisa la ejecución del plan de adecuación para el aprovechamiento eficiente de recursos hídricos y sanciona su incumplimiento, de conformidad con lo previsto en el Reglamento, considerando para ello la normativa establecida por el Ministerio del Ambiente en materia de su competencia.

### **TÍTULO VIII INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA**

#### **Artículo 103°.- Reserva de recursos hídricos**

La reserva de recursos hídricos es un derecho especial intransferible que se otorga por

resolución de la Autoridad Nacional para el desarrollo de proyectos, que reserva un volumen de agua para su uso consuntivo o no consuntivo, en el marco del plan de gestión de recursos hídricos de la cuenca.

Se otorga por el período de elaboración de estudios y ejecución del proyecto separadamente y no faculta al uso del agua. La solicitud de prórroga puede aprobarse por causas debidamente justificadas.

Los requisitos para solicitar la reserva de agua son establecidos en el Reglamento y deben incluir la capacidad técnica y financiera del solicitante.

Este derecho puede ser revocado por el incumplimiento injustificado del cronograma de elaboración de estudios y ejecución del proyecto y por lo dispuesto en el Título IV de la Ley, en lo que corresponda.

#### **Artículo 104°.- Aprobación de obras de infraestructura hidráulica**

La Autoridad Nacional, en concordancia con el Consejo de Cuenca, aprueba la ejecución de obras de infraestructura pública o privada que se proyecten en los cauces y cuerpos de agua naturales y artificiales, así como en los bienes asociados al agua correspondiente. En el caso de grandes obras hidráulicas y de trasvase entre cuencas, la Autoridad Nacional aprueba su ejecución. La aprobación está sujeta a la presentación de la certificación ambiental de la autoridad competente, según corresponda.

#### **Artículo 105°.- Participación del sector privado en la infraestructura hidráulica**

El Estado promueve la participación del sector privado en la construcción y mejoramiento de la infraestructura hidráulica, así como en la prestación de los servicios de operación y mantenimiento de la misma.

En la ejecución de proyectos de infraestructura hidráulica en tierras de las

comunidades campesinas y comunidades nativas, el Estado establece el mecanismo para hacerlas partícipes de los beneficios una vez que opere el proyecto.

#### **Artículo 106°.- Seguridad de la infraestructura hidráulica mayor**

La Autoridad Nacional, en materia de seguridad de la infraestructura hidráulica mayor, tiene a cargo las siguientes funciones:

- a) Coordina con el Consejo de Cuenca los planes de prevención y atención de desastres de la infraestructura hidráulica;
- b) Elabora, controla y supervisa la aplicación de las normas de seguridad de las grandes presas públicas y privadas; y
- c) Elabora y controla la aplicación de las normas de seguridad para los demás componentes del sistema hidráulico público.

#### **Artículo 107°.- Derechos de uso de agua de las comunidades campesinas y comunidades nativas**

Los derechos de uso de agua inherentes a las comunidades campesinas y comunidades nativas, cuando se llevan a cabo proyectos de infraestructura hidráulica, no deben ser afectados, de conformidad con lo establecido en el artículo 64° de la Ley. Para la humanidad y los sistemas ecológicos, generando conciencia y actitudes que propicien su buen uso y valoración.

### **2.2. Centrales hidroeléctricas**

La energía hidroeléctrica es electricidad generada aprovechando la energía del agua en movimiento. Este tipo de energía lleva años explotándose. Los agricultores, desde la Grecia antigua han utilizado molinos de agua para moler trigo y hacer harina. Localizados en los ríos, los molinos de agua recogen el agua en movimiento en cubos situados alrededor del molino. La energía cinética del agua en movimiento gira el molino y se convierte en la energía mecánica que

mueve el molino.

Una central hidroeléctrica clásica es un sistema que consiste en tres partes: una central eléctrica en la que se produce la electricidad; una presa que puede abrirse y cerrarse para controlar el paso del agua; y un depósito en que se puede almacenar agua. El agua de detrás de la presa fluye a través de una entrada y hace presión contra las palas de una turbina, lo que hace que éstas se muevan. La turbina hace girar un generador para producir la electricidad. La cantidad de electricidad que se puede generar depende de hasta dónde llega el agua y de la cantidad de ésta que se mueve a través del sistema. La electricidad puede transportarse mediante cables eléctricos de gran longitud hasta casas, fábricas y negocios.

La energía hidroeléctrica es la que genera electricidad de forma más barata en la actualidad. Esto se debe a que, una vez que la presa se ha construido y se ha instalado el material técnico, la fuente de energía (agua en movimiento) es gratuita. Esta fuente de energía es limpia y se renueva cada año a través del deshielo y las precipitaciones.

Además, este tipo de energía es fácilmente accesible, ya que los ingenieros pueden controlar la cantidad de agua que pasa a través de las turbinas para producir electricidad según sea necesario. Lo que, es más, los depósitos pueden ofrecer oportunidades recreativas, tales como zonas de baño y de paseo en barca.

Sin embargo, la construcción de presas en los ríos puede destruir o afectar a la flora y la fauna y otros recursos naturales, también pueden provocar la disminución de los niveles de oxígeno disuelto en el agua, lo que resulta dañino para los hábitats fluviales. (National Geographic, 2013)

### **2.2.1. Planificación de la expansión hidroeléctrica en un clima que cambia**

Dado el gran potencial sin explotar, la energía hidroeléctrica se ve como la mejor manera de satisfacer las crecientes necesidades de energía para gran parte de la región de América Latina

(salvo en el Caribe). En efecto, desde 1970 la capacidad de generación se ha multiplicado por cinco. Sin embargo, muchas instalaciones hidroeléctricas importantes en la región fueron diseñadas con base en patrones climáticos que están cambiando, y esto reduce la fiabilidad de la producción hidroeléctrica y aumenta la vulnerabilidad del sistema de suministro de energía.

En el Cono Sur y en el Grupo Andino, las plantas hidroeléctricas convencionales ya son vulnerables a las anomalías de lluvia debido a los fenómenos climáticos El Niño y La Niña. Ahora el retroceso de los glaciares ha comenzado a afectar la generación de energía hidroeléctrica en las zonas de La Paz, Bolivia, y Lima, Perú. La esperada desaparición de los glaciares también podría afectar la generación de energía hidroeléctrica en Colombia. En Ecuador, por otro lado, algunos escenarios muestran un aumento de precipitaciones que podría ampliar el potencial de generación de energía hidroeléctrica.

La infraestructura hidroeléctrica tendrá que ser planeada dentro de los rangos de incertidumbre que imponen las tendencias del clima, en vez de con planes y diseños estáticos. Los planes probablemente tendrán que incluir provisiones para operaciones específicas dependiendo del clima y de la demanda de agua, con una infraestructura flexible. Las plantas con almacenamiento por bombeo y los sistemas hidroeléctricos pequeños podrán ser opciones para superar la variabilidad climática.

Es importante tener en cuenta que la energía hidroeléctrica requiere mucha más agua que la mayoría de las otras fuentes de energía, 17 litros por KWh, comparado con 1,9 para el carbón y 2,6 para la energía nuclear (pero 360 para la biomasa) – pero las plantas hidroeléctricas también devuelven el agua al sistema después de generar la energía. Aun así, la variabilidad de la energía hidroeléctrica debido a los cambios en el volumen de agua significa que la planificación de energía debe incluir arreglos para obtener electricidad de otras fuentes durante algunos períodos. Los

formuladores de políticas necesitan buenos marcos de análisis para entender estas ventajas y desventajas y tomar decisiones informadas. (Escobar, Flores López, & Clark, 2011)

### **2.2.2. El valor del agua para la generación de energía**

El valor del agua para la generación de energía plantea un reto básico para el sector eléctrico. Se analiza el valor del agua en tres planos básicos: el económico, el medioambiental y el de la gestión de los recursos hídricos (De la Orden Gómez, Pérez Zabaleta , & López, 2006). A continuación, se explica este último:

### **2.2.3. Valor para la gestión de los recursos hídricos**

El uso del agua para la generación de energía requiere, por lo general, la construcción de obras de regulación de mayor o menor entidad que, en relación con la gestión de los recursos hídricos, tiene un valor importante no siempre debidamente considerado.

En primer lugar, conviene recordar que las presas para la producción de energía eléctrica cumplen una función de regulación de los recursos hídricos de un determinado territorio y, en este sentido, están vinculadas a la disponibilidad de agua, elemento clave en el progreso social y económico. Esto es especialmente cierto en las zonas consideradas como áridas o semi-áridas en las que la disponibilidad del agua no es sólo esencial en el abastecimiento urbano, sino para el desarrollo de la agricultura, de la industria y de forma creciente, de nuevas actividades económicas y recreativas.

Por otro lado, hay que señalar que la energía hidroeléctrica de regulación, es decir, aquella dotada de embalses, no sólo constituye, como se ha visto anteriormente, una herramienta de lucha contra el cambio climático, sino que es también un medio de defensa contra sus efectos. Así lo pone de manifiesto un Informe del IPPC (Grupo Intergubernamental sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas) de 1995 que señala que el cambio climático provocará un aumento de la

irregularidad hidrológica, y define, como opción de mitigación “la construcción de nueva capacidad de embalse para capturar y almacenar los 25 caudales en exceso producidos por patrones alternados de deshielo y borrascas”.

Otro beneficio evidente de los embalses hidroeléctricos es la función que cumplen en la laminación de avenidas y en consecuencia en la evitación de inundaciones, lo que supone un servicio a la sociedad que evita importantes pérdidas económicas y sociales y, lo que es más importante, pérdidas humanas.

Finalmente, debe tenerse en cuenta el papel que puede jugar el uso del agua para la producción de energía en la viabilidad de proyectos hidráulicos para finalidades múltiples y en incrementar el valor del uso de los recursos hídricos disponibles.

#### **2.2.4. Central Hidroeléctrica del Mantaro**

El Complejo Hidroeléctrico del Mantaro está ubicado en la localidad de Campo Armiño, distrito de Colcabamba, provincia de Tayacaja, departamento de Huancavelica a 12°21' latitud sur y 74°35' longitud oeste, a una altitud de 1 840 m.s.n.m.; se encuentra a una distancia de 160 km vía terrestre al sur-este de la ciudad de Huancayo y a 480 km al este de la ciudad de Lima.

El complejo Mantaro se clasifica como una central hidroeléctrica de agua embalsada, donde se realiza la captación a un nivel máximo de 2 695 m.s.n.m., los caudales captados son del orden de 96 m<sup>3</sup>/s para máxima generación; está constituida por dos centrales hidroeléctricas de alta presión en cascada la primera es la Central Hidroeléctrica Antúnez de Mayolo (SAM) que aprovecha el agua embalsada del río Mantaro y tiene siete grupos de generación con turbinas Pelton, y la segunda Central Hidroeléctrica es la de Restitución, que tiene tres grupos de generación también con turbinas Pelton las cuales aprovechan las aguas turbinadas de SAM.

Tiene una potencia instalada de 798 mega watts (MW). Emplea las aguas del río Mantaro, que,

tras ser almacenadas en la represa de Tablachaca, son conducidas hasta aquí por un túnel de 19.8 kilómetros de largo y 4.8 metros de diámetro. En esta quebrada, las aguas descienden por tres tubos de 3.3 metros de diámetro, experimentando una caída neta de 780 metros, y poniendo en movimiento siete turbinas Pelton (de eje vertical y cuatro inyectores), cada una de las cuales genera 117 MW.

Luego, las aguas turbinadas salen por el puente-tubo de 100 metros de largo que se observa en la parte baja izquierda de las fotos y son conducidas mediante un túnel de 800 metros de largo hasta la central Restitución, que conforma la segunda etapa (Mantaro 2) de este complejo hidroenergético, que suma, con el aporte de ambas, una potencia total de 1008 MW.

Fue inaugurada en 1973, con sus turbinas 1, 2 y 3, y luego en 1979 se le añadió las turbinas 4, 5, 6 y 7. Pertenece a la estatal Electroperú. (ELECTROPERU S.A., 2004)

## **2.3. Software WEAP**

### **2.3.1. Descripción de WEAP**

El *software* WEAP (*Water Evaluation And Planing System*) es una herramienta de modelación para la planificación y distribución de agua que puede ser aplicada a diferentes escalas, desde pequeñas zonas de captación hasta extensas cuencas.

WEAP explícitamente incluye demandas de agua con prioridades asociadas y usa escenarios para evaluar diferentes esquemas de distribución del recurso. WEAP incluye un modelo hidrológico, así como varios módulos que permiten integrar WEAP con el *software* para modelación de aguas subterráneas MODFLOW y con el software para modelación de calidad del agua QUAL2K.

WEAP apoya la planificación de recursos hídricos balanceando la oferta de agua (generada a través de módulos físicos de tipo hidrológico a escala de subcuenca) con la demanda de agua

(caracterizada por un sistema de distribución de variabilidad espacial y temporal con diferencias en las prioridades de demanda y oferta).

A diferencia de otros modelos de recursos hídricos típicos basados en modelación hidrológica externa, WEAP es un software de modelación forzado por variables climáticas. Por otra parte y de manera similar a estos modelos de recursos hídricos, WEAP incluye rutinas diseñadas para distribuir el agua entre diferentes tipos de usuarios desde una perspectiva humana y ecosistémica. Estas características convierten a WEAP en un software de modelación ideal para realizar estudios de cambio climático, en los que es importante estimar cambios en la oferta de agua (ej. cambios en la precipitación proyectados) y en la demanda de agua (ej. cambios en la demanda por evaporación en cultivos), los cuales producirán un balance de agua diferente a nivel de cuenca. (SEI, 2009)

### **2.3.2. Proceso de aplicación de un modelo en el software WEAP**

El desarrollo de un modelo en el *software* WEAP incluye generalmente las siguientes etapas (SEI, 2009):

**Definición del estudio:** En esta etapa se establece el marco temporal, los límites espaciales, los componentes del sistema y la configuración del problema.

**Búsqueda de información:** En esta etapa se hace una recolección de datos de acuerdo con el tipo de estudio definido. Esta etapa puede ser iterativa, y generalmente se realiza en dos partes: una etapa de recolección de datos generales, y una etapa de recolección de datos específicos una vez se ha montado el modelo y se han identificado necesidades adicionales de información.

**Desarrollo del modelo:** En esta etapa se construye el esquema, se realiza la entrada de datos y se realizan corridas iniciales de modelo para observar su comportamiento preliminar y para eliminar posibles inconsistencias y errores.

Calibración: En esta etapa se busca lograr un set de parámetros hidrológicos y operaciones que permitan obtener una representación de caudales y de operación de obras de infraestructura que asemeje los datos históricos de la forma más cercana posible.

Uso del modelo, generación de escenarios: Una vez que el modelo está calibrado, se pueden explorar los impactos que tendría una serie de supuestos alternativos sobre las políticas futuras, costos, y clima, por ejemplo, en la demanda de agua, oferta de agua, hidrología y contaminación.

### **2.3.3. Aspectos de responsabilidad social y medio ambiente**

El Desarrollo Humano Sostenible (DHS) contempla el desarrollo integral de las personas en los ámbitos sociales, económicos y ambientales, busca el crecimiento de la persona en comunidad y en conjunto con todos los actores, factores y ambiente de su entorno.

Es un proceso ético y sostenible que no debe afectar a otros incluyendo a las fuentes de recursos naturales ni al ambiente, trabaja por mantener como principio y fin el respeto a la vida en todas sus formas. El desarrollo sostenible requiere la articulación constructiva de los criterios que abordan el desarrollo de abajo hacia arriba con las iniciativas de base.

Exige tener en cuenta al mismo tiempo los aspectos locales y globales y la forma en que se relacionan recíprocamente. Finalmente, requiere ampliar el horizonte espacial y temporal para adaptarse a la necesidad de equidad intrageneracional así como intergeneracional.

Existen dos corrientes predominantes, frente al desarrollo, por una parte, los que sólo prestan atención a la sostenibilidad del sistema social o socioeconómico y por la otra, quienes privilegian únicamente la sostenibilidad de la naturaleza. La primera se denomina como sostenibilidad muy débil y la segunda como sostenibilidad muy fuerte. Estas dos corrientes representan dos extremos, el primero de relega al desarrollo a ser plenamente económico y ve a la naturaleza como una fuente de recursos; el segundo, desplaza el componente humano priorizando al sistema ecológico por

sobre todas las cosas.

El Desarrollo humano sostenible sería un enfoque que integra estas dos tendencias. Al contrario del sistema neoliberal, en el cual el mercado se regula solo o la mano invisible del mercado (Adam Smith, 1959), el desarrollo humano sostenible engloba al ser humano y al sistema ecológico y al entorno en el cual se desarrolla. Una tendencia que persiste en el mundo occidental y globalizado define al desarrollo como el acceso que tiene el ser humano a los recursos materiales y a un “estatus quo” mayor, sin importar el proceso que haya requerido este “ascenso” económico. Esta definición unidimensional para la sostenibilidad, consiste en que el desarrollo económico por si es sinónimo de prosperidad como determinante sobre la dimensión social, cultural y ambiental. Para asegurar el desarrollo humano sostenible desde el individuo y hasta el planeta, el desarrollo económico debe interrelacionarse en una red de relaciones con lo social, cultural ambiental y tecnológico entretejido con ejes transversales como la ética, y la tecnología al servicio del mejoramiento de la calidad de vida individual y colectiva.

El presente proyecto de investigación se inspira en estos apartados y busca contribuir al desarrollo de nuestro país.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo de Investigación**

##### **3.1.1. De acuerdo a la orientación**

Tipificada como aplicada, porque nuestra investigación está orientada a solucionar problemas prácticos de una realidad concreta como la recarga y descarga de los represamientos en los periodos de lluvia y estiaje respectivamente, la satisfacción de las demandas de las centrales hidroeléctricas de acuerdo a su capacidad instalada.

##### **3.1.2. De acuerdo a la técnica de contrastación**

Tipificada como descriptiva correlacional, porque los datos son obtenidos directamente de las bases de datos de las instituciones como ANA, SENAMHI, ELECTROPERU, COES, ETC que sirven para alimentar las bases de dato del modelo matemático que se crea en base al sistema WEAP que sirve para realizar el cálculo de los caudales de las subcuencas consideradas a partir de las precipitaciones en la muestra la cuenca del Mantaro.

#### **3.2. Población y muestra**

##### **3.2.1. Población**

La población está constituida por las 200 cuencas a nivel nacional consideradas por la Autoridad Nacional del Agua, tanto en la costa, sierra y selva.

##### **3.2.2. Muestra**

La muestra para la investigación se ha elegido la cuenca del Mantaro la cual será investigada subdividida en subcuencas y por encontrarse un gran potencial de la producción de energía hidroeléctrica.

#### **3.3. Operacionalización de Variables**

La Operacionalización de las variables independientes como dependientes se muestran en la

Tabla N° 1.

Tabla 1. *Operacionalización de variables: represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la central hidroeléctrica Mantaro*

Variable	Tipo de Variable	Definición	Dimensión	Indicador
Variable Independiente. Represamientos en la cuenca del Mantaro	Cuantitativa	Modelo hidrológico de la cuenca del Mantaro	1. Planeación del cálculo de caudales.	Precipitación (mm) Temperatura(°C) Velocidad de Viento (m/s) Humedad Relativa (%)
	Cuantitativa	Reglas de operación de las represas Malpaso y Upamayo	2. Operación actual de represas Malpaso y Upamayo	Ingreso de Caudales No regulados (m3/s) Salida de Caudales Regulados (m3/s) Volúmenes Almacenados (MM3) Volúmenes Evaporados (MM3)
	Cuantitativa	Capacidad hidrológica de un reservorio futuro	3. Picos secuenciales.	Ingreso de Caudales No regulados (m3/s) Salida de Caudales Regulados (m3/s) Volúmenes Almacenados (MM3)
	Cuantitativa	Modelo de operación en conjunto para probar la influencia en la regulación de las represas	Utilización de Sistema WEAP	Ingreso de Caudales No regulados (m3/s) Salida de Caudales Regulados (m3/s) Volúmenes Almacenados (MM3) Volúmenes Evaporados (MM3)
	Cuantitativa	Corrida de simulación en el sistema de modelación WEAP	Escenarios de Operación	Demanda Planteada Demanda Satisfecha Demanda Insatisfecha

Tabla 2. *Operacionalización de variables: represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad de agua regulada en la central hidroeléctrica Mantaro*

Variable	Tipo de Variable	Definición	Dimensión	Indicador
Variable Dependiente	Cuantitativa	Volumen de almacenamiento Actual	Funcionamiento Actual de represamientos	Demandas Satisfechas Actuales
Disponibilidad de agua regulada		Volumen de almacenamiento Futuro	Funcionamiento Futuro de represamiento	Demandas Satisfechas Futuras

### 3.4. Ubicación Geográfica

El área de estudio, geográficamente se ubica entre los 10° 30' a 13° 30' de Latitud Sur y entre los 74° 00' a 76° 30' de Longitud Oeste, abarcando los departamentos de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho, ocupando las provincias de Pasco, Junín, Yauli, Jauja, Concepción, Huancayo, Tayacaja, Huancavelica, Acobamba, Angaraes, Huanta y Huamanga.

El río Mantaro se origina en el Lago Junín, a una altitud de 4080 msnm, recorriendo 735 kilómetros hasta su confluencia con el río Apurímac, a 480 msnm, dando origen en este punto al río Ene. En la Figura N°01 se muestra el Mapa Base de la Cuenca del río Mantaro.



*Figura 1.* Ubicación del área en estudio.  
Fuente: Google Earth.

### **3.5. Instrumentos**

El área en estudio es la cuenca del Mantaro será delimitada a partir del Punto Tablachaca para la elaboración y evaluación del modelo hidrológico a través de la utilización del Water Evaluation And Planning (WEAP) desarrollada por el Instituto de Investigación de Estocolmo.

#### **3.5.1. Información de los datos meteorológicos, uso del suelo, datos hidrométricos, embalses y centrales hidroeléctricas:**

Datos meteorológicos: Bases de datos existentes

Información de los registros de precipitaciones mensuales del período histórico (1981 - 2004) de 18 estaciones ubicadas a los alrededores y dentro de la zona de estudio, que serán obtenidas de un estudio realizado por ELECTROPERU. e información brindada por el ANA (Autoridad Nacional del Agua).

Información de las temperaturas máximas y mínimas que serán obtenidas gracias a un estudio realizado por el CONAM (Consejo Nacional del Ambiente) y el Instituto Geofísico del Perú.

Información del viento que será obtenida gracias a un estudio elaborado por CESEL S.A. en base a información del SENAMHI.

Información de la humedad relativa que será obtenida gracias a un estudio elaborado por el ANA (Autoridad Nacional del Agua).

Uso del suelo:

Información sobre las áreas del suelo según su uso: tundra, planicie costera, nevados, matorrales, cultivos y cuerpos de agua.

Datos hidrométricos:

Información de caudales observados que serán obtenidos de un estudio realizado por el ANA (Autoridad Nacional del Agua) y ELECTROPERU.

### 3.5.2. Análisis de Datos

#### Calibración hidrológica del Modelo WEAP

De acuerdo a Yates (Yates, 2005), el sistema de modelación hidrológica WEAP computa el balance hídrico en cada una de las  $j$  de  $N$  áreas fraccionales en la que es dividido cada catchment por su tipo de cobertura, las cuales son denominadas sub catchment, donde el clima es asumido uniforme. A su vez, cada sub catchment de la cuenca se divide en dos almacenamientos o "baldes" en los que se aplican las siguientes ecuaciones de balance de masa.

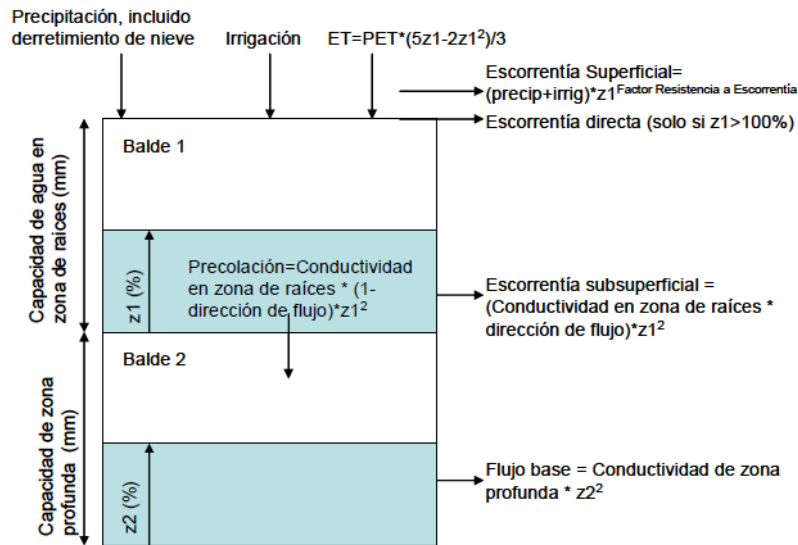


Figura 2. Elementos hidrológicos modelados por WEAP

Fuente: SEI, 2009

La ecuación de balance hídrico aplicada por WEAP en el "balde" o almacenamiento superior es la siguiente:

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t) \left( \frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3} \right) - P_e(t)z_{1,j} \frac{RRF_j}{2} - f_j k_s z_{1,j}^2 - (1 - f_j) k_s z_{1,j}^2$$

Donde,  $z_{1,j}$  representa el almacenamiento relativo del suelo (adimensional, entre 0 y 1);  $Sw_j$  es la capacidad de retención del suelo (mm);  $P_e$  es la precipitación efectiva computada por el modelo (mm);  $PET$  es el valor de la evapotranspiración de referencia obtenida por el método de Penman-Montieth (mm/día);  $k_{c,j}$  es el coeficiente del cultivo para cada tipo de cobertura

(adimensional);  $RRF$  es el factor de resistencia a la escorrentía;  $k_j$  es la conductividad del almacenamiento superior (mm/tiempo) y  $f_j$  es un parámetro de ajuste adimensional relacionado al suelo, tipo de cobertura y topografía, que divide el agua horizontal ( $f_j$ ) o verticalmente ( $1 - f_j$ ), denominado dirección preferencial de flujo.

En lo que respecta al balance de masa del almacenamiento o "balde" inferior, este vendrá dado por la siguiente ecuación:

$$Dw \frac{dz_{2,j}}{dt} = (1 - f_j)k_j z_{1,j}^2 - k_2 z_{2,j}^2$$

Donde  $k_2$  representa la conductividad de la zona profunda (mm/tiempo), mientras  $Dw$  es la capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda (mm) y  $z_{2,j}$  representa el almacenamiento relativo en la zona profunda (adimensional, entre 0 y 1)

Así, para que WEAP compute estas ecuaciones, fue necesario asignar y ajustar manualmente los 9 parámetros de las ecuaciones mencionadas: coeficiente de cultivo ( $k_{c,j}$ ); capacidad de retención del suelo ( $Sw_j$ ); capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda ( $Dw$ ); factor de resistencia a la escorrentía ( $RRF$ ); conductividad del almacenamiento superior ( $k_j$ ); dirección preferencial de flujo ( $f_j$ ); nivel inicial de humedad en la zona de raíces y la zona profunda ( $z_{1,j}$ ;  $z_{2,j}$ ) y la conductividad de la zona profunda ( $k_2$ ).

### Calibración

El período de calibración abarcará un período de 24 años, entre enero de 1981 y diciembre de 2004. Luego del ajuste de los parámetros del modelo se realizarán comparaciones entre las series de datos de caudales observados y simulados en un punto específico del modelo. En base a esas comparaciones se realizarán medidas estadísticas para estimar la precisión del modelo. Las funciones objetivo-empleadas, pruebas estadísticas y los criterios asociados a estas, se mencionan

a continuación:

#### Bias Normalizado (NBIAS)

Un menor porcentaje de bias revelará una mejor correspondencia entre datos observados y simulados. Un bias positivo indicará sobreestimación y uno negativo subestimación de caudales. En general, un valor de NBI menor al 15 por ciento denotará un ajuste satisfactorio (Moriasi et al., 2007)

$$NBIAS = \frac{100}{\bar{Q}_o} (\bar{Q}_s - \bar{Q}_o)$$

#### Error Cuadrático Medio Normalizado (NRMSE)

Se deberá procurar obtener el menor valor posible de este indicador. Debido a su forma cuadrática, este criterio será más sensitivo a grandes errores.

$$NRMSE = \frac{100}{\bar{Q}_o} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_s(i) - Q_o(i))^2}{n}}$$

#### Coefficiente de Eficiencia o de Nash-Sutcliffe (NSE)

Entre más cerca de 1, mejor será la correspondencia entre datos observados y simulados. De acuerdo al criterio de Molnar P. (2011), valores de  $0.6 < NSE < 0.8$  son catalogados como muy buenos, mientras que  $NSE > 0.8$ , son considerados excelentes. (Molnar, 2011)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_s(i) - Q_o(i))^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - \bar{Q}_o)^2}$$

#### Coefficiente de Determinación ( $R^2$ )

Un valor más cercano a 1 revelará un mejor ajuste entre los datos observados y simulados. En general, valores de  $R^2 > 0.5$  son considerados como aceptables. (Moriasi, 2007)

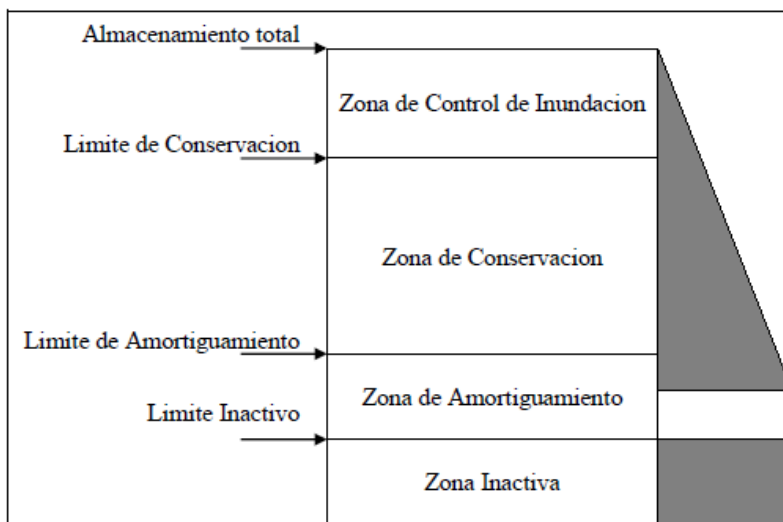
$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - \bar{Q}_o)(Q_s(i) - \bar{Q}_s)]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_o(i) - \bar{Q}_o)^2 \sum_{i=1}^n (Q_s(i) - \bar{Q}_s)^2}$$

Dónde, para todas las expresiones anteriores,  $Q_o(i)$  y  $Q_s(i)$  son la descarga observada y simulada para el intervalo de tiempo  $i$ ; mientras que  $n$  representa el número de observaciones y  $Q_o$  y  $Q_s$  son las descargas medias para las  $n$  observaciones y simulaciones.

### **3.5.3. Calibración de los Represamientos**

Para el caso de la calibración de la operación de embalses se debe tener en cuenta, si es que fuera un elemento importante, la producción hidroeléctrica. En la calibración de la operación de los embalses es necesario considerar dos factores relevantes. Primero hay que considerar cual es el objetivo de operación del embalse que incide en la descarga de agua por las turbinas y segundo hay que considerar si existe alguna regla de operación asociada al mantenimiento de niveles de agua embalsados para operar en periodos de déficit hídrico.

La representación de embalses en WEAP está dividida en cuatro zonas (Figura 3). Estas incluyen desde arriba hasta abajo, la zona de control de inundación, la zona de conservación, la zona de amortiguamiento y la zona inactiva. Las zonas de conservación y amortiguamiento constituyen el agua disponible para su manejo. Una vez el nivel de almacenamiento baje hasta la zona de amortiguamiento, la liberación de agua estará controlada de acuerdo con el coeficiente de amortiguamiento. El agua de la zona inactiva no está disponible. (SEI, 2009)



*Figura 3. Zonas de almacenamiento*  
Fuente: SEI, 2009

#### **3.5.4. Simulación del modelo ante la presencia de la presa Puente Stuart**

Al tener ya calibrado el modelo hidrológico con las presas Upamayo y Malpaso, se evaluarán los resultados que se obtengan al colocar la presa Puente Stuart con su respectiva información y así se podrá estimar el caudal regulado que habría si existiese esta presa.

Además, con lo ya mencionado se podrá determinar si esto ayudaría o no al almacenamiento de la presa Tablachaca y si se mejoraría el caudal regulado de salida de esta para la producción de energía de la Central Hidroeléctrica del Mantaro.

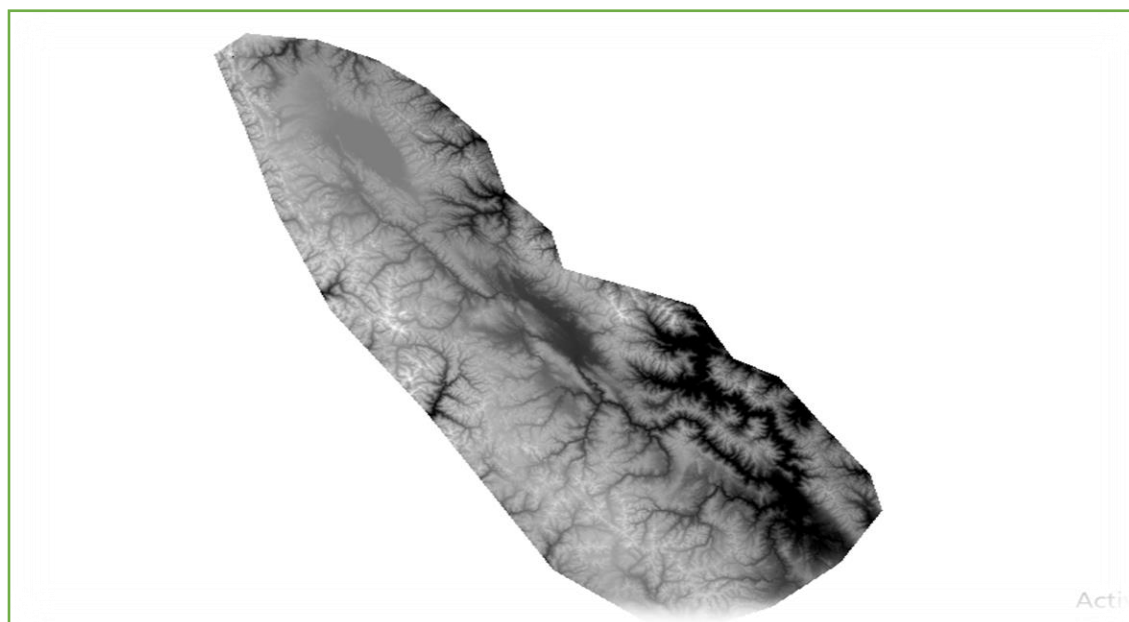
## IV. RESULTADOS

### **4.1. Modelo Hidrológico de la cuenca del Mantaro para generar los caudales promedios mensuales no regulados en las subcuencas comprendidas hasta Tablachaca**

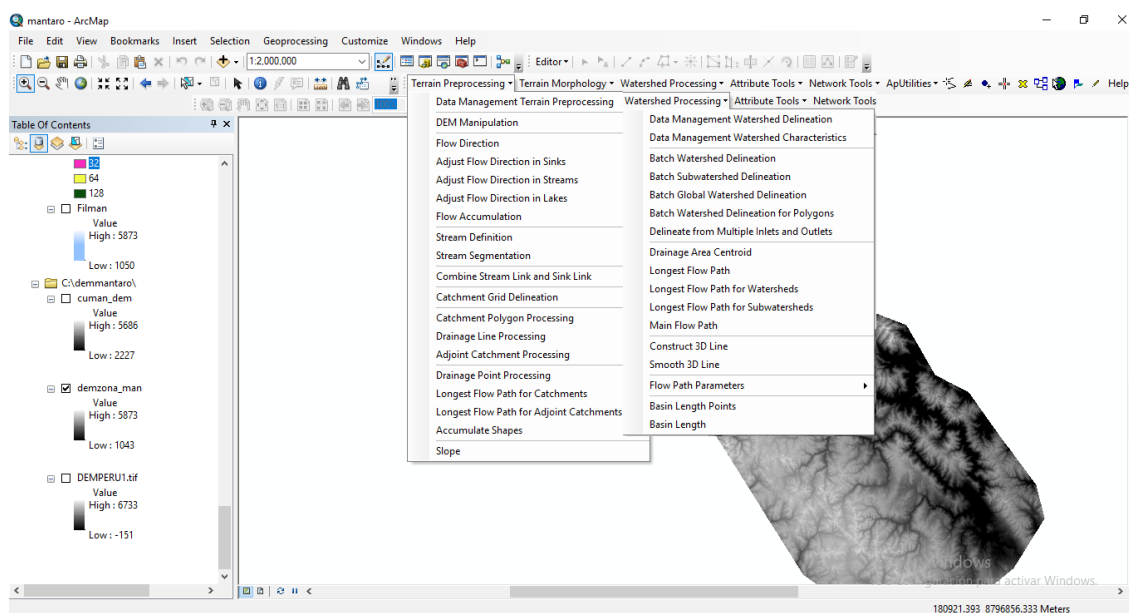
Para la presente tesis se eligió el sistema informático Wáter Evaluación and Planificación (WEAP) para realizar el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Mantaro y obtener la oferta hídrica en el punto de interés Represa de Tablachaca, que es lugar donde se capta los caudales para la generación de la energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas del Mantaro (Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución) que funcionan en serie lo que quiere decir que el agua ingresa primero a la Antúnez de Mayolo y lo que sale ingresa a Restitución y luego este caudal regresa a cauce del río Mantaro y que sigue su trayecto para confluenciar con el río Apurímac y formar el río ENE.

#### **4.1.1. Definición del esquema topológico**

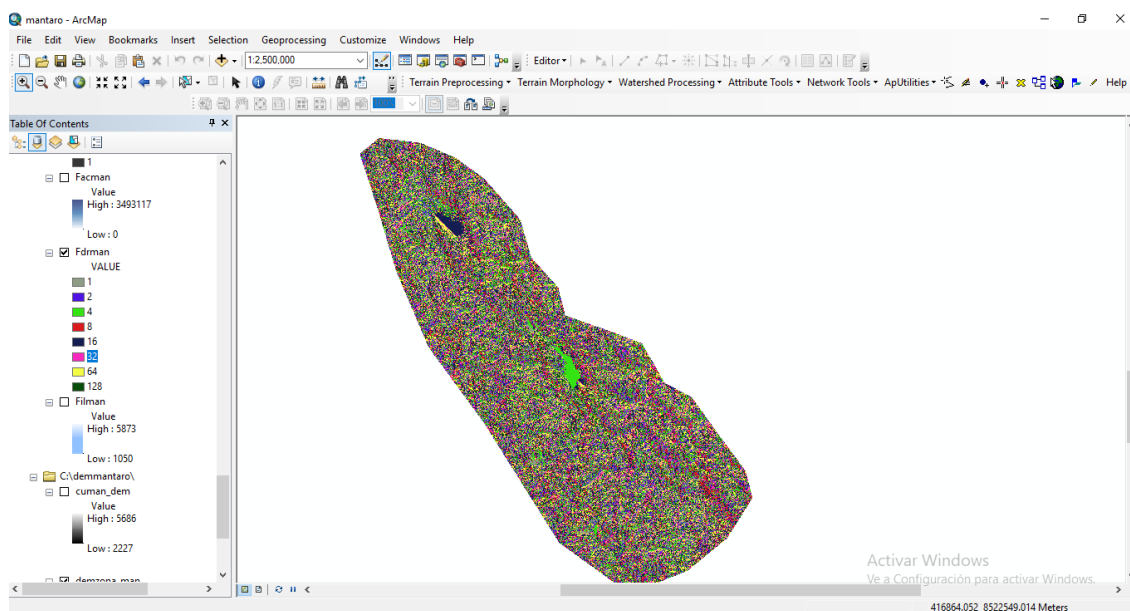
Para realizar esto se definió los límites geográficos y temporales en función a la necesidad tomando en cuenta la salida en Tablachaca, se utilizó el sistema informático ArcGIS ver 10.5 con el procedimiento ArcHydro, tomando como base la el Modelo de elevación Digital del Perú obtenido de la base de datos del MINAM del cual se extracto un DEM para la zona del río Mantaro tal como se muestra en la figura 4.1, luego se realizó los procesamiento de consistencia del DEM, luego la determinación de las direcciones de flujo, la acumulación de flujos, definición de los ríos, segmentación de los ríos, delineación de la red de subcuencas de Captación ( Catchament Grid), luego determinar los polígonos de las subcuencas y la polilínea de la red de los ríos finalmente delimitar la cuenca con un punto en Tablachaca y a través de un procedimiento de geoprociamiento obtener la cuenca con sus subcuencas y ríos hasta Tablachaca todo el procedimiento se muestra en las figuras desde la 4 hasta la 11



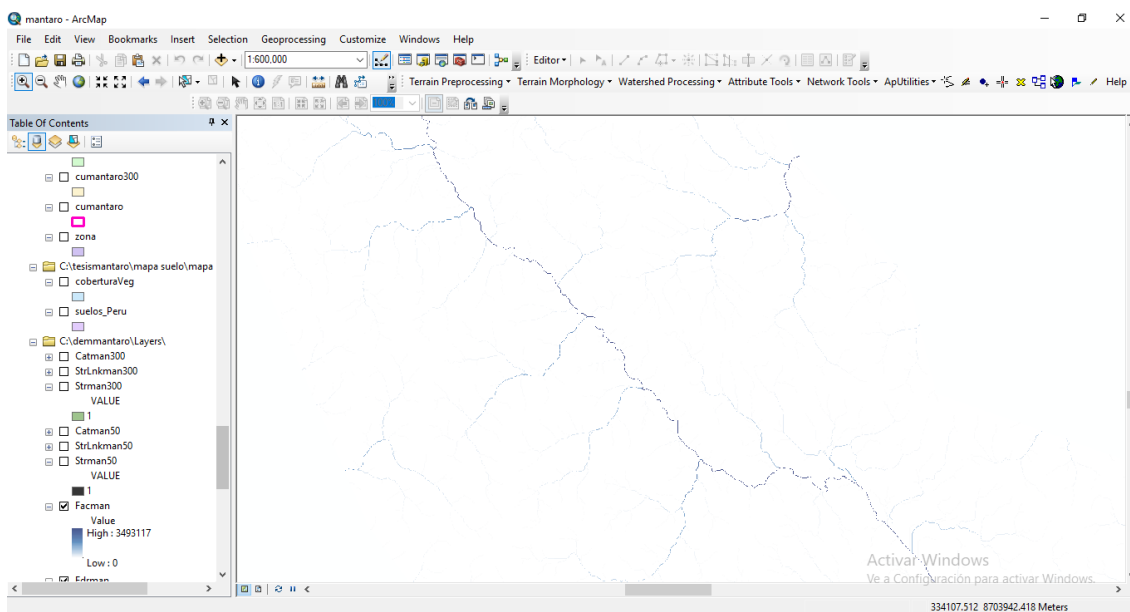
*Figura 4.* Modelo de Elevación Digital de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.  
Fuente: Elaboración Propia.



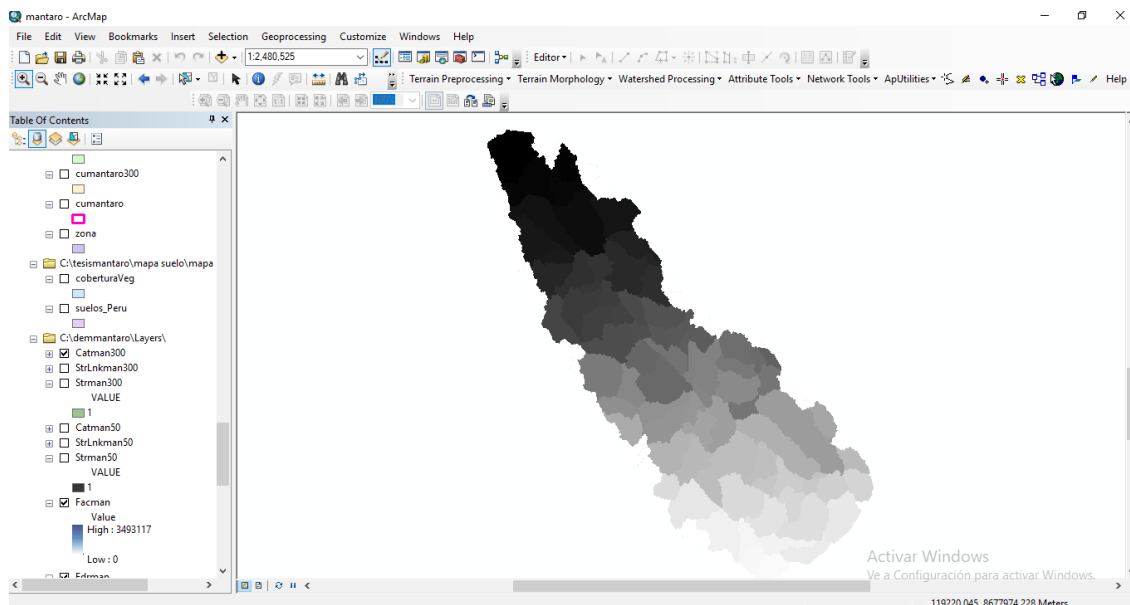
*Figura 5.* Procesos para la delimitación de la cuenca a partir Modelo de Elevación Digital de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.  
Fuente: Elaboración Propia.



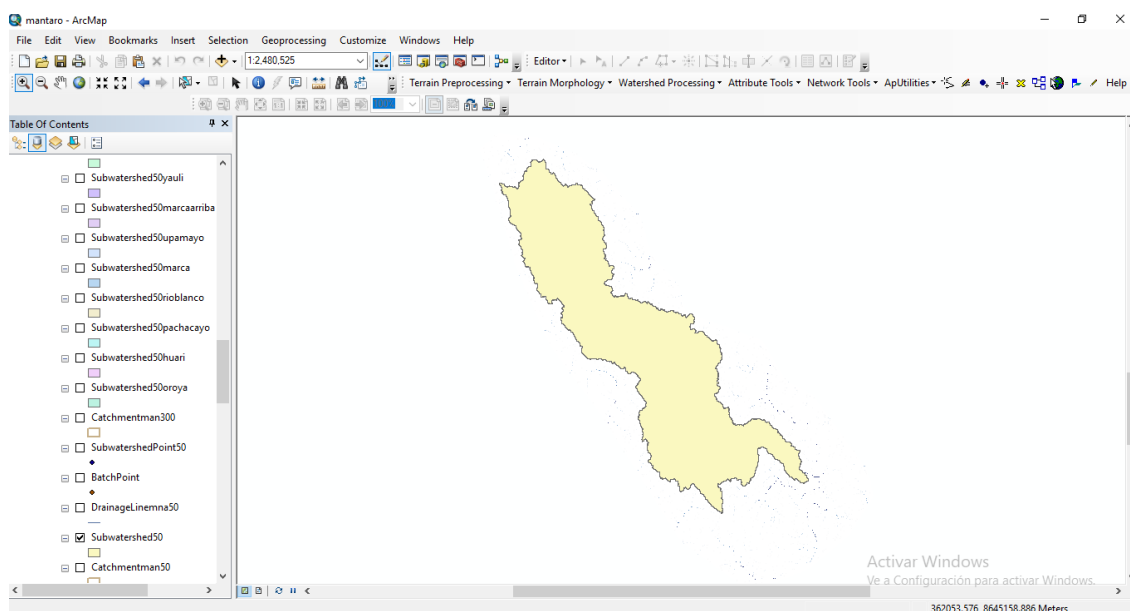
*Figura 6.* Proceso de terminación de las ocho direcciones de flujos de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.  
Fuente: Elaboración Propia.



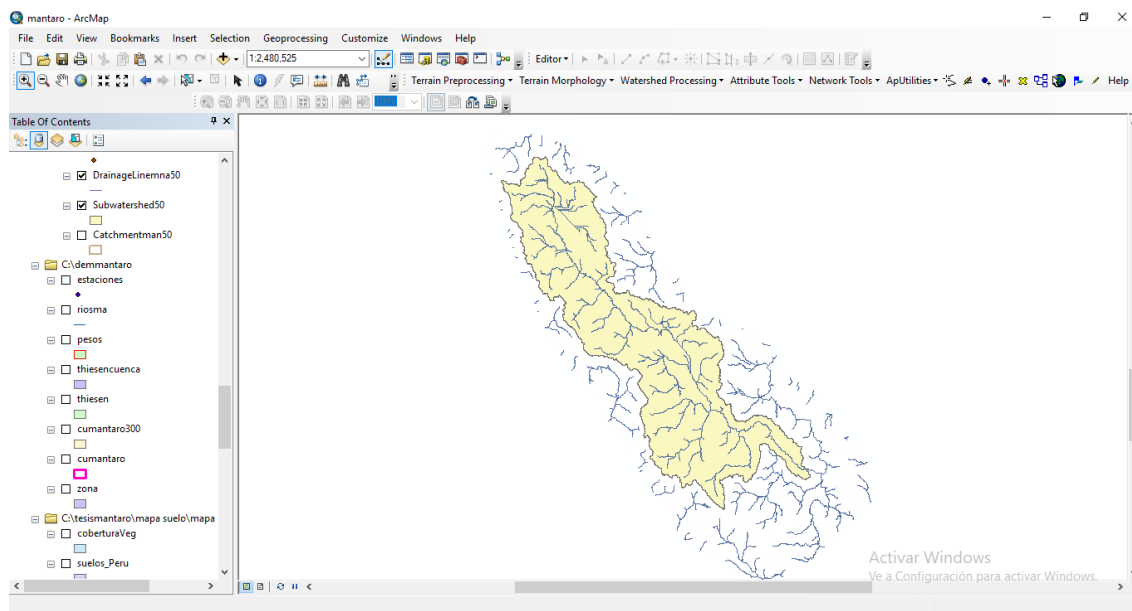
*Figura 7.* Procesos la acumulación de flujos de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.  
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 8.* Procesos de delineación de la red de subcuencas de Captación (Catchment Grid) zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.  
Fuente: Elaboración Propia.

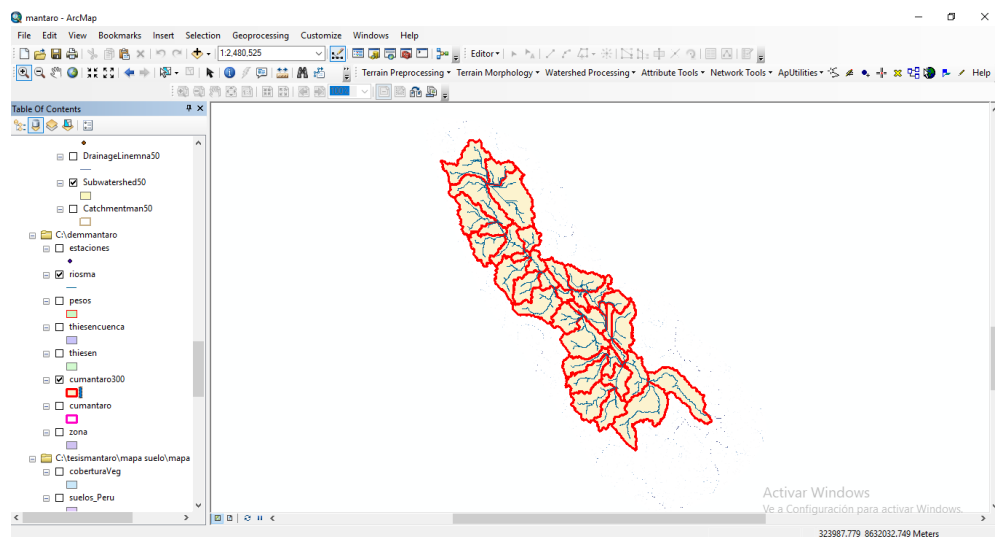


*Figura 9.* Procesos para determinar los polígonos de las subcuencas zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.  
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 10.* Drenaje de la cuenca o polilínea de la red de los ríos zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.

Fuente: Elaboración Propia.



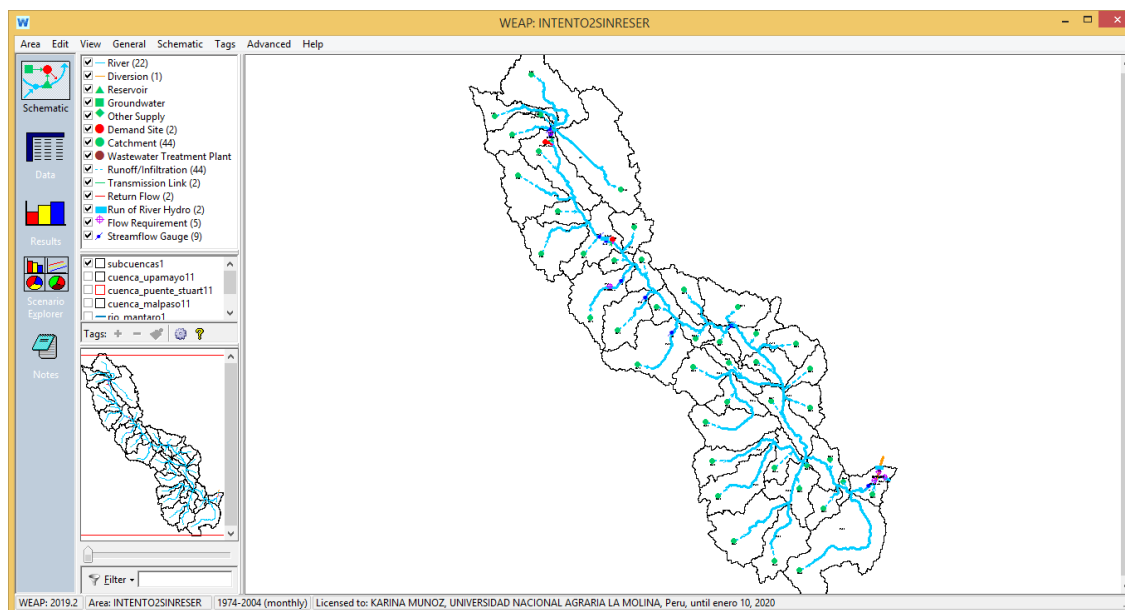
*Figura 11.* Proceso de corte de la cuenca con sus subcuencas y ríos de la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.

Fuente: Elaboración Propia.

#### **4.1.2. Construcción del Modelo Hidrológico WEAP**

Delimitado la cuenca tal como se ha descrito en el acápite anterior se procedió a utilizar el sistema WEAP tomando en referencia el mapa de la cuenca hasta Tablachaca con sus respectivas

subcuencas y cauces de los ríos correspondientes se creó el modelo matemático utilizando las herramientas de los diversos componentes como ríos, derivaciones, reservorios, agua subterránea, demandas, subcuencas, tratamientos de agua, escorrentía/infiltración, canales de conducción, flujo de retorno, centrales requerido, y estaciones de aforo, tal como se muestra en la Figura 12



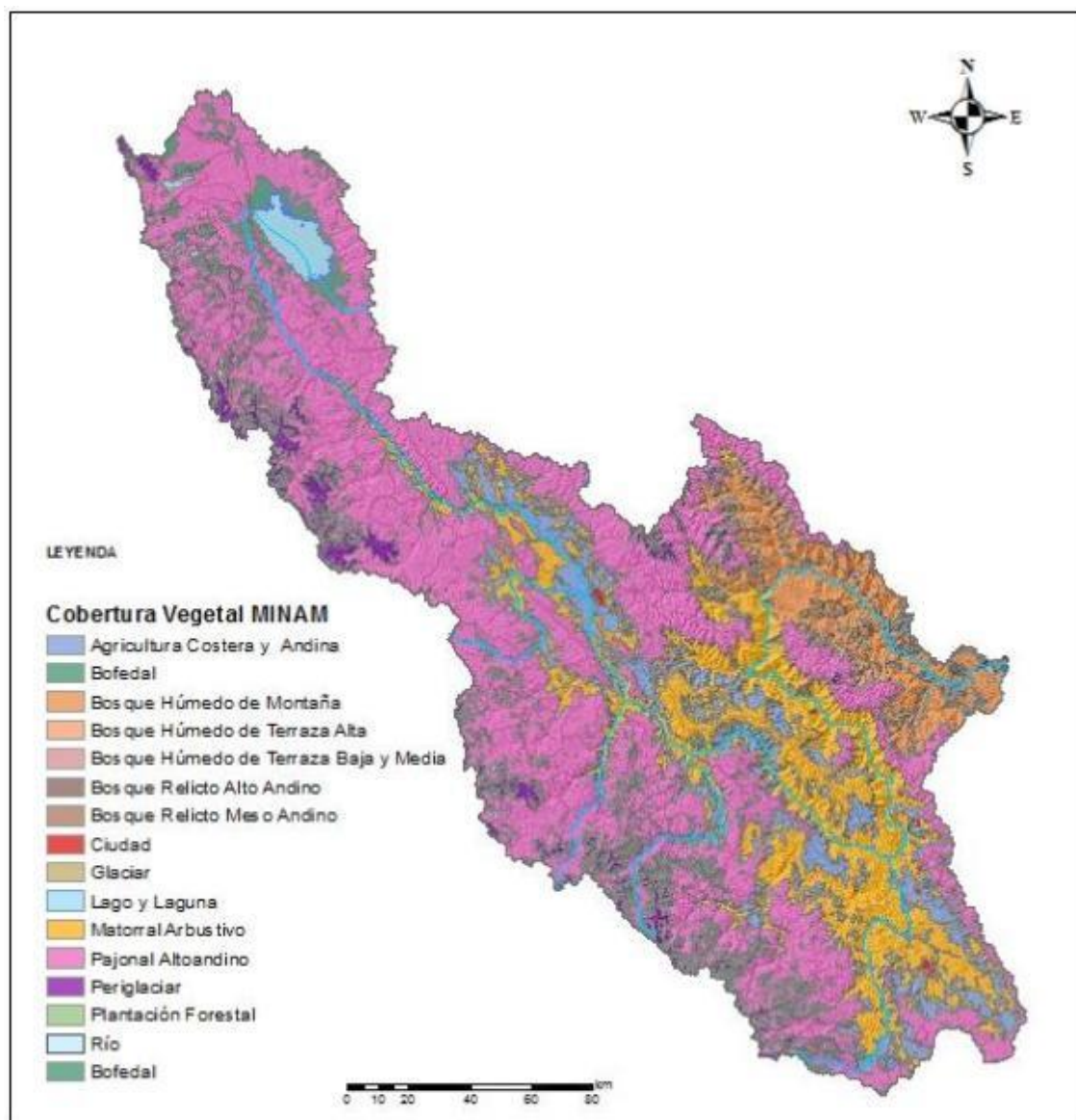
*Figura 12.* Esquema del modelo hidrológico para la cuenca del río Mantaro hasta Tablachaca  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.1.3. Determinación de las áreas por subcuencas

Utilizando el sistema ArcGIS Se realizó la intersección de los mapas de subcuencas, mapa de suelos y el mapa de coberturas y estas áreas son alimentadas a la base del modelo establecido dichos mapas se muestran en las Figuras 4.8, 4.10 y 4.11

#### Mapa de Cobertura Vegetal

En la Figura N° 13 se muestra el mapa de cobertura vegetal de la cuenca del río Mantaro este mapa ha sido elaborado por el Minam y nos ha servido para determinar los coeficientes que alimentaron el modelo hidrológico según sus áreas.



*Figura 13.* Distribución de la cobertura vegetal. Fuente de los datos: MINAM.

### Mapa de suelos

En la Figura N° 14 se muestra el mapa de suelos de la cuenca del río Mantaro este mapa ha sido elaborado por el ANA y nos ha servido para determinar los coeficientes que alimentaron el modelo hidrológico según sus áreas.

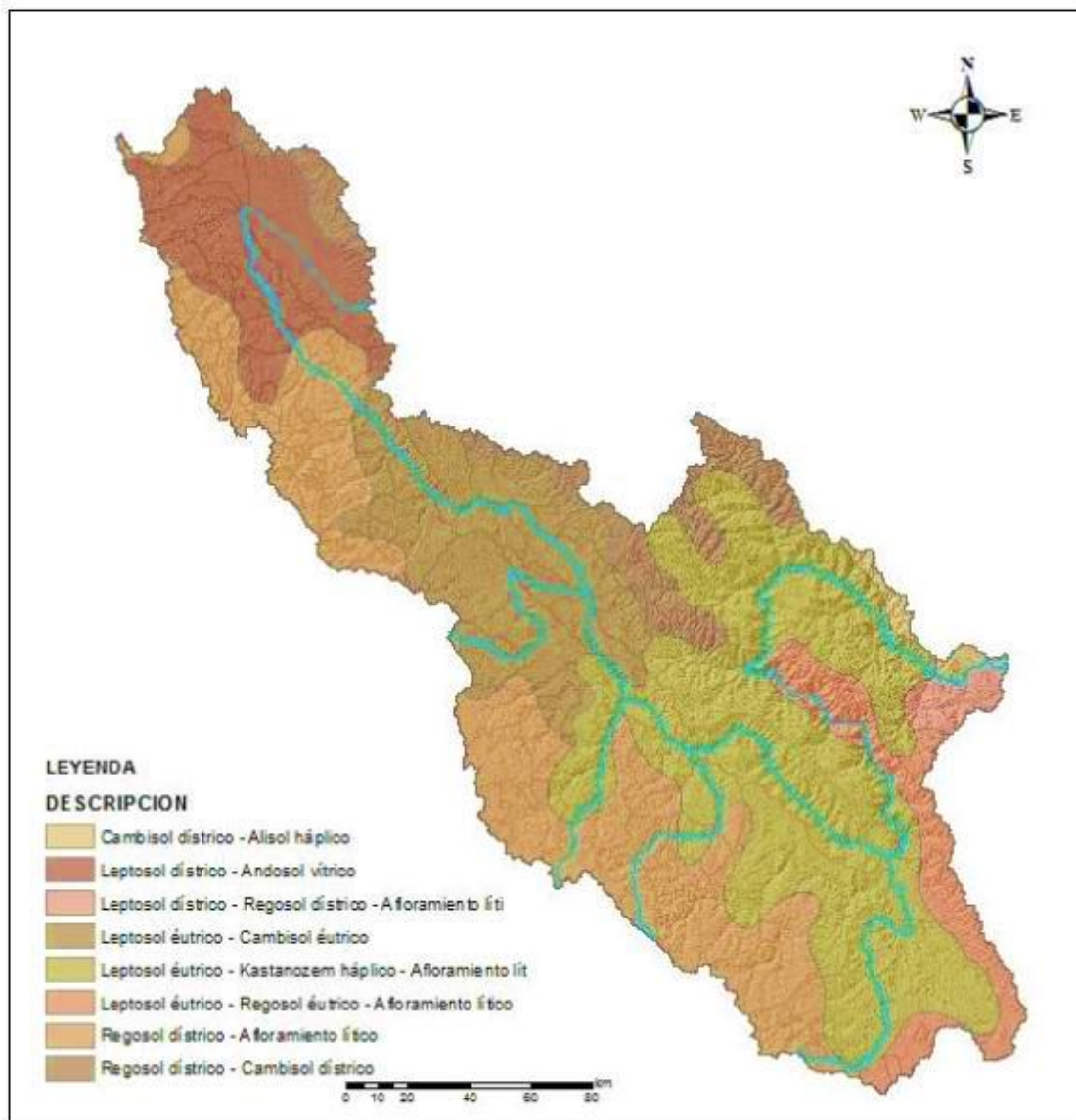


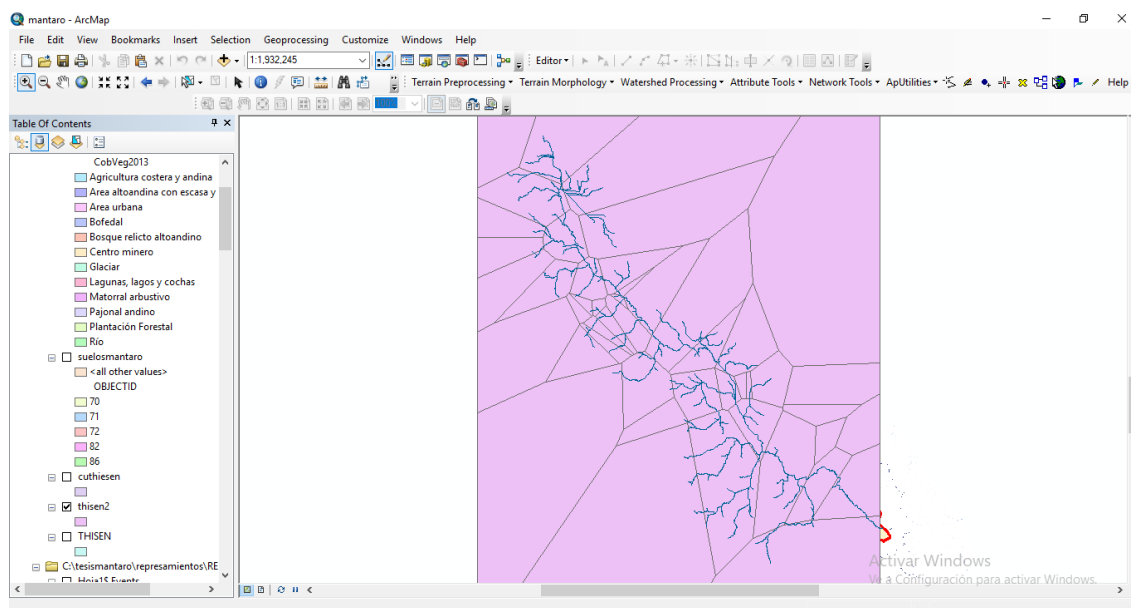
Figura 14. Mapa de suelos de la cuenca a partir de mapas de suelos de todo el Perú obtenida del ANA

Fuente: Elaboración Propia.

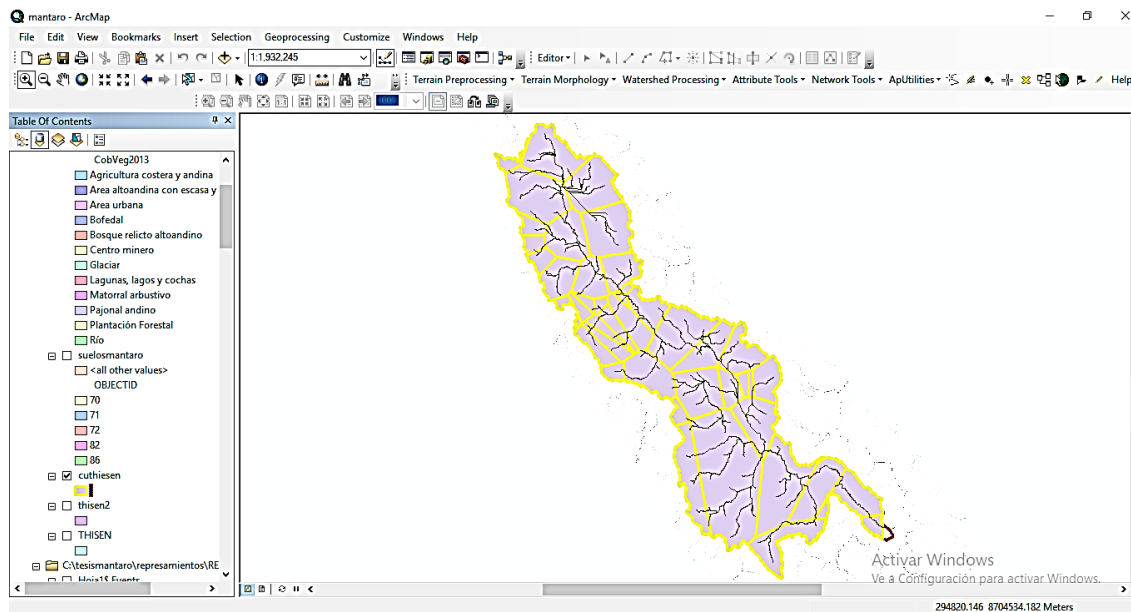
#### 4.1.4. Determinación de las variables climatológicas

(Precipitación, temperaturas, humedad relativa y velocidad de vientos), para cada subcuencas se realizó a partir de la utilización del método de polígonos de Thiessen desarrolladas a partir de la posición de las coordenadas UTM de las estaciones del entorno y dentro de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca utilizando el un procedimiento en ArcGis los cuales son mostrados en las Figuras N.º 15 y N.º 16 que sirvió para hallar los pesos para la ponderación de estas variables

para cada subcuena del modelo hidrológico considerado.



*Figura 15. Polígonos de Thiessen con las estaciones de precipitación en la zona de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.*



*Figura 16. Polígonos de Thiessen con estaciones de precipitación que tienen influencia dentro de la cuenca del Mantaro hasta Tablachaca.*

Tabla 3. Áreas de los polígonos de las subcuencas intersecadas con los polígonos de Thiessen de la cuenca del Mantaro para pesos de estación

FID	Shape *	Id	Input_FID	áreas	perímetros	x	y
0	Polygon	0	37	633.847334	126.912287	518106.256854	8607491.03697
1	Polygon	0	28	734.027699	106.342612	445431.27648	8667553.73373
2	Polygon	0	46	131.175063	55.160194	393256.182194	8679916.12191
3	Polygon	0	5	636.721771	95.997681	364751.323799	8762419.63302
4	Polygon	0	12	366.266183	109.934461	413684.968132	8718247.7015
5	Polygon	0	0	607.946616	166.711915	354297.382295	8612545.72736
6	Polygon	0	41	754.034391	286.615477	507053.728571	8577471.56797
7	Polygon	0	38	555.026728	173.05127	540114.1382	8602890.87253
8	Polygon	0	36	6.967707	15.113363	519498.216953	8625641.96918
9	Polygon	0	35	1256.771225	190.782888	495176.672378	8609660.821
10	Polygon	0	29	356.760344	95.470388	487058.221264	8674841.34186
11	Polygon	0	48	684.030146	215.570336	448691.451632	8614739.63453
12	Polygon	0	47	112.945907	60.288579	433094.07745	8654209.15515
13	Polygon	0	42	603.089518	119.397492	415352.134405	8678245.49466
14	Polygon	0	32	2652.092408	241.827403	463165.057226	8615752.46752
15	Polygon	0	31	644.813408	123.492117	480948.35296	8649247.50658
16	Polygon	0	30	87.049737	42.493599	473029.637947	8672362.07721
17	Polygon	0	27	250.962389	67.82392	464.135.126221	8669736.536
18	Polygon	0	26	49.514648	39.07565	477491.081113	8671597.66666
19	Polygon	0	24	502.479902	128.21695	470906.101595	8690962.6447
20	Polygon	0	23	532.54132	115.3218	450238.21457	8660290.42766
21	Polygon	0	22	941.482669	155.834804	433252.398836	8702226.02369
22	Polygon	0	45	163.903543	80.219162	388774.278533	8704840.64074
23	Polygon	0	44	252.234077	97.039233	362315.117408	8695948.0032
24	Polygon	0	43	79.930986	85.259982	364417.76854	8718388.84669
25	Polygon	0	21	193.849348	82.80394	390740.225219	8698621.57526
26	Polygon	0	15	199.096323	80.14185	394759.896672	8707560.8485
27	Polygon	0	19	108.062645	53.759728	372635.025043	8718699.43297
28	Polygon	0	18	71.996116	44.723977	376036.129455	8722375.58828
29	Polygon	0	16	84.076875	33.723997	304565.34556	8720944.96126
30	Polygon	0	14	393.964818	94.390057	403503.45332	8709704.60997
31	Polygon	0	13	37.60119	31.967356	398129.662847	8724826.2283
32	Polygon	0	10	426.925179	97.181479	397061.73852	8741956.86009
33	Polygon	0	9	422.735018	80.490545	379064.874706	8736662.90349
34	Polygon	0	8	442.255963	92.003099	358863.870122	8737386.03875
35	Polygon	0	7	183.462058	62.055588	348205.976446	8748627.26717
36	Polygon	0	6	125.730958	56.084571	344022.531132	8758417.41881
37	Polygon	0	4	159.920201	68.60197	342988.668	8768870.12346
38	Polygon	0	3	812.126805	134.279551	389516.108497	8786540.79137

#### 4.1.5. Alimentación de la información en la base de datos del modelo hidrológico

##### Información en la base de datos de las subcuencas

Para cada subcuenca modelada se tiene un icono a partir del cual nos permitió ingresar a la base de datos con la ayuda de los formularios que se disponen en el sistema WEAP, los parámetros de suelos (área, coeficiente de cultivos, capacidad de agua del suelo, capacidad de agua profunda, factor de la resistencia a la escorrentía, conductividad de la zona radicular, conductividad profunda, dirección preferencial del flujo, z1 inicial y z2 inicial.

Los parámetros climatológicos precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad de viento, fracción de nubosidad, latitud, punto de congelación, punto de fusión, límite inferior de albedo, límite superior de albedo, datos de albedo, nieve inicial, medidor de acumulación de nieve, los cuales son mostrados en las Figuras N.º 17 y N.º 18.

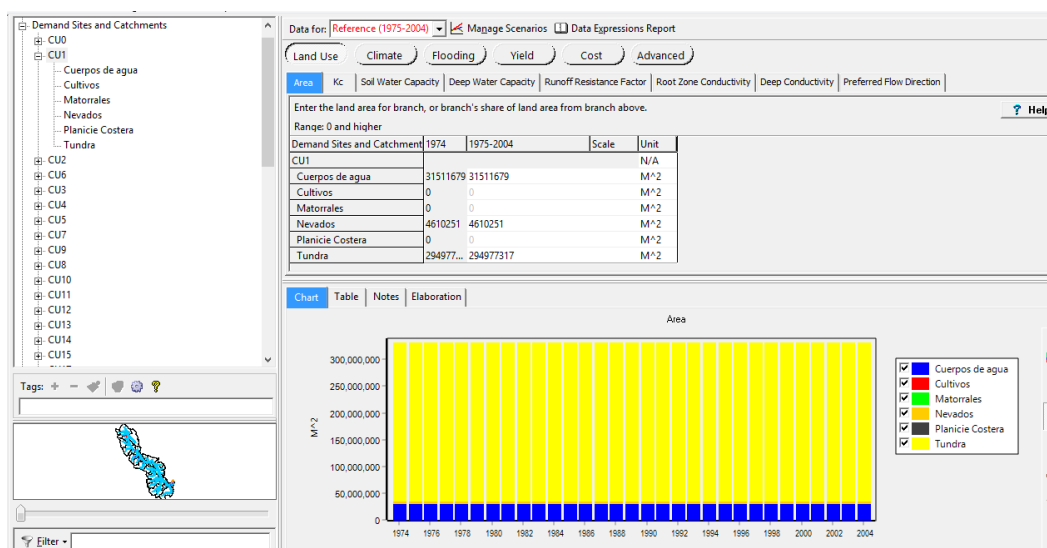


Figura 17. Formulario para el ingreso de información de áreas a cada una de subcuencas del modelo

Fuente: Elaboración Propia.

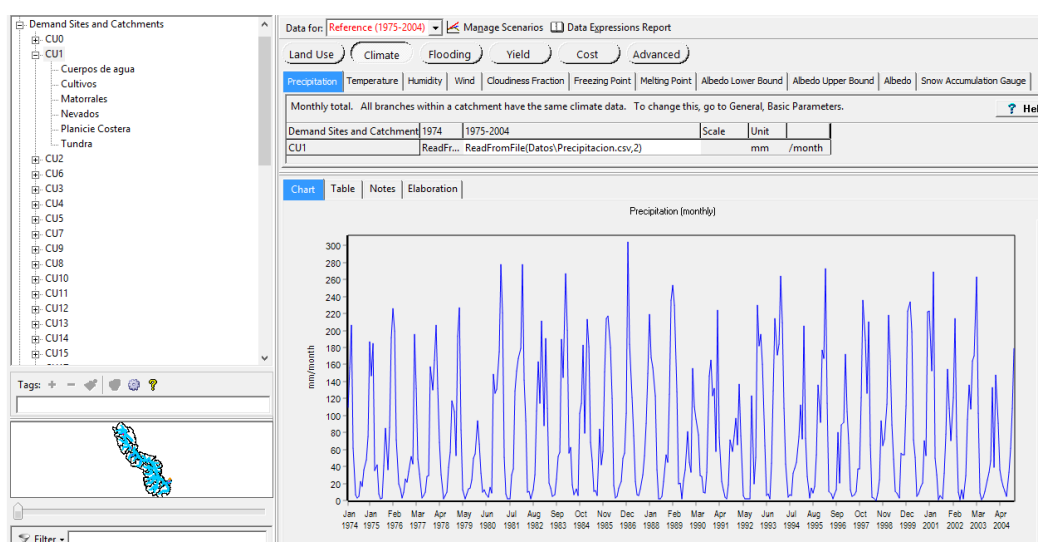


Figura 18. Formulario para el ingreso de información de la climatología a cada una de subcuencas del modelo

Fuente: Elaboración Propia.

### Información en la base de datos de los represamientos

Para cada represamiento del sistema tiene un icono triangular que nos permite ingresar los parámetros físicos y de operación, en los físicos tenemos: capacidad máxima, capacidad mínima, curva altura volumen, evaporación neta, máxima capacidad hidráulica de operación, pérdida al subterráneo, en los de operación; en los de operación tenemos: parte superior de conservación,

parte superior de amortiguamiento, parte superior del volumen inactivo, coeficiente de amortiguamiento, los cuales son mostrados en las Figuras del N.º 19 al N.º 26.

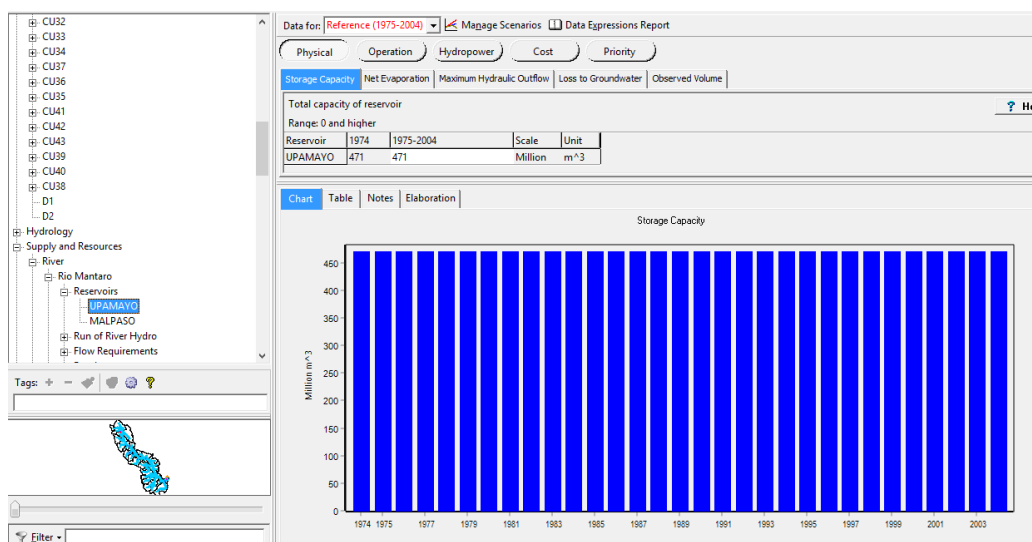


Figura 19. Formulario para el ingreso de información de la capacidad máxima en el tiempo a cada una de represas consideradas en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.

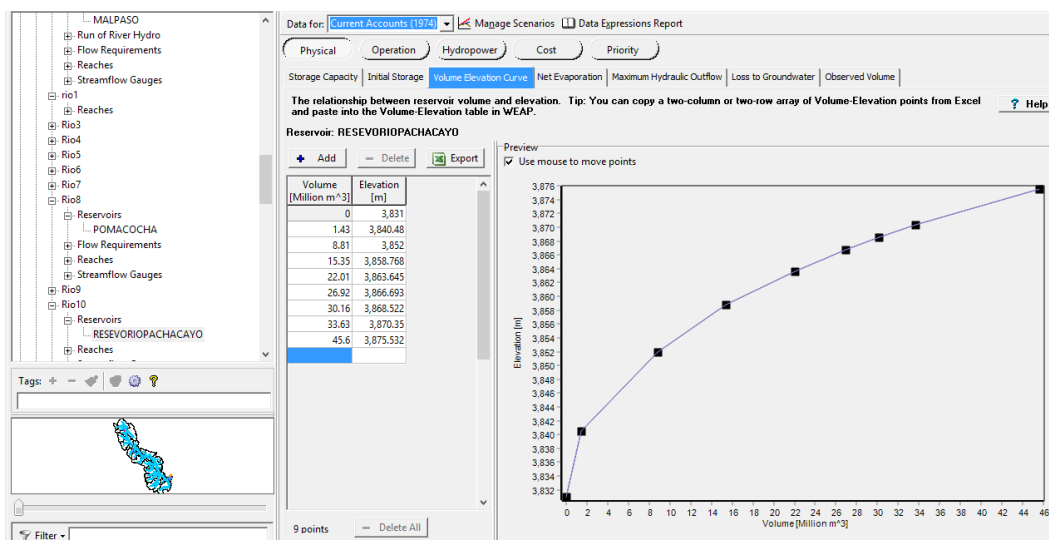


Figura 20. Formulario para el ingreso de información de las curvas de altura - volumen de cada una de represas consideradas en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.

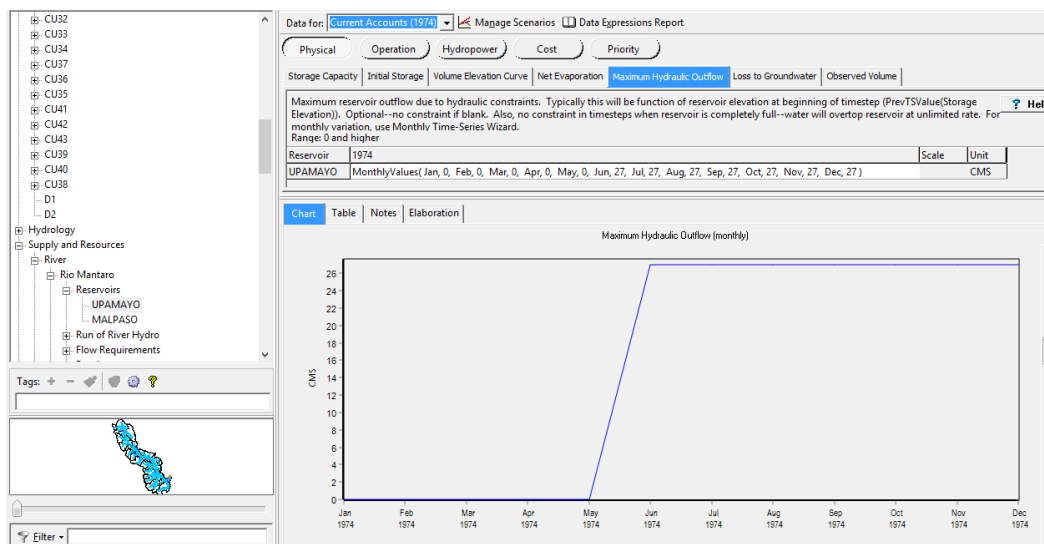


Figura 21. Formulario para el ingreso de información de las reglas de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.

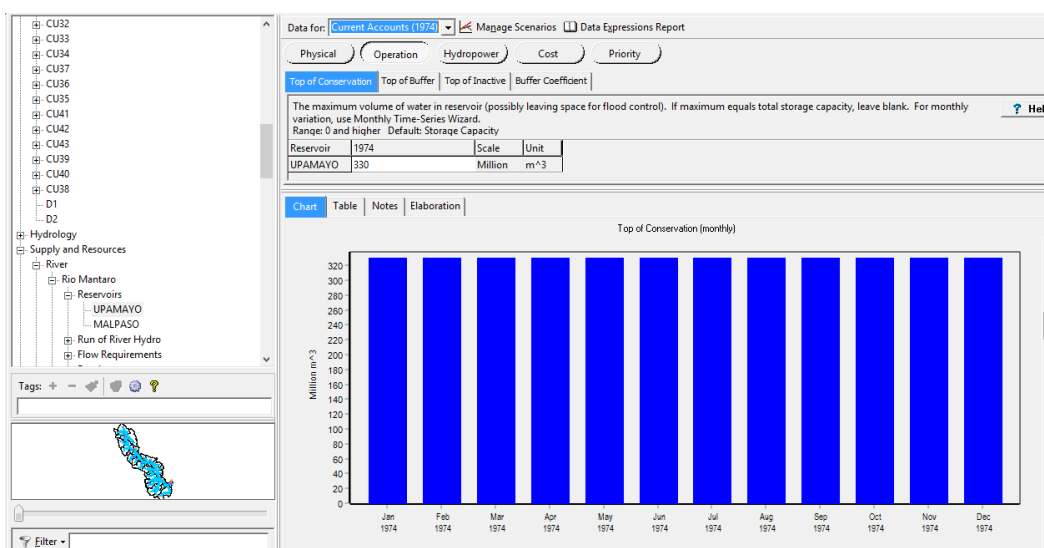
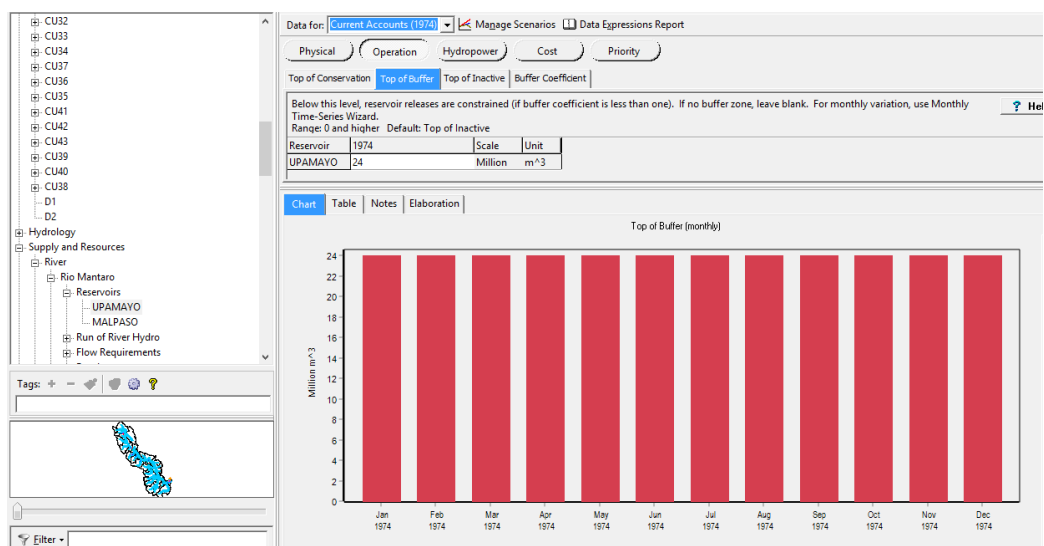
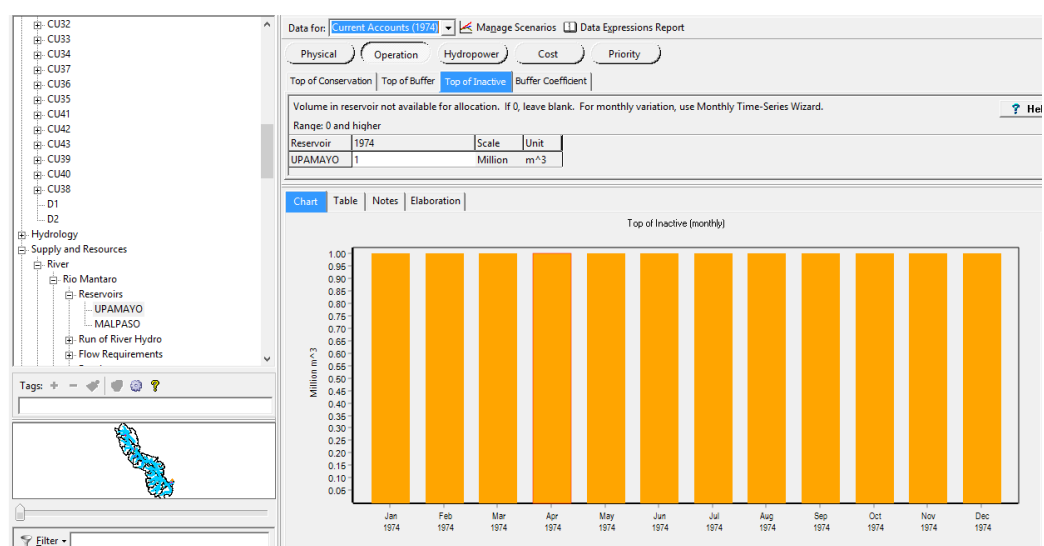


Figura 22. Formulario para el ingreso de información de los niveles tope de conservación en volumen de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 23.** Formulario para el ingreso de información de los niveles tope buffer en volumen de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 24.** Formulario para el ingreso de información de los niveles tope inactivo en volumen de operación de cada uno de los represamientos considerados en el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.

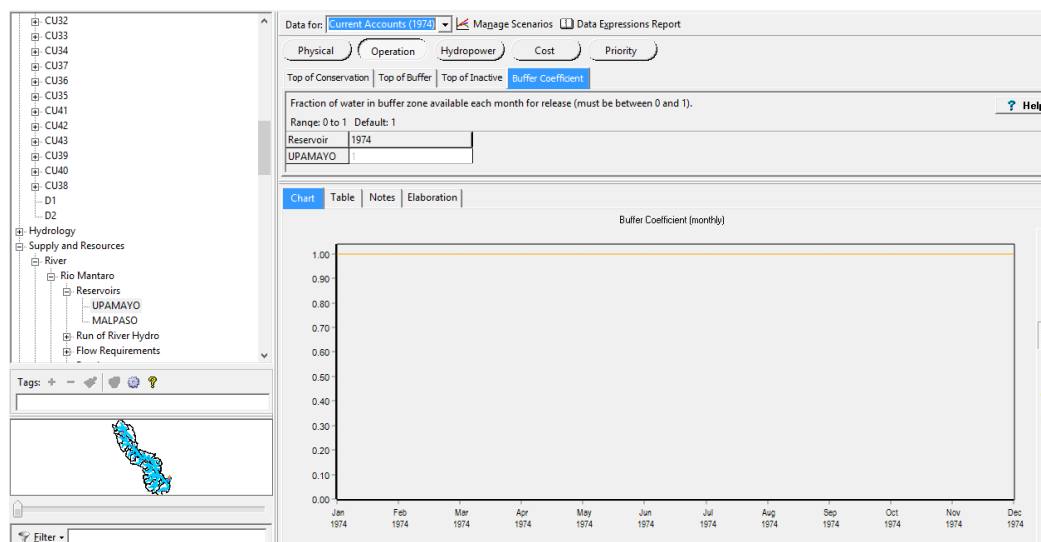


Figura 25. Formulario para el ingreso de información de los coeficientes buffer en fracción entre 0 y 1 para cada uno de los represamientos considerados en el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.

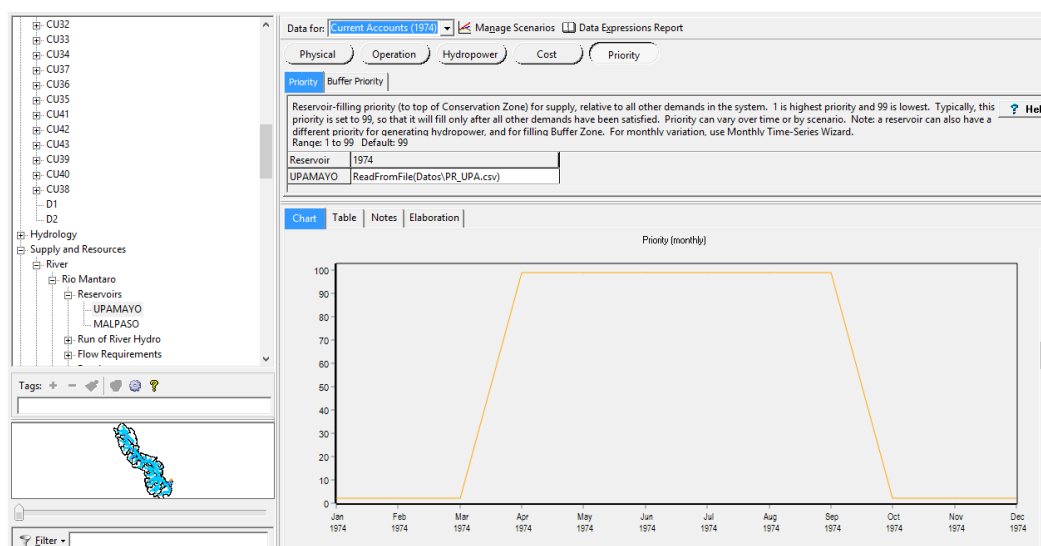
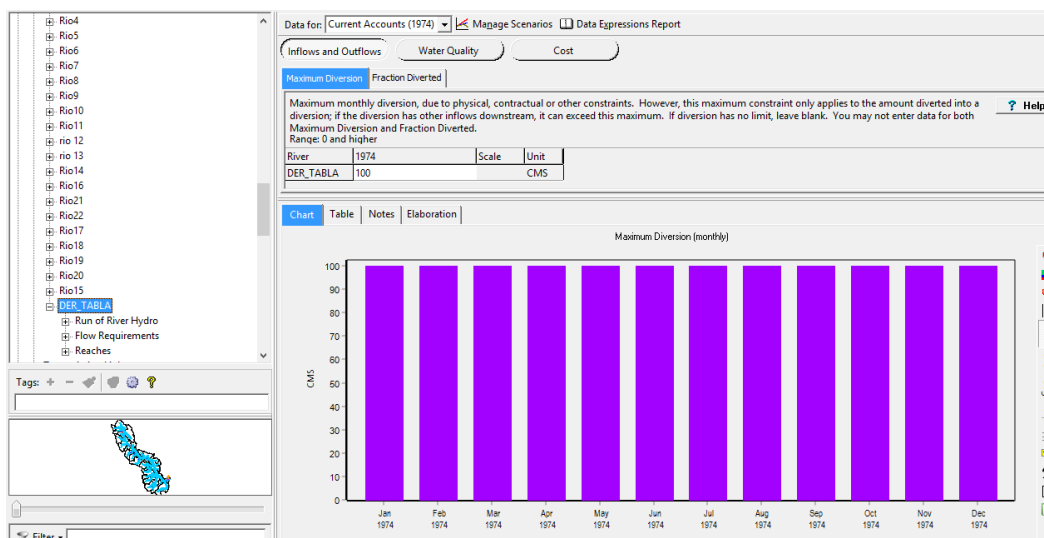


Figura 26. Formulario para el ingreso de información de las prioridades de operación de (1-99) para cada uno de los represamientos considerados en el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.

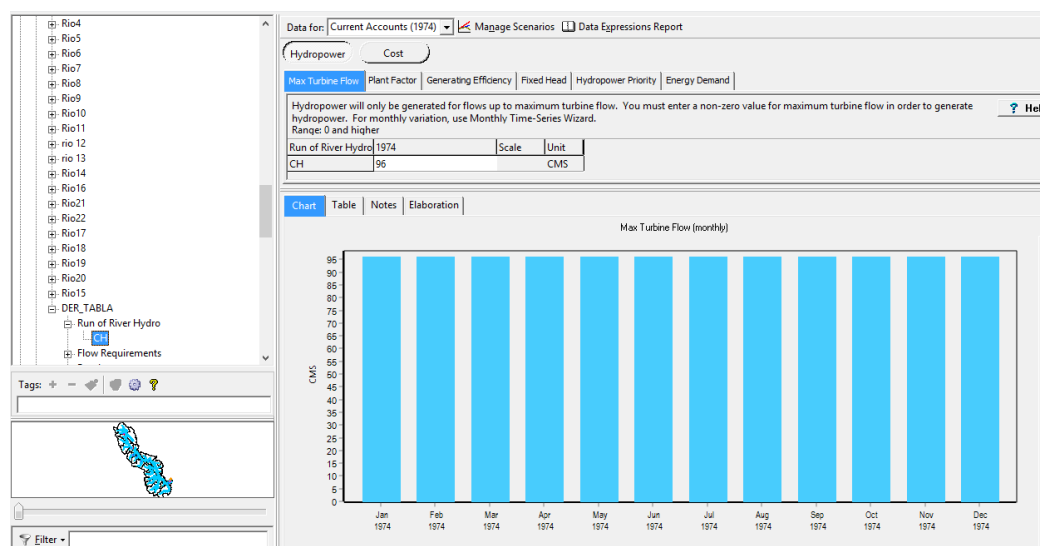
## Demanda de energía por la Central Hidroeléctrica del Mantaro

### Información en la base de datos de la derivación y generación de energía hidroeléctrica

Para cada derivación máxima derivación y generación de energía máximo caudal turbinado, factor de planta, eficiencia en la generación, columna de agua fija, prioridad de generación de energía, demanda de energía, los cuales son mostrados en las Figuras del N.º 27 al N.º 33.



**Figura 27.** Formulario para el ingreso de información de las restricciones de derivación considerados en el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 28.** Formulario para el ingreso de información del caudal máximo turbinables de cada central considerada en el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.

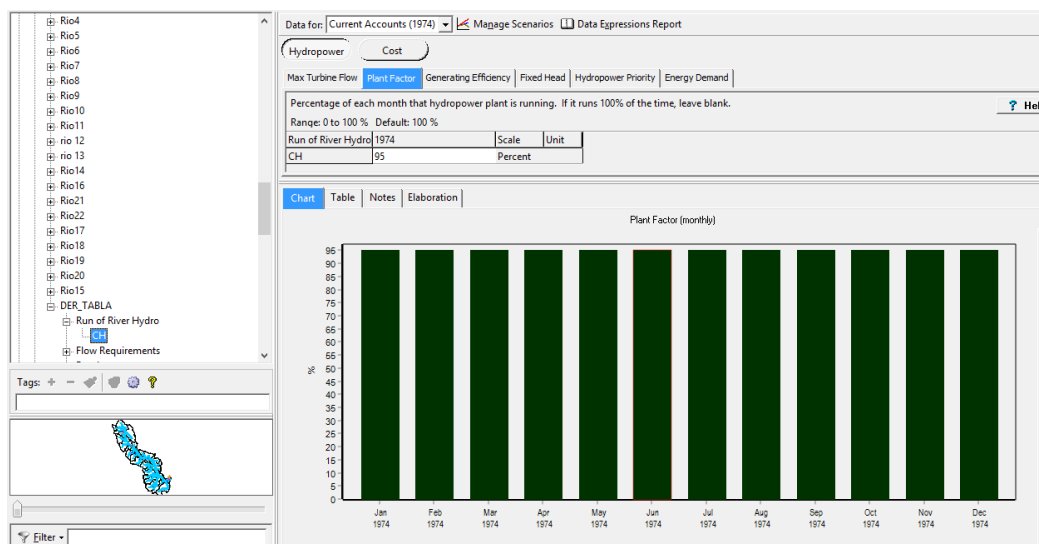


Figura 29. Formulario para el ingreso de información del factor de planta considerada de cada central considerada en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.

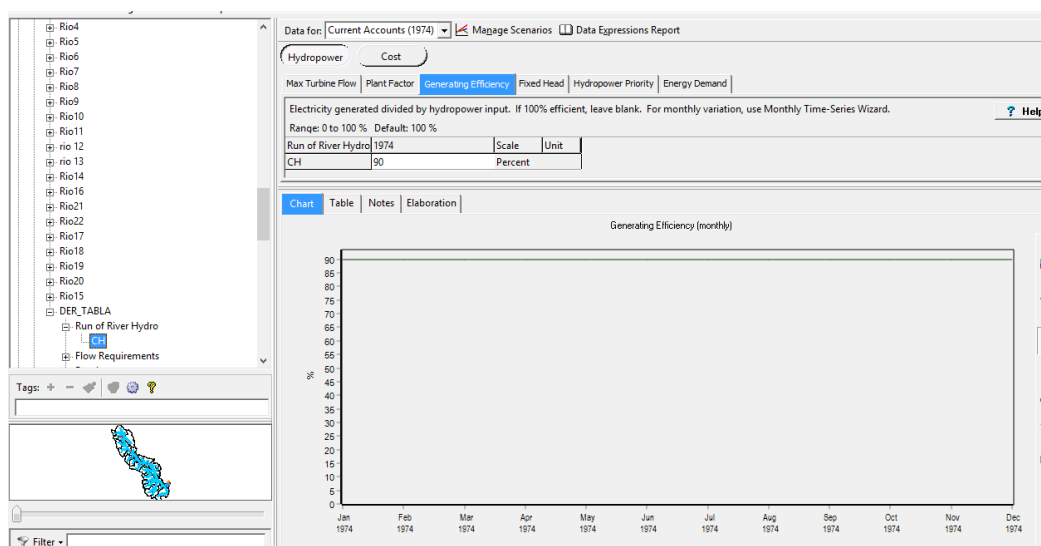


Figura 30. Formulario para el ingreso de información del factor de planta considerada de cada central considerada en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.

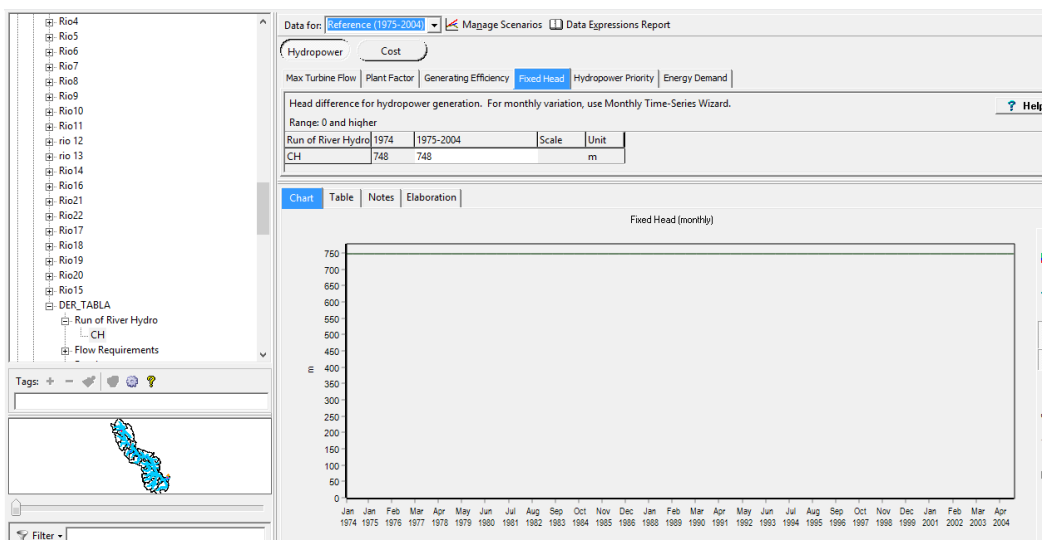


Figura 31. Formulario para el ingreso de información de la carga de tubería forzada de cada central considerada en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.

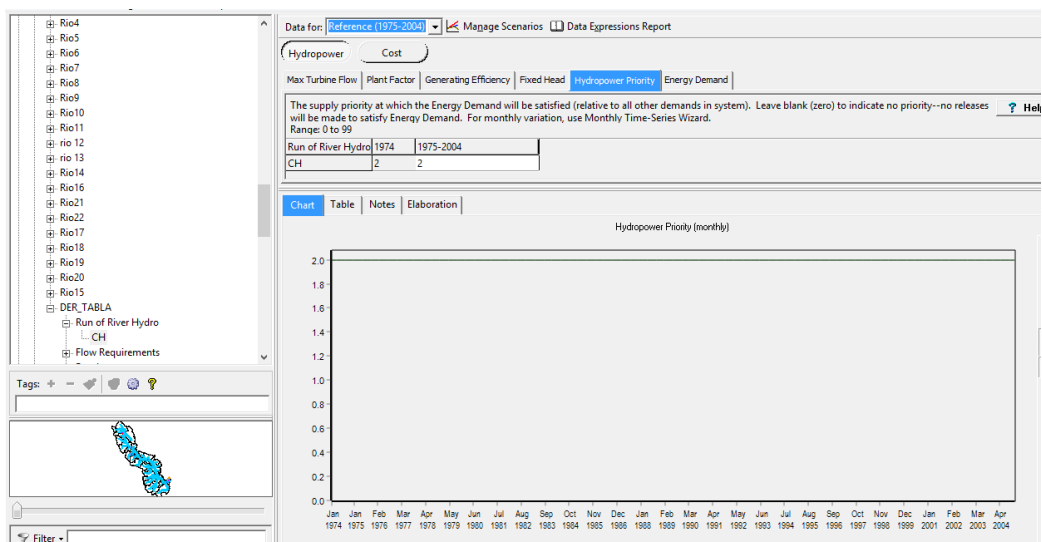


Figura 32. Formulario para el ingreso de información de la prioridad de cada central considerada en el modelo

Fuente: Elaboración Propia.

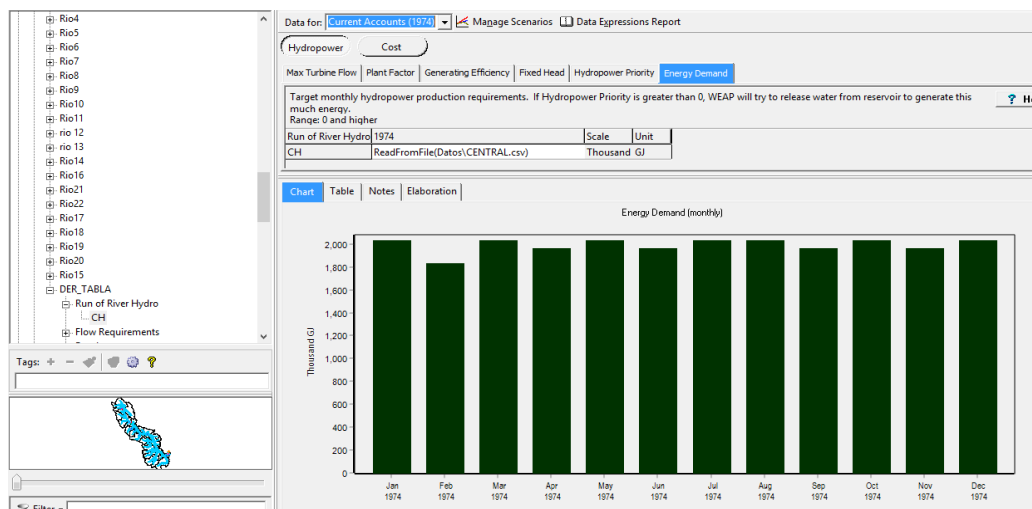


Figura 33. Formulario para el ingreso de información de la demanda de energía de cada central considerada en el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.

### Información para la simulación de operación del sistema

Ejecución de simulación de operación del sistema con los parámetros de cada una de las alternativas primero sin represamientos, segundo con represamientos Upamayo y malpaso, tercero con represamientos Upamayo, Malpaso, Pomacocha y Pachacayo lo cual es mostrado en la Figura N.º 34 .

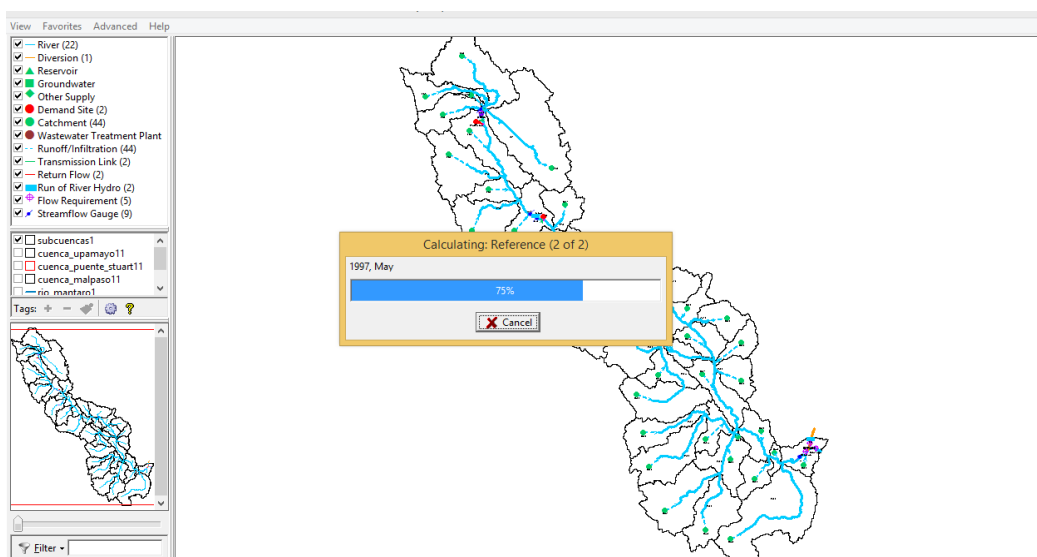


Figura 34. Formulario para el ingreso de información para la ejecución de una simulación con el modelo  
Fuente: Elaboración Propia.

### Resultados de calibración del modelo

Con la información hidrométrica registrada en la estación Upamayo fue posible realizar la calibración del modelo, ya observamos una relación lineal entre los caudales observados y simulados con una correlación de 0.815 tal como se muestra en la Figura N° 36 y de igual forma observamos la calibración en la comparación de los hidrogramas en la Figura N° 35.

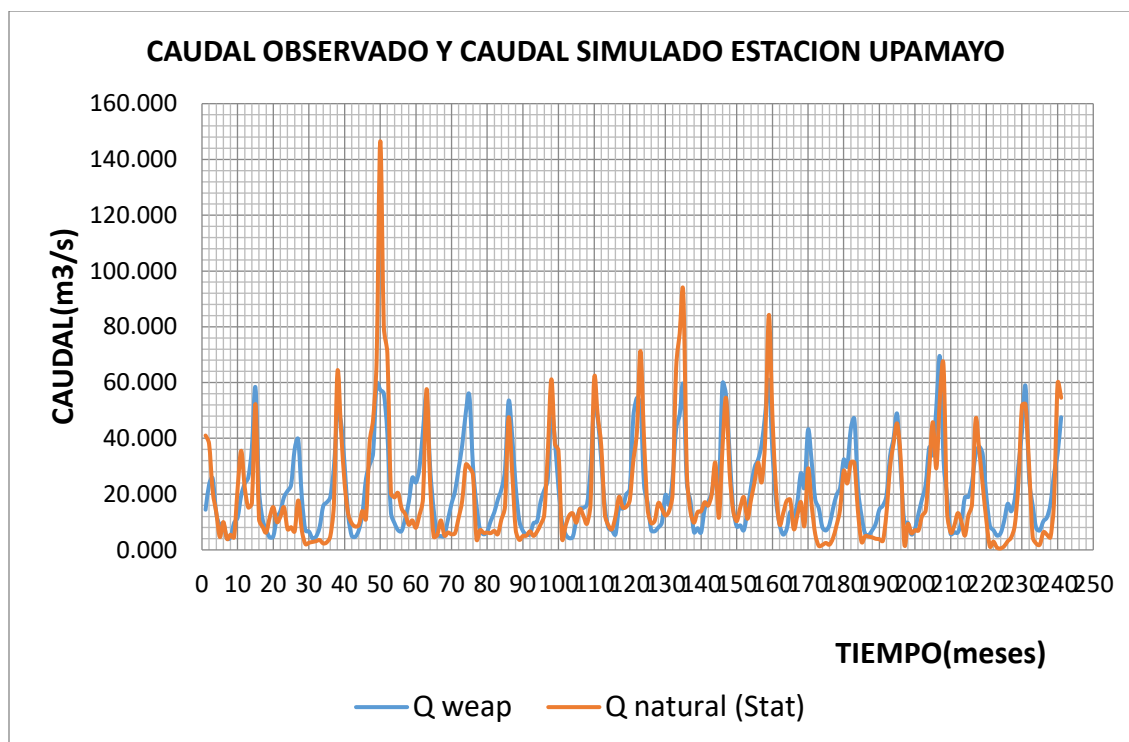
De la calibración se obtienen indicadores satisfactorios (Índice de Nash, BIAS, coeficiente de Pearson), esto nos demuestra la eficiencia del modelo y lo bien que representa el comportamiento hídrico en la cuenca dichos indicadores se muestran en la Tabla N° 4.

En la siguiente tabla se muestran los indicadores de eficiencia del modelo.

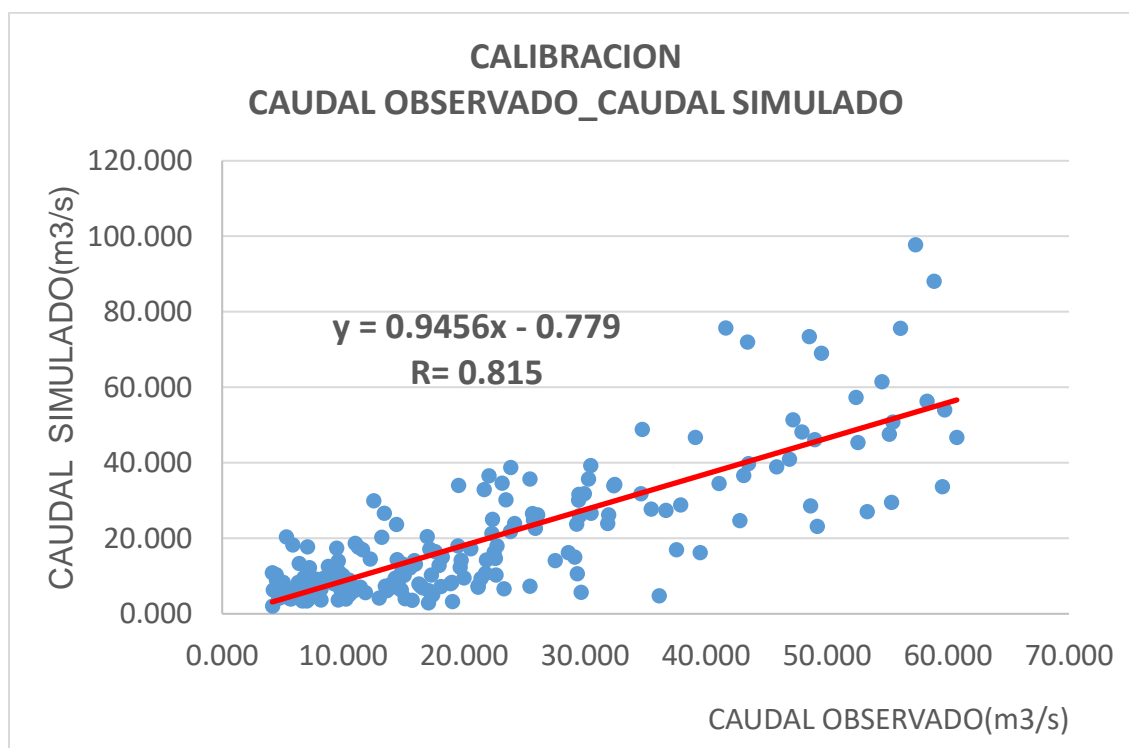
Tabla 4. *Indicadores de eficiencia del modelo*

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
Nash	0.83
BIAS	-0.08
Pearson	0.85

En el siguiente gráfico se muestra el resultado de los caudales observados y simulados para un período de registro de 10 años, en la estación Upamayo.



*Figura 35.* Comparación de caudales observados y simulados.  
Fuente: Elaboración Propia



*Figura 36.* Comparación de caudales observados y simulados.  
Fuente: Elaboración Propia

De los gráficos anteriores se puede apreciar el buen ajuste del al caudal simulado caudal observado, sin embargo, existe una tendencia a subestimar levemente los caudales en épocas de lluvias.

### **Demandas diferentes a Energía en la Cuenca del río Mantaro**

Se ha identificado tres tipos de demanda diferentes a la energía eléctrica a lo largo de la cuenca del río Mantaro, esta información se ha recopilado de los estudios de la Autoridad Nacional del Agua tenemos la Demanda poblacional por meses en lugares del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes (ciudades como Pasco, Chungar, Yauli, Huancayo, etc.) tal como se muestra en la Tabla 5 y Figura 37, Demanda agrícola por meses en regantes del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes (regantes de Shulcas, Chanchas, Moya, Lircay, etc. ) tal como se muestra en la Tabla 6 y Figura 38, así mismo las Demandas minera por meses en minas del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes (mina Volcán, el Brocal, Huaron Doe run, etc.) tal como se muestra en la Tabla 7 y Figura 39.

Tabla 5. *Demanda poblacional por meses en lugares del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes*

POBLACION	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
PASCO	225648.00	203251.00	222396.00	221240.00	225735.00	220981.00	221827.00	217393.00	212726.00	220669.00	215127.00	219515.00	2626508.00
CHUNGAR	2746123.00	2462896.00	2703925.00	2691385.00	2746745.00	2687533.00	2696047.00	2638488.00	2580415.00	2680979.00	2611557.00	2666508.00	31912601.00
YAULI	364631.71	336963.31	348733.31	360002.58	365732.47	350577.48	332776.61	348217.07	332670.46	351571.08	338879.49	356490.43	4187246.00
LAS VEGAS	402856.00	386456.00	402856.00	397383.00	404005.00	398495.00	404005.00	404005.00	398495.00	404005.00	398495.00	402894.00	4803950.00
USUARIOS SEDAM	984579.91	886115.55	953095.55	905920.59	944511.78	844377.61	908118.63	1014818.86	993241.41	1028632.86	991605.19	1058480.34	11513498.28
SEDAM	1827082.00	1642794.00	1797797.00	1775456.00	1816348.00	1762373.00	1795989.00	1786787.00	1749943.00	1813937.00	1764176.00	1799272.00	21331954.00
LIRCAY	472711.00	435954.00	471599.00	459904.00	472717.00	459909.00	472163.00	472163.00	459909.00	472163.00	459909.00	472157.00	5581258.00
SEDAMCURCAMP	107378.00	99011.00	107126.00	104463.00	107378.00	104463.00	107251.00	107251.00	104463.00	107251.00	104463.00	107251.00	1267749.00
AYACUCHO	280749.00	260632.00	280749.00	274028.00	280761.00	273929.00	280749.00	280155.00	273974.00	280752.00	273931.00	280989.00	3321398.00
MANTARO	2637376.84	2493783.48	2624537.81	2577149.32	2629327.99	2562707.47	2616703.71	2645014.47	2605626.17	2653743.32	2607360.31	2655907.12	31309238.00
HUANCAVELICA	1038926.00	958181.00	1036485.00	1010815.00	1038943.00	1010831.00	1037742.00	1037742.00	1010831.00	1037742.00	1010831.00	1037726.00	12266795.00
AYACUCHOB	3067269.00	2847313.00	3067207.00	2993728.00	3067392.00	2992678.00	3067238.00	3060797.00	2993147.00	3067269.00	2992685.00	3069826.00	36286549.00
SICAYA	112417.00	107840.00	112417.00	110889.00	112737.00	111200.00	112737.00	112737.00	111200.00	112737.00	111200.00	112428.00	1340539.00
CERROPASCO	1275542.00	1143757.00	1255886.00	1250094.00	1275821.00	1248289.00	1252205.00	1225394.00	1198392.00	1245186.00	1212898.00	1238456.00	14821920.00
TOTAL	15543289.45	14264947.34	15384809.67	15132457.49	15488154.24	15028343.56	15305551.95	15350962.40	15025033.05	15476637.26	15093116.99	15477899.89	182571203.28

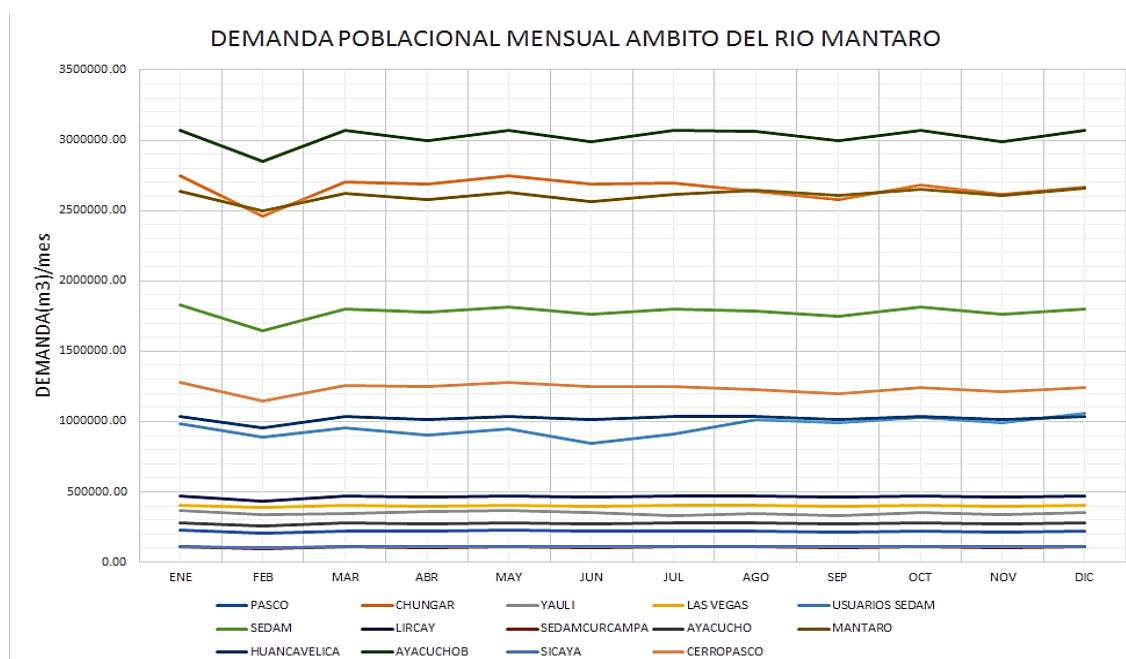


Figura 37. Demanda poblacional por meses en lugares del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes

Tabla 6. Demanda agrícola por meses en regantes del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes

Tabla N 2 Demanda Agrícola por meses en Regantes del ámbito río mantaro en m <sup>3</sup> por mes													
REGANTES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
QUISHUASCANCHA1	0	0	0	37431.9	300510.5	470317.4	519568.3	475035.9	386176.8	357155.5	304000.1	151804.4	3002000.8
QUISHUASCANCHA2	28390.6	613.7	4814.3	105355.7	202685.1	293555.1	324411	391125.2	385249.7	497665	545367.9	339672.4	3118905.7
REGANTES YACUS	1765	0	0	114046.4	1707019.4	2933886.1	3433618.5	3459348.3	3078647.6	3047008.3	2941275.8	1531842.3	22248457.7
CIMIRM	0	0	0	3552405.3	7065675.9	6529587.1	7366145.4	7063807.5	5668363.8	7128090.8	6530922.4	4064724.3	54969722.5
REGANTESACHAMAY	0	0	0	317857	1826279	1932627	2363817	2170205	1689242	1659187	1499849	1030057	14489120
REGANTES SHULLCA	553262.5	199921.3	267649.7	774196.3	1136339.7	1334228.2	1416832.6	1238700	1030564.2	1154886.2	1098144.1	987112.6	11191837.4
REGANTESCUNAS	8716296.4	6809207.3	5488145.5	7422488.4	9671337.6	10150479.9	9882312.2	8913840.7	7803327.4	9083864.9	8675828.7	9141264.9	101758394
REGANTESCHANCHACHA	0	0	0	10342.8	149264.7	257479.2	290566.4	259011.2	257761.1	316468.9	320624.5	227180.9	2088699.7
REGANTESCACHI1	0	0	0	0	4732277	4583511	4747062	4781399	4627808	4782069	4627808	0	32881934
REGANTESCACHI2	0	0	0	0	4194402	6888838	7966755	8274140	8208429	8682461	8406018	0	52621043
REGANTESYANACAN	1366708.8	0	537347.8	4679841.5	7969911	7628162.1	8203669.9	8954769.8	7005160.2	7400940.4	6672241.5	4104909.2	64523662.2
CANALMITO	1139846.2	320327	1005717.2	2534837.2	3178967.2	2963117.6	2589293	3559127	4005005.7	3373389.6	3307933.9	1952489.4	29930051
CANAL AJORUCRE	1893976.4	606247.8	1487706	3424751.6	4250357.7	3912468.2	3266514.5	4579911	5392914.2	5391834.4	5734050.1	3521764.7	43462496.6
REGAANTES SECO	768748.7	479127.8	500250.6	1858411	2011829.5	1958429.5	1809418.6	2817271.7	3334817.3	3117473.7	3286719.9	1627650.5	23570148.8
REGANTESMOYA	864.9	4423.8	13509.8	60784	103001.6	87893.9	84186.7	114377.2	114063.8	113638.7	91439.3	72086.1	860269.8
REGANTES ICHU	1196.7	6120.6	18691.8	84099.1	142510.3	121607.7	116478.5	158249.2	157815.6	157227.5	126513	99736.4	1190246.4
REGANTESLIRCAY	1366.9	6991.2	21350.5	96061.2	162780.8	138905	133046.3	180758.4	180263.1	179591.4	144508	113922.7	1359545.5
CACHI HUANTA	59606.5	326131.3	1008943	4547098.3	7702671.1	6571783.2	6295072.5	8554074.8	8528627.5	8495867.5	6834143.7	5385403.9	64309423.3
REGANTESMANTARCA	2330.1	11918	36396.3	163756.3	277493.6	236792.3	226804.9	308140.1	307295.7	306150.7	246343.8	194204.9	2317626.7
REGANTESMANTARCA	16959.5	86744.5	264908.9	1191892.7	2019724.5	1723481.8	1650789.2	2242783.7	2236638	2228303.8	1793002.3	1413511.2	16868740.1
<b>TOTAL</b>	<b>14551319.2</b>	<b>8857774.3</b>	<b>10655431.4</b>	<b>30975656.7</b>	<b>58805038.2</b>	<b>60717150.3</b>	<b>62686362.5</b>	<b>68496075.7</b>	<b>64398170.7</b>	<b>67473274.3</b>	<b>63186734</b>	<b>35959337.8</b>	<b>546762325</b>

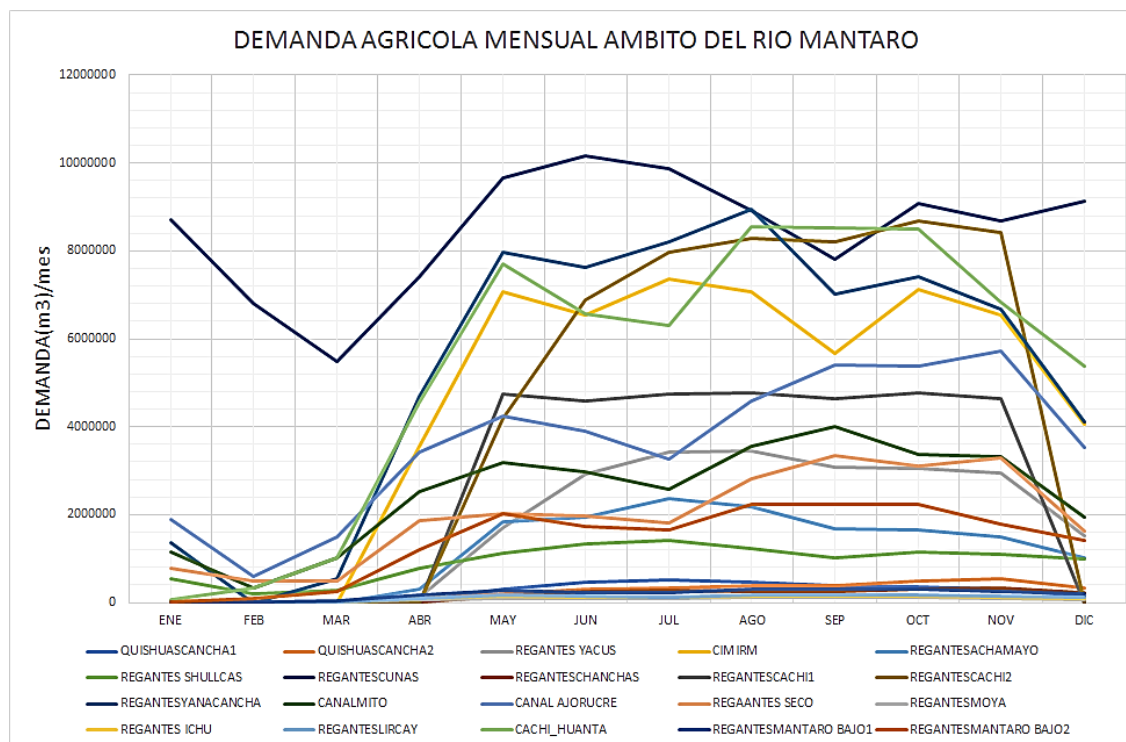


Figura 38. Demanda agrícola por meses en regantes del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes

Tabla 7. Demanda minera por meses en minas del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes

Tabla N 3 Demanda Minera por meses en minas del ambito rio mantaro en m <sup>3</sup> por mes													
MINERA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
VOLCAN SAN	535680	483840	535680	518400	535680	518400	535680	535680	518400	535680	518400	535680	6307200
VOLCAN GAS	1583735	1430471	1583735	1532647	1583735	1532647	1583735	1583735	1532647	1583735	1532647	1583735	18647204
EL BROCAL	5281277	4770186	5281277	5110914	5281277	5110914	5281277	5281277	5110914	5281277	5110914	5281277	62182781
HUARON	1983586	1791626	1983586	1919599	1983586	1919599	1983586	1983586	1919599	1983586	1919599	1983586	23355124
MINERA YAU	1316952	1189503	1316952	1274470	1316952	1274470	1316952	1316952	1274470	1316952	1274470	1316952	15506047
DOE RUN	1304381	1178151	1304381	1262304	1304381	1262304	1304381	1304381	1262304	1304381	1262304	1304381	15358034
IND.MANTAR	75078	67816	75078	72661	75078	72661	75078	75078	72661	75078	72661	75078	884006
MILPO	2970226	2682784	2970226	2874411	2970226	2874411	2970226	2970226	2874411	2970226	2874411	2970226	34972010
BUENAAVEN	2227850	2012251	2227850	2155985	2227850	2155985	2227850	2227850	2155985	2227850	2155985	2227850	26231141
DOE RUN2	704865	636654	704865	682128	704865	682128	704865	704865	682128	704865	682128	704865	8299221
MINERA AYA	17350	15671	17350	16792	17350	16792	17350	17350	16792	17350	16792	17350	204289
<b>TOTAL</b>	<b>18000980</b>	<b>16258953</b>	<b>18000980</b>	<b>17420311</b>	<b>18000980</b>	<b>17420311</b>	<b>18000980</b>	<b>18000980</b>	<b>17420311</b>	<b>18000980</b>	<b>17420311</b>	<b>18000980</b>	<b>211947057</b>

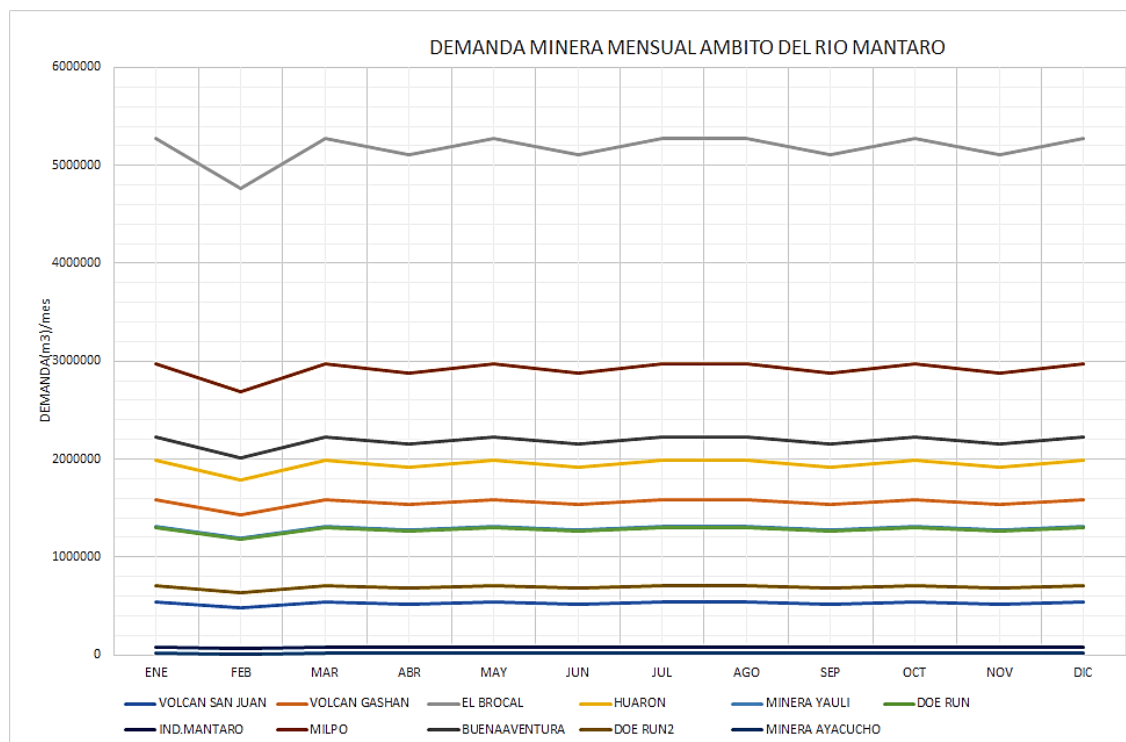


Figura 39. Demanda minera por meses en minas del ámbito del río Mantaro en m<sup>3</sup> por mes

#### 4.2. Reglas de Operación de las represas de Malpaso y Upamayo para la disponibilidad del agua en la central hidroeléctrica del Mantaro

Debido a los caudales en nuestras cuencas en especial de nuestra investigación la del río Mantaro se presentan en magnitudes altas en el periodo de lluvias ya que la atmósfera entre los comienzos de noviembre de cada año y finales de abril en cambio entre mayo a octubre los caudales en los ríos dependen básicamente de las filtraciones subterráneas, filtraciones de glaciares por lo que se hace importante la presencia de los represamientos artificiales construidas por el hombre pero a la vez deberá planearse su uso en base a reglas de operación con la finalidad de lograr buenos resultados en la satisfacción en la operación de los mismos para cubrir las demandas que en la actualidad resultan siendo cada vez mayores, en las Figuras N° 40, N° 41, N° 42 y N° 43.

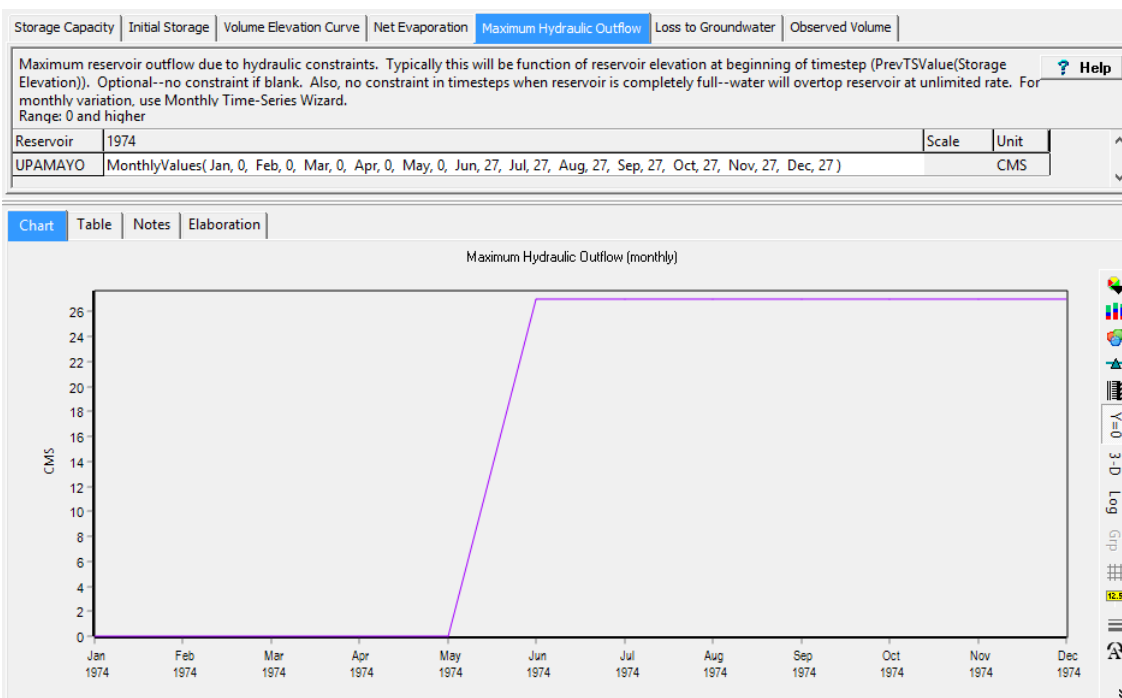


Figura 40. Regla de Operación de la Represa de Upamayo

Fuente: Elaboración Propia.

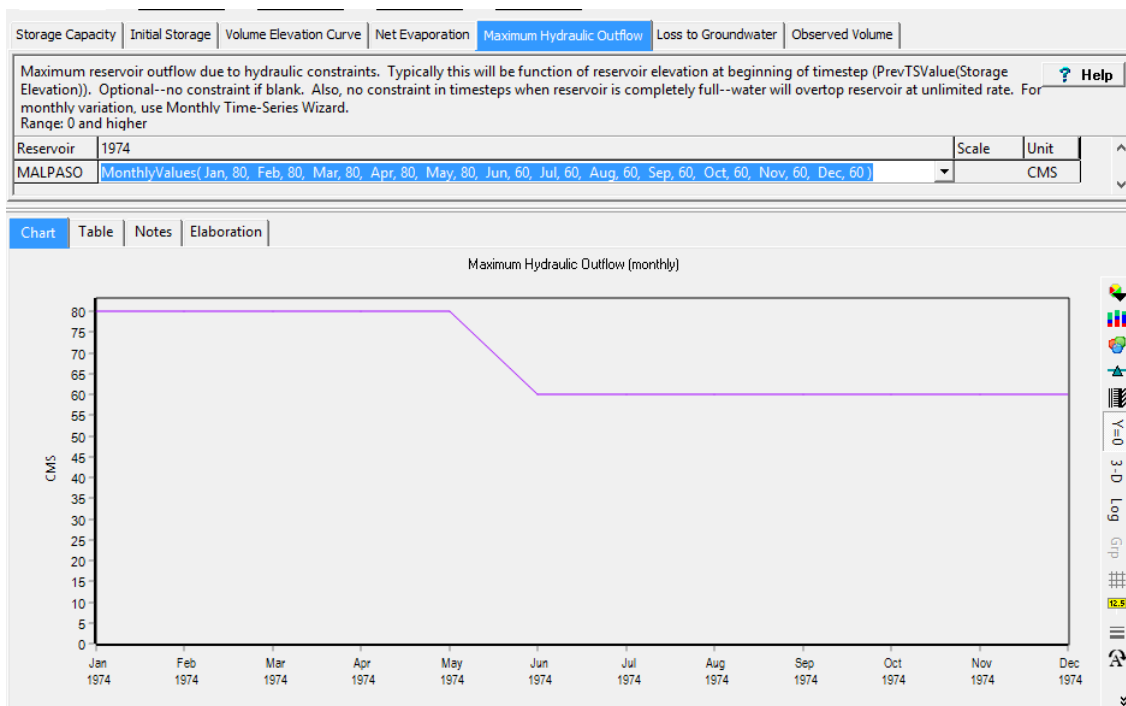


Figura 41. Regla de Operación de la Represa de Malpaso

Fuente: Elaboración Propia.

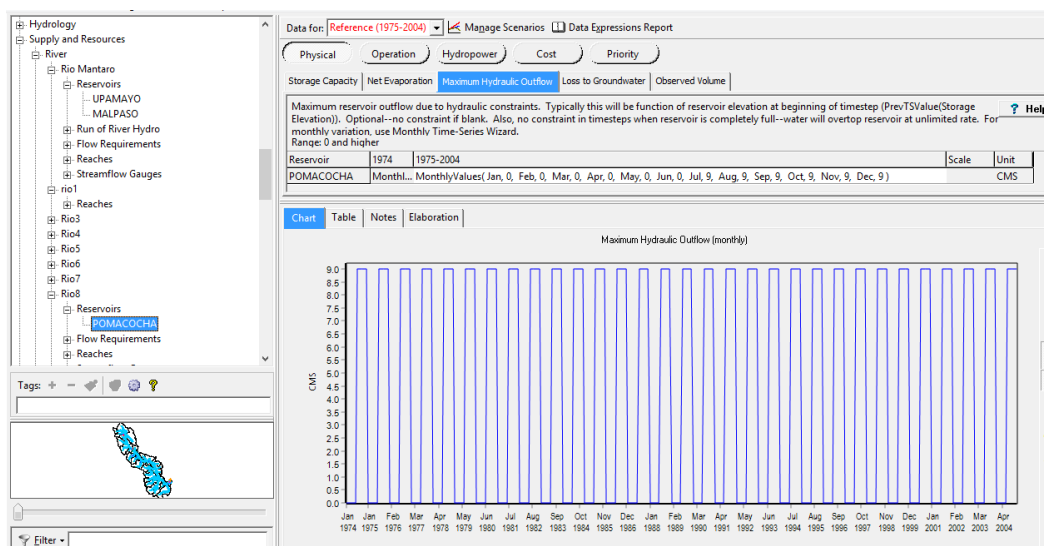


Figura 42. Formulario para el ingreso de la regla de operación del represamiento de Pomacocha  
Fuente: Elaboración Propia.

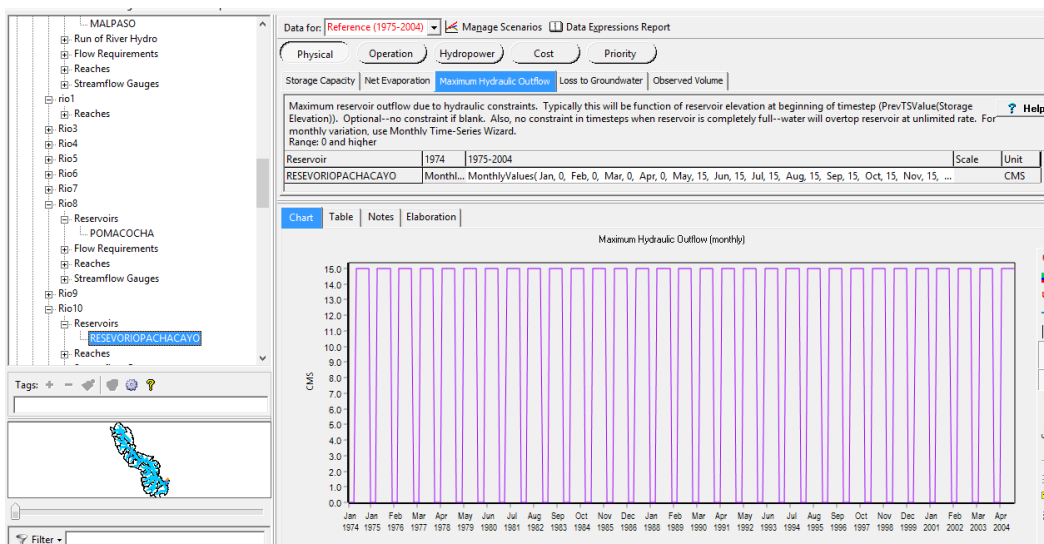


Figura 43. Formulario para el ingreso de la regla de operación del represamiento de Pachacayo  
Fuente: Elaboración Propia.

### Esquema de Operación para la C.H. Malpaso y Complejo Mantaro



Fuente: CENERGIA a partir de Operaciones STATKRAFT PERÚ y ELECTROPERÚ.

**Figura 44.** Esquema de Operación de CH. Malpaso y Complejo Mantaro

Fuente: Cenergia.

#### 4.3. Determinación de la capacidad hidrológica de represas de subcuencas del río Mantaro

Cada una de las subcuencas correspondientes a la cuenca del Mantaro dispone de un volumen hidrológico anualmente que se recarga a través de las lluvias y estas son variables tanto en el espacio como en el tiempo los que hace necesario su cálculo a través de métodos como el de la curva masa y los picos secuenciales con este método se realizó en el cálculo en este trabajo de investigación para cada una de las subcuencas del río Mantaro los cuales son mostrados en la Tabla N° 9 a la Tabla N° 13 así mismo se muestra el resumen de todos los puntos de control con sus caudales de demanda y sus volúmenes de capacidad hidrológica correspondiente mostrados en la Tabla N° 8 y Figura N° 45.

Tabla 8. Resumen de cálculos de capacidad hidrológica de los diferentes puntos de control sus caudales demandados y los volúmenes potenciales a almacenarse

PTO_CONTROL	CAUDALES(m3/s)	VOLUMEN(MM3)
UPAMAYO	51.215	612.502
MALPASO	93.886	1082.592
OROYA	110.653	1265.591
STUAR	129.753	1494.077
TABLACHACA	249.465	2932.938
PACHACAYO	8.448	100.844
CUNAS	19.684	263.349
VILCA	24.084	290.689
QUILLON	17.709	220.138
MARCAPOMACOCHA	11.611	141.076
YAULI	10.548	123.625
HUARI	5.018	59.815
MALPASO_UPAMAYO	42.672	477.556
ORO_MALPASO	16.767	182.999
STUAR_OROYA	19.100	228.487

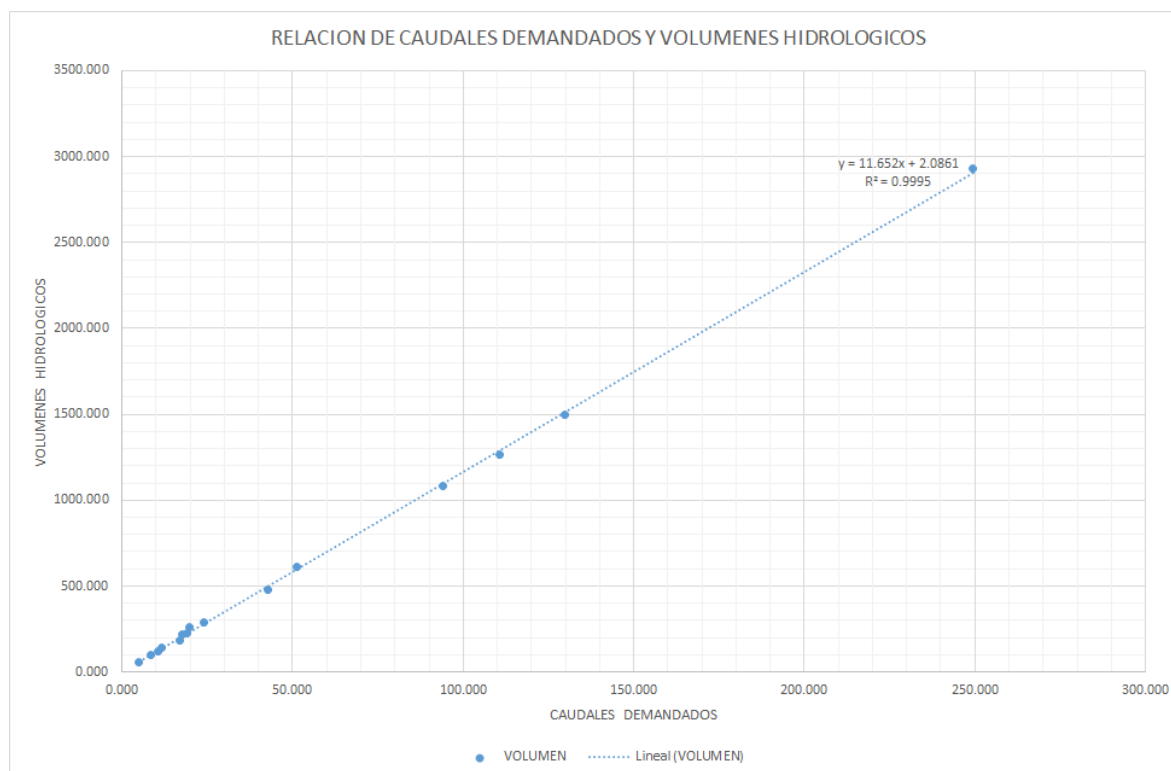


Figura 45. Relación de caudales Demandados en cada punto de control y los volúmenes potenciales a almacenarse en el punto de control

Tabla 9. *Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m<sup>3</sup> en el punto de control Represa de Upamayo*

año	mes	qrequpamayo	DEMANDA	Q-D	Acumulado	Pico y bajo	Almacenamiento
2014	1	276661784.00	0.00	276661784.00	27416789404.19		
	2	314058992.00	0.00	314058992.00	27730848396.19		
	3	269765613.00	0.00	269765613.00	28000614009.19		
	4	236017983.00	0.00	236017983.00	28236631992.19	P41	
	5	127651002.00	137173545.59	-9522543.59	28227109448.60		
	6	49647897.60	137173545.59	-87525647.99	28139583800.61		
	7	46750979.70	137173545.59	-90422565.89	28049161234.72		
	8	37976894.60	137173545.59	-99196650.99	27949964583.74		
	9	85640141.00	137173545.59	-51533404.59	27898431179.15	B41	338200813.04
	10	160536726.00	137173545.59	23363180.41	27921794359.56		
	11	324678866.00	137173545.59	187505320.41	28109299679.98		
	12	267789777.00	0.00	267789777.00	28377089456.98		
2015	1	83291815.20	0.00	83291815.20	28460381272.18		
	2	206351318.00	0.00	206351318.00	28666732590.18		
	3	123579828.00	0.00	123579828.00	28790312418.18		
	4	81400799.80	0.00	81400799.80	28871713217.98	P42	
	5	62581960.90	137173545.59	-74591584.69	28797121633.29		
	6	51575006.30	137173545.59	-85598539.29	28711523094.00		
	7	39063606.20	137173545.59	-98109939.39	28613413154.61		
	8	35200659.60	137173545.59	-101972885.99	28511440268.63		
	9	82235620.70	137173545.59	-54937924.89	28456502343.74		
	10	110996858.90	137173545.59	-26176686.69	28430325657.05	B42	441387560.92
	11	160612913.00	137173545.59	23439367.41	28453765024.46		
	12	236926215.00	0.00	236926215.00	28690691239.46		
2016	1	350597420.00	0.00	350597420.00	29041288659.46		
	2	275136117.00	0.00	275136117.00	29316424776.46		
	3	248806201.00	0.00	248806201.00	29565230977.46		
	4	198347598.00	0.00	198347598.00	29763578575.46	P43	
	5	97277798.00	137173545.59	-39895747.59	29723682827.88		
	6	48283891.00	137173545.59	-88889654.59	29634793173.29		
	7	35092770.10	137173545.59	-102080775.49	29532712397.80		
	8	32223909.20	137173545.59	-104949636.39	29427762761.42		
	9	43388033.90	137173545.59	-93785511.69	29333977249.73		
	10	117582904.30	137173545.59	-19590641.29	29314386608.44		
	11	103680251.40	137173545.59	-33493294.19	29280893314.25	B43	482685261.21
	12	211418987.00	0.00	211418987.00	29492312301.25		
PROMEDIOMULTIANUAL		137173545.59				VOLUMEN(MM3)=	612.50

Tabla 10. *Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m<sup>3</sup> en el punto de control Represa de Malpaso*

año	mes	qreqmalpaso	DEMANDA	Q-D	Acumulado	Pico y bajo	Almacenamiento
2014	1	481829484.00	0.00	481829484.00	50555572625.74		
	2	553511592.00	0.00	553511592.00	51109084217.74		
	3	541744513.00	0.00	541744513.00	51650828730.74		
	4	463086983.00	0.00	463086983.00	52113915713.74	P41	
	5	237612552.00	251464896.65	-13852344.65	52100063369.08		
	6	103636117.60	251464896.65	-147828779.05	51952234590.03		
	7	89431599.70	251464896.65	-162033296.95	51790201293.08		
	8	74759494.60	251464896.65	-176705402.05	51613495891.02		
	9	139153361.00	251464896.65	-112311535.65	51501184355.37	B41	612731358.37
	10	253478106.00	251464896.65	2013209.35	51503197564.72		
	11	527362366.00	251464896.65	275897469.35	51779095034.06		
	12	480617877.00	0.00	480617877.00	52259712911.06		
2015	1	151883655.20	0.00	151883655.20	52411596566.26		
	2	363994418.00	0.00	363994418.00	52775590984.26		
	3	261276228.00	0.00	261276228.00	53036867212.26		
	4	152620709.80	0.00	152620709.80	53189487922.06	P42	
	5	122422440.90	251464896.65	-129042455.75	53060445466.31		
	6	95231946.30	251464896.65	-156232950.35	52904212515.96		
	7	74326656.20	251464896.65	-177138240.45	52727074275.51		
	8	71894219.60	251464896.65	-179570677.05	52547503598.45		
	9	134461580.70	251464896.65	-117003315.95	52430500282.50		
	10	226062858.90	251464896.65	-25402037.75	52405098244.75	B42	784389677.32
	11	297134413.00	251464896.65	45669516.35	52450767761.09		
	12	453183215.00	0.00	453183215.00	52903950976.09		
2016	1	577726320.00	0.00	577726320.00	53481677296.09		
	2	456613317.00	0.00	456613317.00	53938290613.09		
	3	421875401.00	0.00	421875401.00	54360166014.09		
	4	366741798.00	0.00	366741798.00	54726907812.09	P43	
	5	194983978.00	251464896.65	-56480918.65	54670426893.44		
	6	94469661.00	251464896.65	-156995235.65	54513431657.79		
	7	67207500.10	251464896.65	-184257396.55	54329174261.23		
	8	58494289.20	251464896.65	-192970607.45	54136203653.78		
	9	70881883.90	251464896.65	-180583012.75	53955620641.03		
	10	167294084.30	251464896.65	-84170812.35	53871449828.67		
	11	148544471.40	251464896.65	-102920425.25	53768529403.42	B43	958378408.67
	12	296423377.00	0.00	296423377.00	54064952780.42		
PROMEDIOMULTIANUAL		251464896.65				VOLUMEN(MM3)=	1082.59

Tabla 11. *Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m<sup>3</sup> en el punto de control Represa de Oroya*

año	mes	qregoroya	DEMANDA	Q-D	Acumulado	Pico y bajo	Almacenamiento
2014	1	563320684.00	0.00	563320684.00	59660734845.26		
	2	656673192.00	0.00	656673192.00	60317408037.26		
	3	643549713.00	0.00	643549713.00	60960957750.26		
	4	555163583.00	0.00	555163583.00	61516121333.26	P41	
	5	279938982.00	296372506.95	-16433524.95	61499687808.31		
	6	125633017.60	296372506.95	-170739489.35	61328948318.96		
	7	109229749.70	296372506.95	-187142757.25	61141805561.71		
	8	90013484.60	296372506.95	-206359022.35	60935446539.36		
	9	164393821.00	296372506.95	-131978685.95	60803467853.42		
	10	281842946.00	296372506.95	-14529560.95	60788938292.47	B41	727183040.79
	11	596996916.00	296372506.95	300624409.05	61089562701.52		
	12	548733547.00	0.00	548733547.00	61638296248.52		
2015	1	177756315.20	0.00	177756315.20	61816052563.72		
	2	421376938.00	0.00	421376938.00	62237429501.72		
	3	315678558.00	0.00	315678558.00	62553108059.72		
	4	186897169.80	0.00	186897169.80	62740005229.52	P42	
	5	145601840.90	296372506.95	-150770666.05	62589234563.47		
	6	114055566.30	296372506.95	-182316940.65	62406917622.83		
	7	89860456.20	296372506.95	-206512050.75	62200405572.08		
	8	87344789.60	296372506.95	-209027717.35	61991377854.73		
	9	159736370.70	296372506.95	-136636136.25	61854741718.48		
	10	268657118.90	296372506.95	-27715388.05	61827026330.44	B42	912978899.09
	11	352461243.00	296372506.95	56088736.05	61883115066.49		
	12	527609255.00	0.00	527609255.00	62410724321.49		
2016	1	663233120.00	0.00	663233120.00	63073957441.49		
	2	524199767.00	0.00	524199767.00	63598157208.49		
	3	495336471.00	0.00	495336471.00	64093493679.49		
	4	422466738.00	0.00	422466738.00	64515960417.49	P43	
	5	227932518.00	296372506.95	-68439988.95	64447520428.54		
	6	112143471.00	296372506.95	-184229035.95	64263291392.59		
	7	80179220.10	296372506.95	-216193286.85	64047098105.74		
	8	69550289.20	296372506.95	-226822217.75	63820275888.00		
	9	84280383.90	296372506.95	-212092123.05	63608183764.95		
	10	192722894.30	296372506.95	-103649612.65	63504534152.30		
	11	173091911.40	296372506.95	-123280595.55	63381253556.75	B43	1134706860.73
	12	338835437.00	0.00	338835437.00	63720088993.75		
PROMEDIOMULTIANUAL		296372506.95				VOLUMEN(MM3)=	1265.59

Tabla 12. *Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m<sup>3</sup> en el punto de control Represa de Pachacayo*

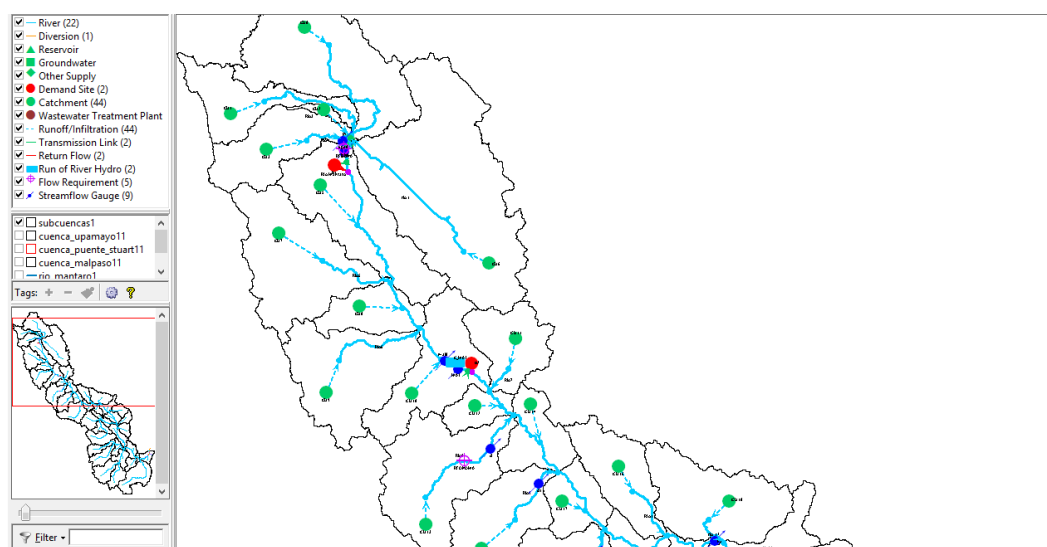
año	mes	qreqpachacayo	DEMANDA	Q-D	Acumulado	Pico y bajo	Almacenamiento
2014	1	30985800.00	0.00	30985800.00	4517662848.76		
	2	43632600.00	0.00	43632600.00	4561295448.76		
	3	43967300.00	0.00	43967300.00	4605262748.76		
	4	27862100.00	0.00	27862100.00	4633124848.76	P41	
	5	14328900.00	22627679.15	-8298779.15	4624826069.61		
	6	8937240.00	22627679.15	-13690439.15	4611135630.47		
	7	8038520.00	22627679.15	-14589159.15	4596546471.32		
	8	8009070.00	22627679.15	-14618609.15	4581927862.17		
	9	10659100.00	22627679.15	-11968579.15	4569959283.02	B41	63165565.74
	10	23364800.00	22627679.15	737120.85	4570696403.88		
	11	31845400.00	22627679.15	9217720.85	4579914124.73		
	12	53429700.00	0.00	53429700.00	4633343824.73		
2015	1	13317900.00	0.00	13317900.00	4646661724.73		
	2	37562600.00	0.00	37562600.00	4684224324.73		
	3	50037600.00	0.00	50037600.00	4734261924.73		
	4	19708200.00	0.00	19708200.00	4753970124.73	P42	
	5	15284000.00	22627679.15	-7343679.15	4746626445.58		
	6	8903890.00	22627679.15	-13723789.15	4732902656.43		
	7	7357950.00	22627679.15	-15269729.15	4717632927.29		
	8	6755350.00	22627679.15	-15872329.15	4701760598.14		
	9	11448900.00	22627679.15	-11178779.15	4690581818.99		
	10	16347500.00	22627679.15	-6280179.15	4684301639.84		
	11	20358800.00	22627679.15	-2268879.15	4682032760.70	B42	71937364.03
	12	33420500.00	0.00	33420500.00	4715453260.70		
2016	1	59202100.00	0.00	59202100.00	4774655360.70		
	2	45169500.00	0.00	45169500.00	4819824860.70		
	3	56706900.00	0.00	56706900.00	4876531760.70		
	4	43437300.00	0.00	43437300.00	4919969060.70	P43	
	5	21472500.00	22627679.15	-1155179.15	4918813881.55		
	6	11112700.00	22627679.15	-11514979.15	4907298902.40		
	7	8289590.00	22627679.15	-14338089.15	4892960813.26		
	8	6592320.00	22627679.15	-16035359.15	4876925454.11		
	9	10180500.00	22627679.15	-12447179.15	4864478274.96		
	10	12779800.00	22627679.15	-9847879.15	4854630395.81		
	11	11027600.00	22627679.15	-11600079.15	4843030316.67	B43	76938744.03
	12	21920700.00	0.00	21920700.00	4864951016.67		
PROMEDIOMULTIANUAL		22627679.15				VOLUMEN(MM3)=	100.843844

Tabla 13. *Cálculo de la capacidad hidrológica (Volumen) m<sup>3</sup> en el punto de control Represa de Puente Stuar*

año	mes	qreqstuar	DEMANDA	Q-D	Acumulado	Pico y bajo	Almacenamiento
2014	1	633529184	0	633529184	69873931056		
	2	756322352	0	756322352	70630253408		
	3	741698323	0	741698323	71371951731		
	4	620005453	0	620005453	71991957184	P41	
	5	312932152	347529958.4	-34597806.39	71957359377		
	6	146744267.6	347529958.4	-200785690.8	71756573686		
	7	128186499.7	347529958.4	-219343458.7	71537230228		
	8	108171994.6	347529958.4	-239357963.8	71297872264		
	9	188847631	347529958.4	-158682327.4	71139189936		
	10	333738856	347529958.4	-13791102.39	71125398834	B41	866558349.4
	11	669064106	347529958.4	321534147.6	71446932982		
	12	667041257	0	667041257	72113974239		
2015	1	208257095.2	0	208257095.2	72322231334		
	2	506141428	0	506141428	72828372762		
	3	425812098	0	425812098	73254184860		
	4	232628489.8	0	232628489.8	73486813350	P42	
	5	180334280.9	347529958.4	-167195677.5	73319617672		
	6	135134366.3	347529958.4	-212395592.1	73107222080		
	7	107125686.2	347529958.4	-240404272.2	72866817808		
	8	102792159.6	347529958.4	-244737798.8	72622080009		
	9	185996180.7	347529958.4	-161533777.7	72460546231		
	10	304970558.9	347529958.4	-42559399.49	72417986832	B42	1068826518
	11	398117113	347529958.4	50587154.61	72468573987		
	12	601713835	0	601713835	73070287822		
2016	1	797607520	0	797607520	73867895342		
	2	626865427	0	626865427	74494760769		
	3	621734181	0	621734181	75116494950		
	4	521857458	0	521857458	75638352408	P43	
	5	276492798	347529958.4	-71037160.39	75567315247		
	6	138348991	347529958.4	-209180967.4	75358134280		
	7	99614140.1	347529958.4	-247915818.3	75110218462		
	8	84881359.2	347529958.4	-262648599.2	74847569862		
	9	107315213.9	347529958.4	-240214744.5	74607355118		
	10	221225144.3	347529958.4	-126304814.1	74481050304		
	11	197766091.4	347529958.4	-149763867	74331286437	B43	1307065971
	12	387654617	0	387654617	74718941054		
PROMEDIOMULTIANUAL		347529958.4				VOLUMEN(MM3)=	1494.077364

#### 4.4. Modelo de Gestión conjunta para analizar la influencia de las reglas de operación de cada una de las represas consideradas

El modelo de gestión se ha basado en el modelo hidrológico formulado para la cuenca del río Mantaro a la cual se le ha agregado la infraestructura de los represamientos, derivaciones y Centrales Hidroeléctricas para investigar la solución del objetivo general de evaluar la incidencia de los represamientos en la cuenca del Mantaro para la disponibilidad regulada en la Central Hidroeléctrica del Mantaro en las Figuras N° 46, N° 47 y N° 48.



*Figura 46.* Ubicación de los represamientos Upamayo y Malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

Fuente: Elaboración Propia.

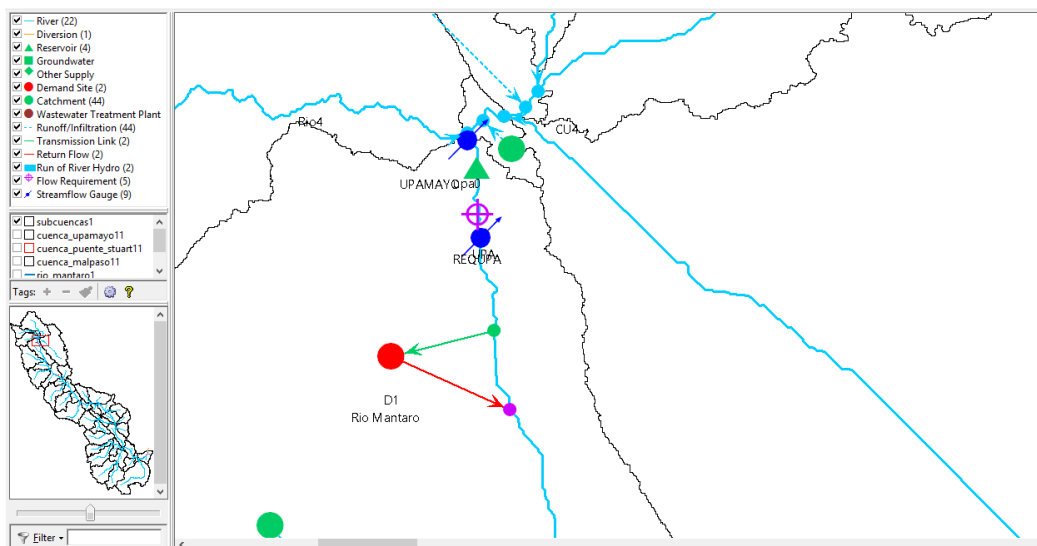


Figura 47. Represamiento de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro  
Fuente: Elaboración Propia.

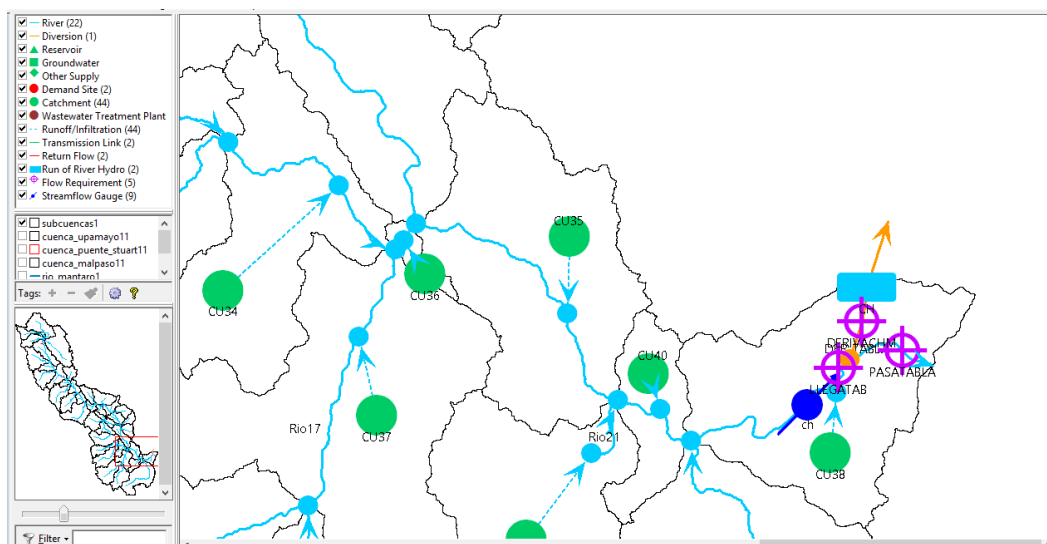
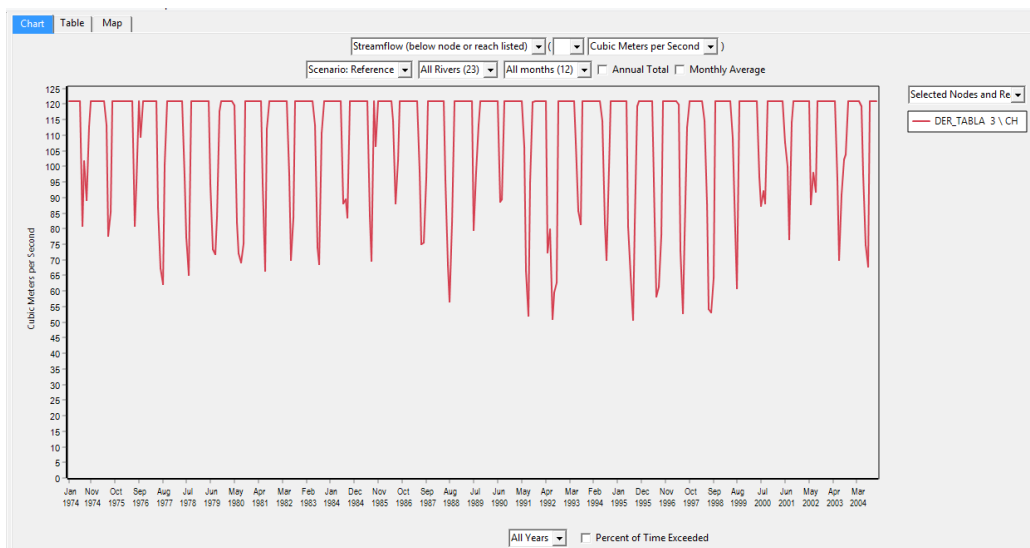


Figura 48. Ubicación de la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5. Realizar las simulaciones con el modelo de gestión para cada uno de los casos propuestos

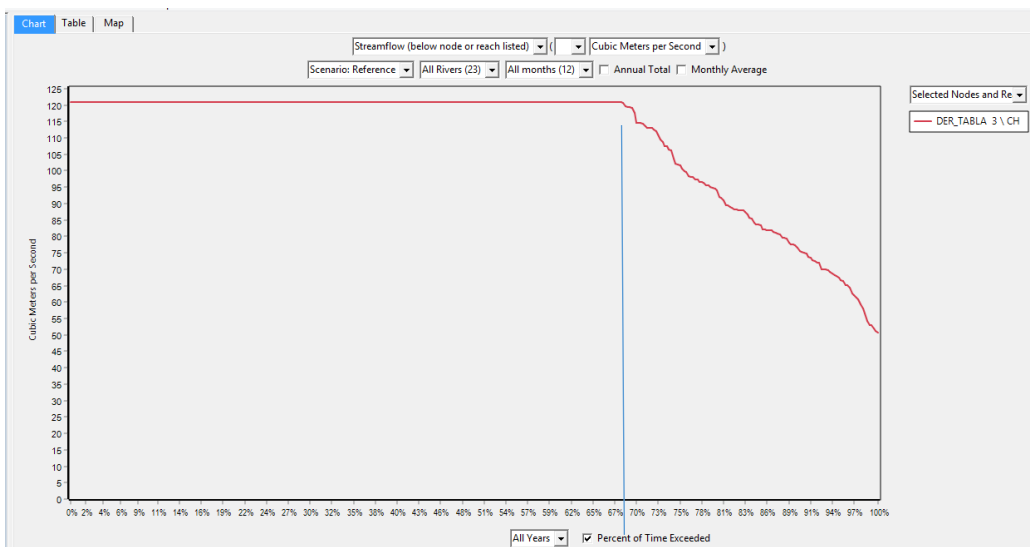
Se realizaron la simulación para el caso de la no presencia de Represamientos en el sistema Mantaro y considerando los represamientos Upamayo sobre el lago de Chinchaycocha que se encuentra entre Pasco y Junín y también los represamientos de Malpaso, Pomacocha y Pachacayo.

#### 4.5.1. Simulaciones con el modelo de gestión sin considerar represamientos



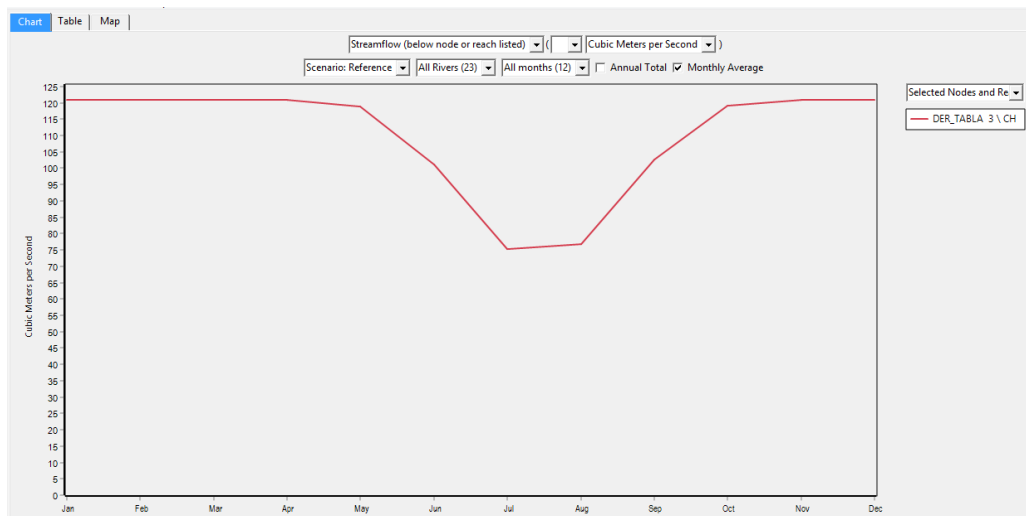
*Figura 49.* Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

Fuente: Elaboración Propia.

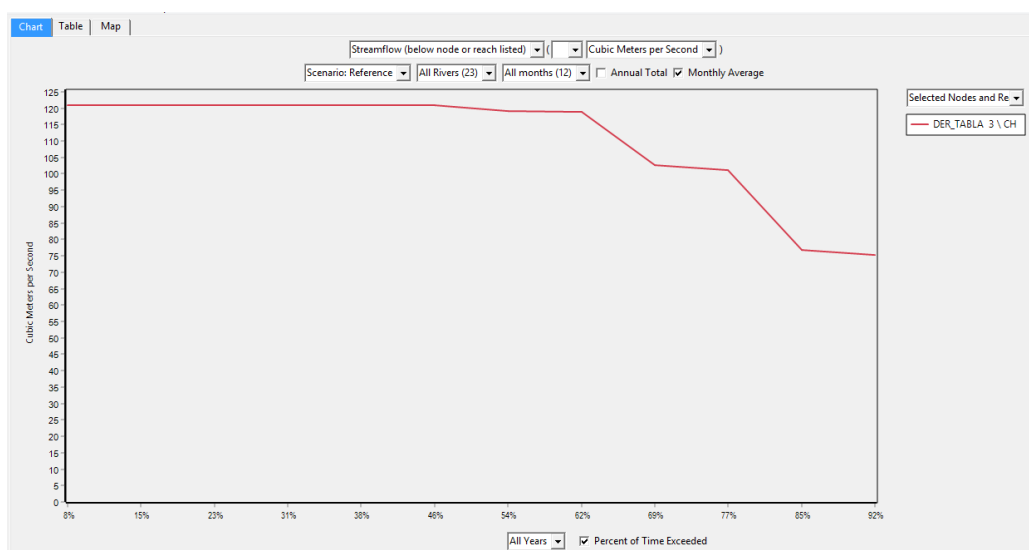


*Figura 50.* Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

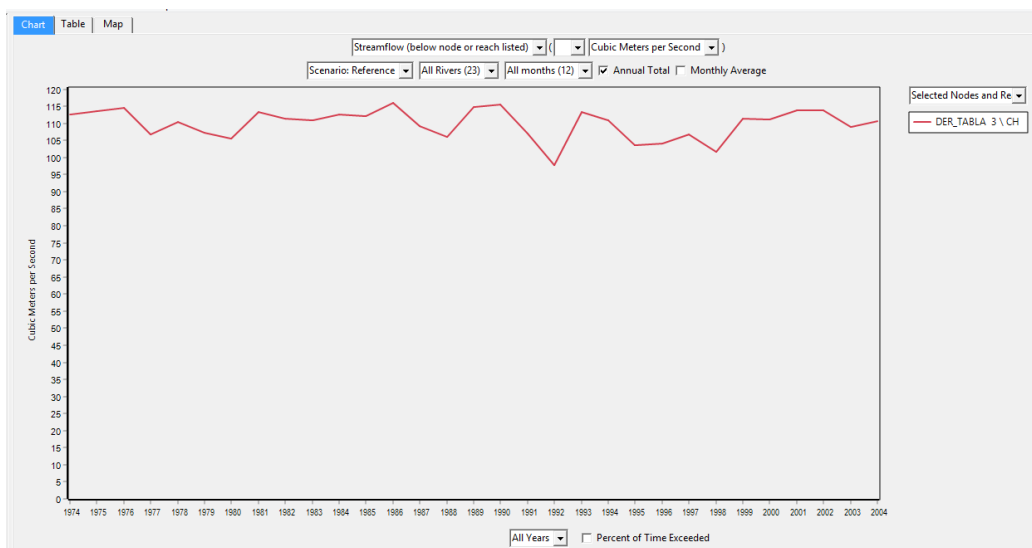
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 51.** Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro  
 Fuente: Elaboración Propia.

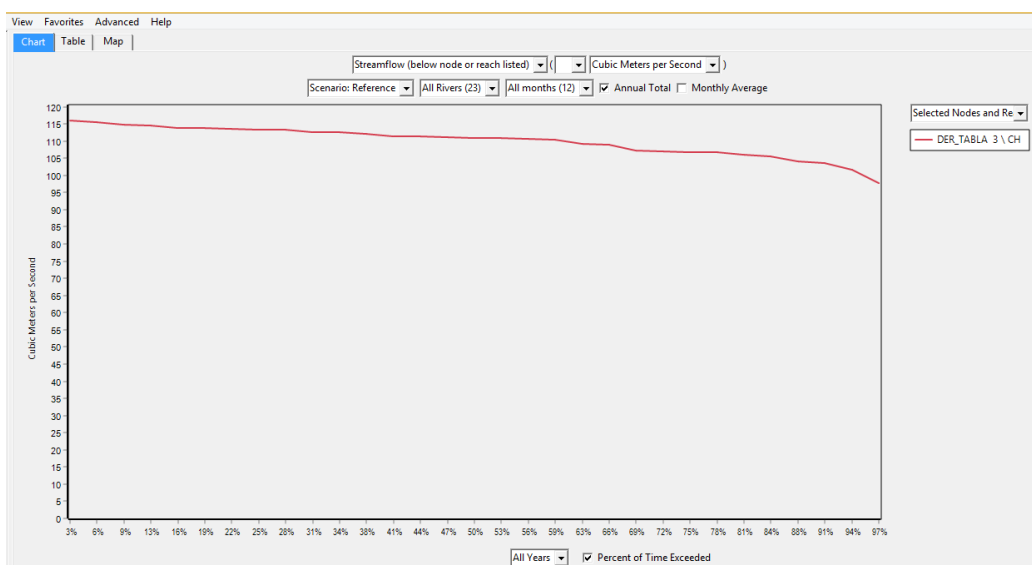


**Figura 52.** Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro  
 Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 53.** Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

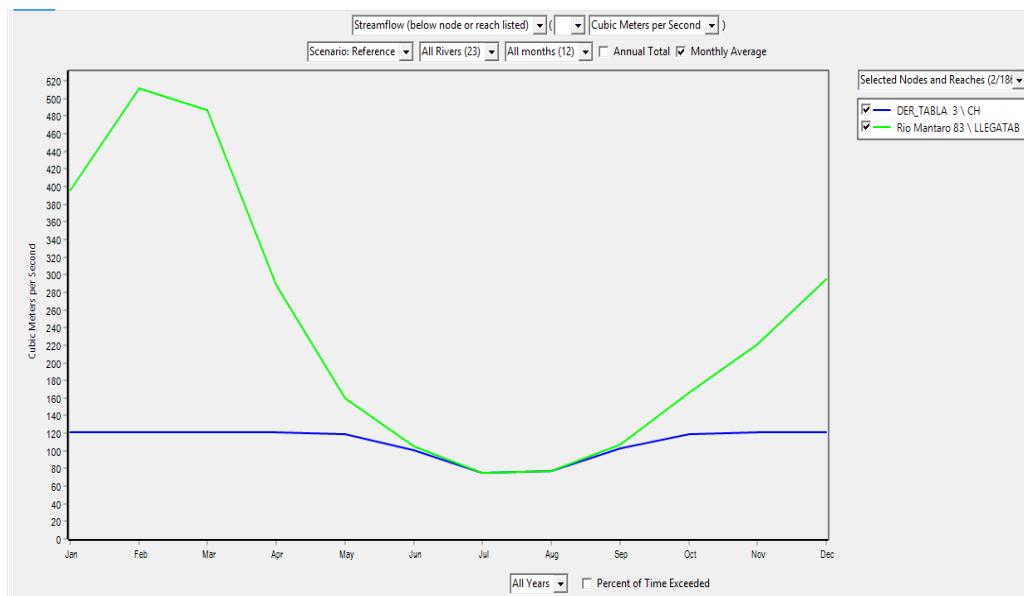
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 54.** Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

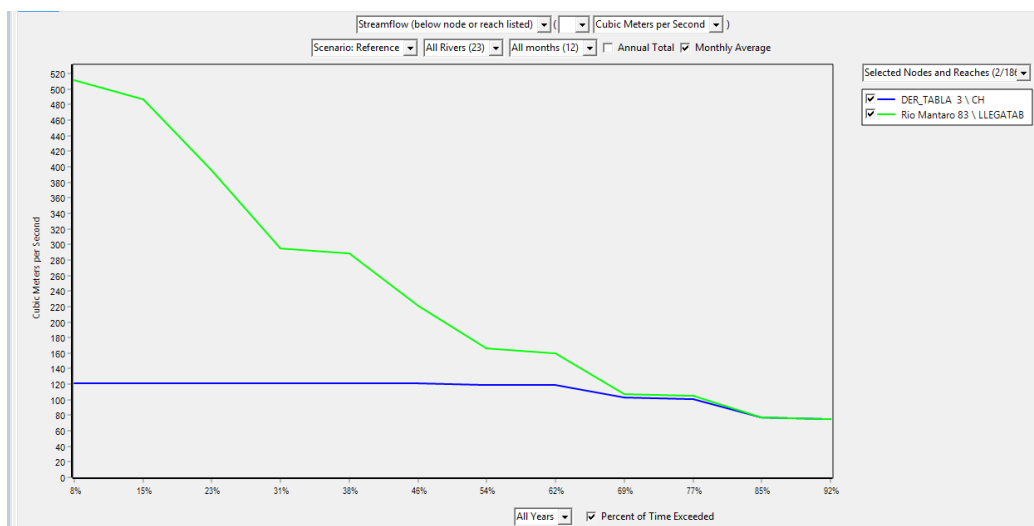
Fuente: Elaboración Propia.





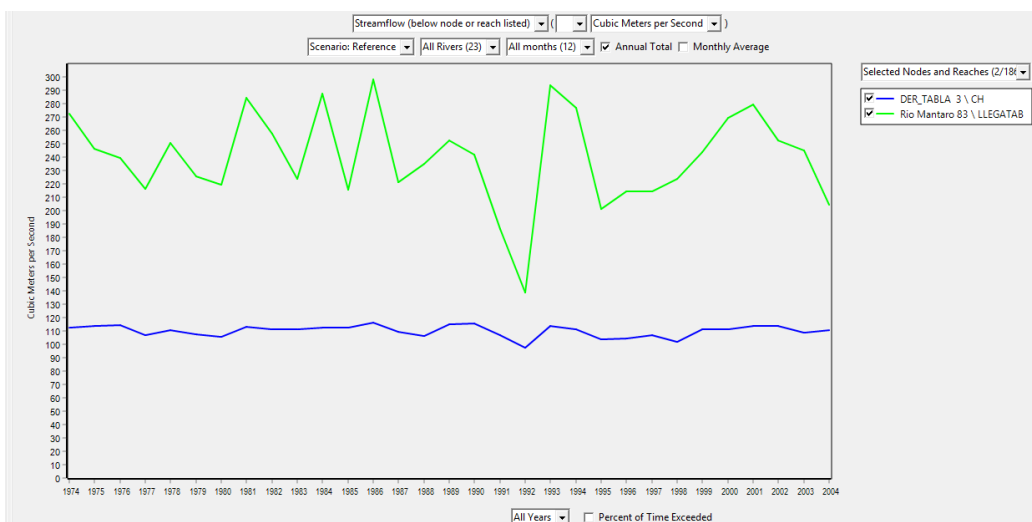
*Figura 57.* Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

Fuente: Elaboración Propia.



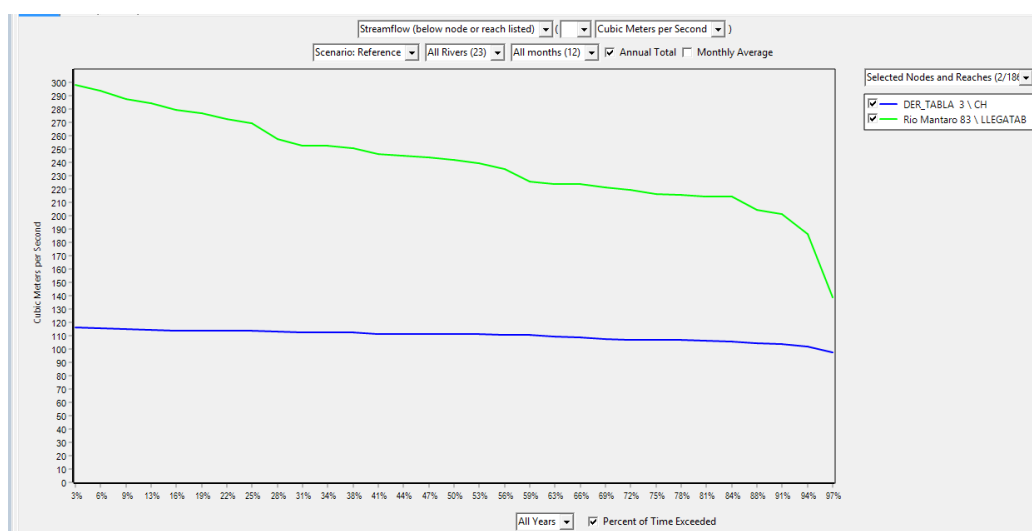
*Figura 58.* Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

Fuente: Elaboración Propia.



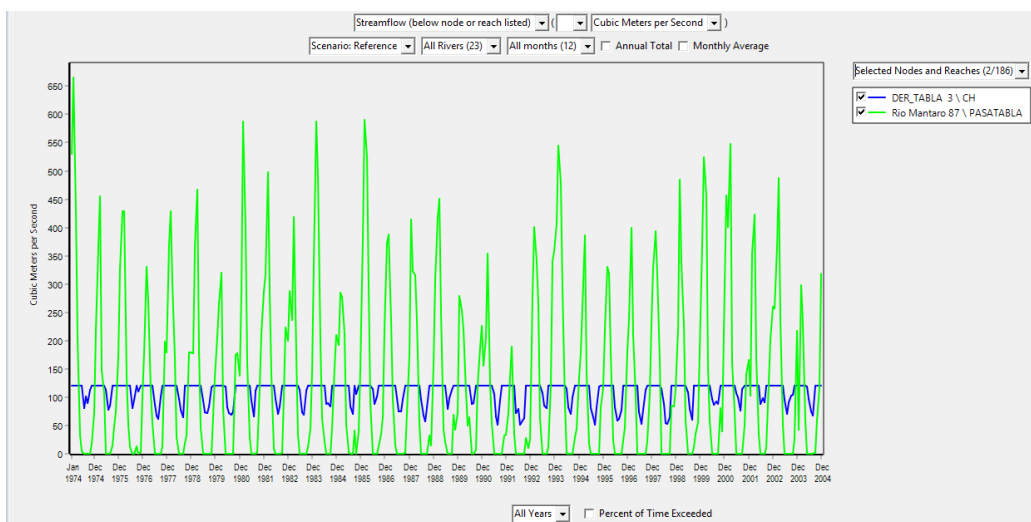
**Figura 59.** Relación de los caudales promedios anuales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

Fuente: Elaboración Propia.

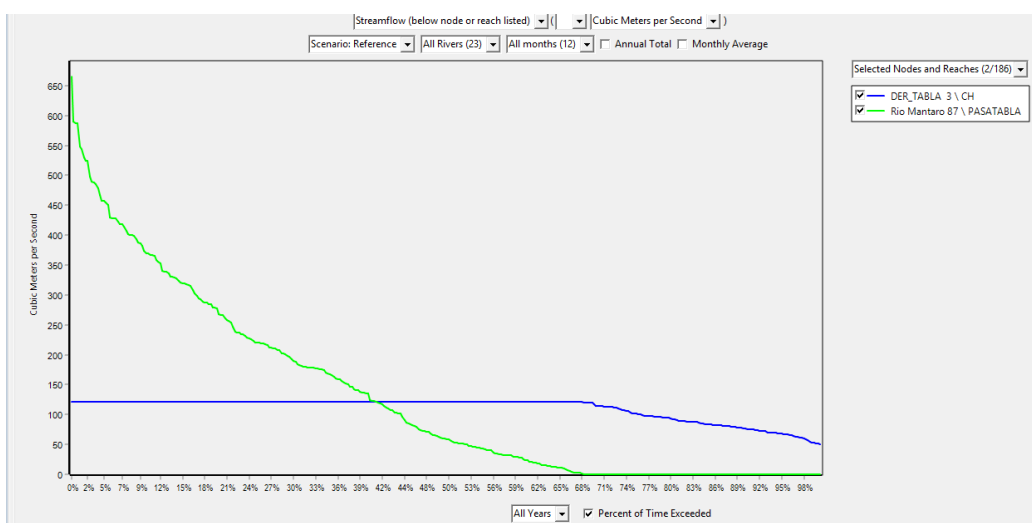


**Figura 60.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales promedios anuales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 61. Relación de los caudales efluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro*  
Fuente: Elaboración Propia.



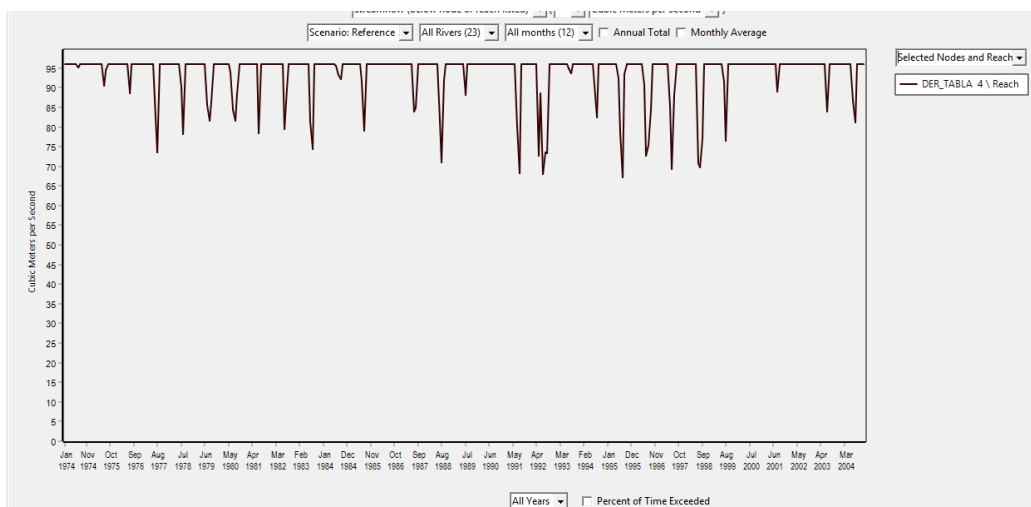
*Figura 62. Curva de persistencia de la Relación de los caudales efluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro*  
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5.2. Simulaciones con el modelo de gestión considerando represamientos

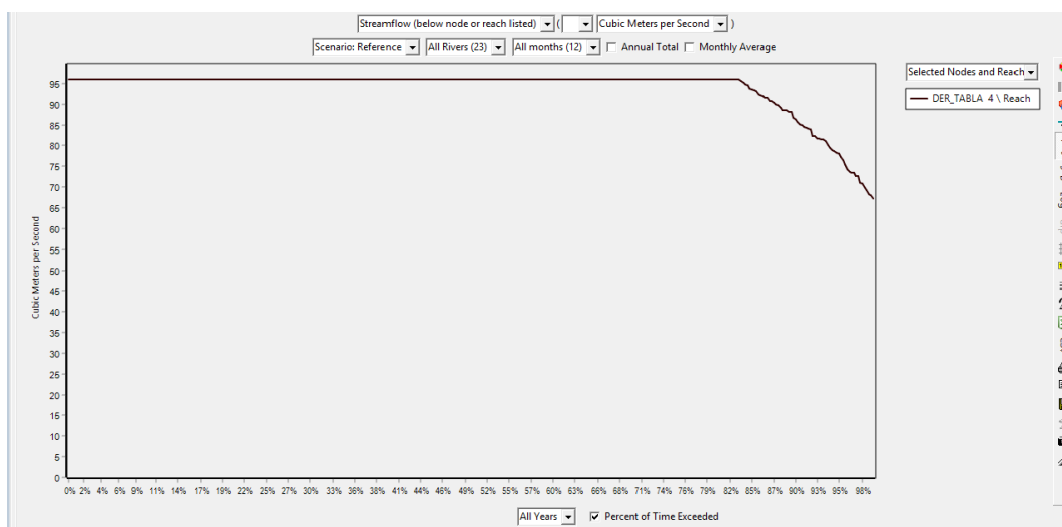
Con esta simulación de operación del sistema de la cuenca Mantaro podemos observar primeramente en la Figura 4.57 y 4.58 las veces que se satisface el requerimiento de la demanda de la central hidroeléctrica en el tiempo y en la frecuencia respectivamente.

Así mismo podemos visualizar los promedios multianuales de cada mes simulado en la que en

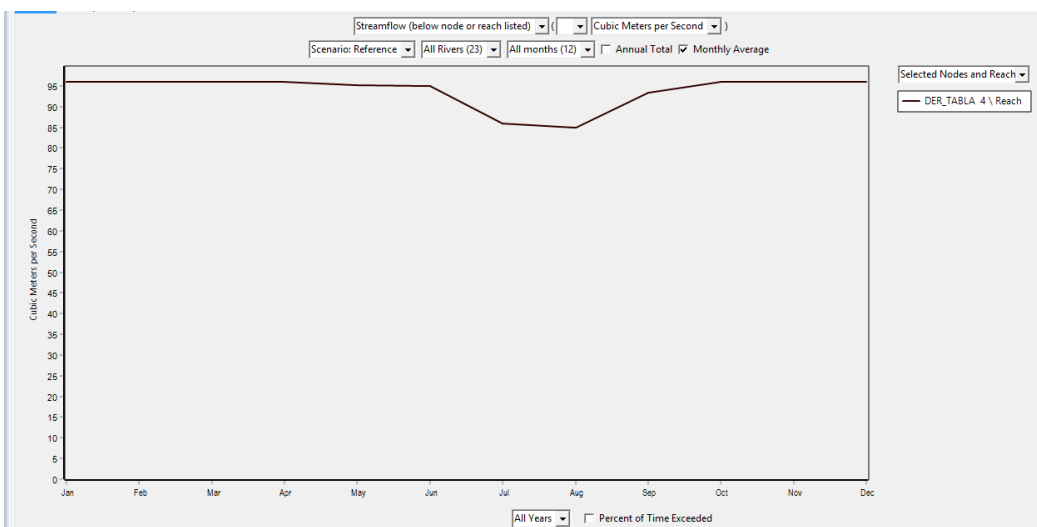
los meses de lluvia la derivación del agua a la central hidroeléctrica es un cien por ciento la persistencia no así en los meses de estiaje pero que se observa la mejora de la persistencia por la presencia de los represamientos de Upamayo y Malpaso lo que conlleva a la propuesta de nuevos represamientos del agua del periodo lluvioso el efecto positivo de los represamientos se puede observar en las Figuras 4.59 y 4.60 y así mismo anualmente en las Figuras 4.61 y 4.62.



**Figura 63.** Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso  
Fuente: Elaboración Propia.

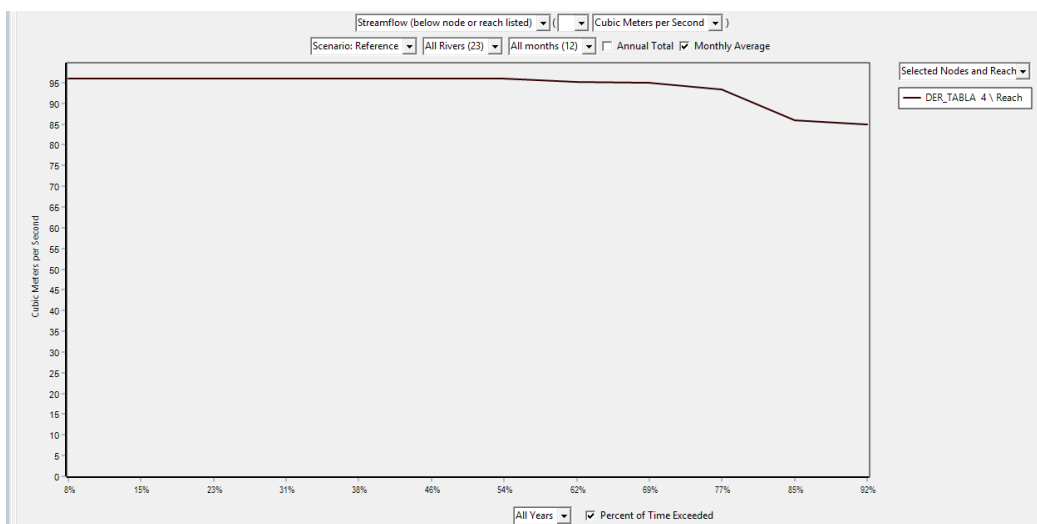


**Figura 64.** Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso  
Fuente: Elaboración Propia.



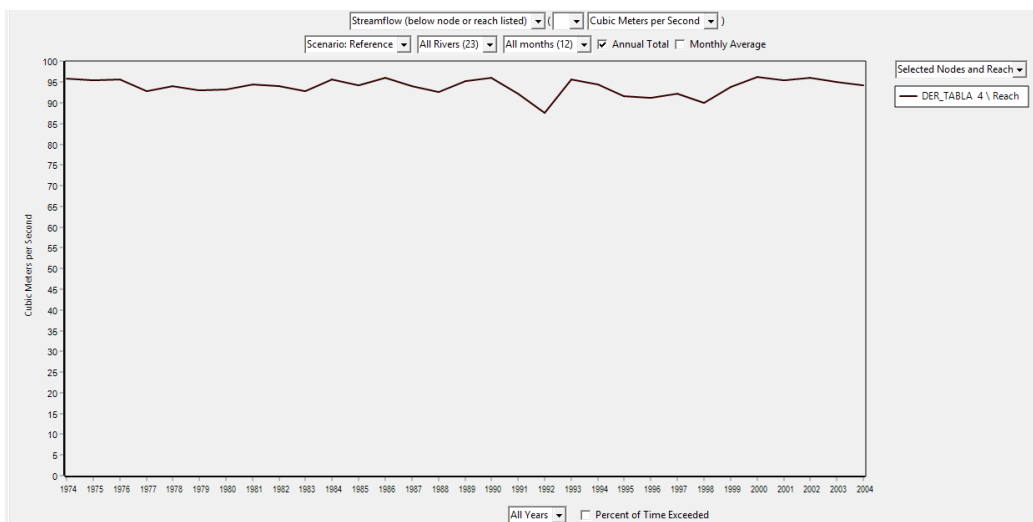
*Figura 65.* Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso

Fuente: Elaboración Propia.

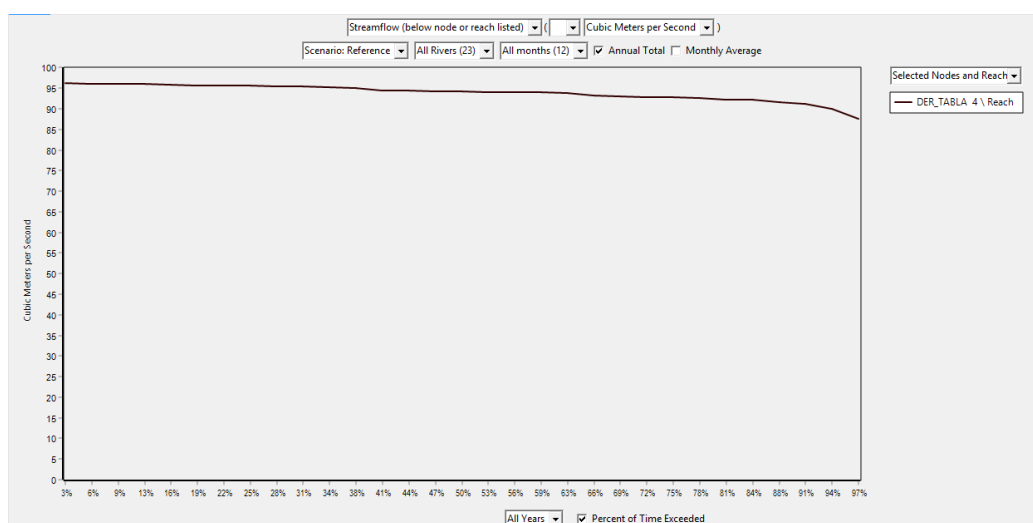


*Figura 66.* Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso

Fuente: Elaboración Propia.

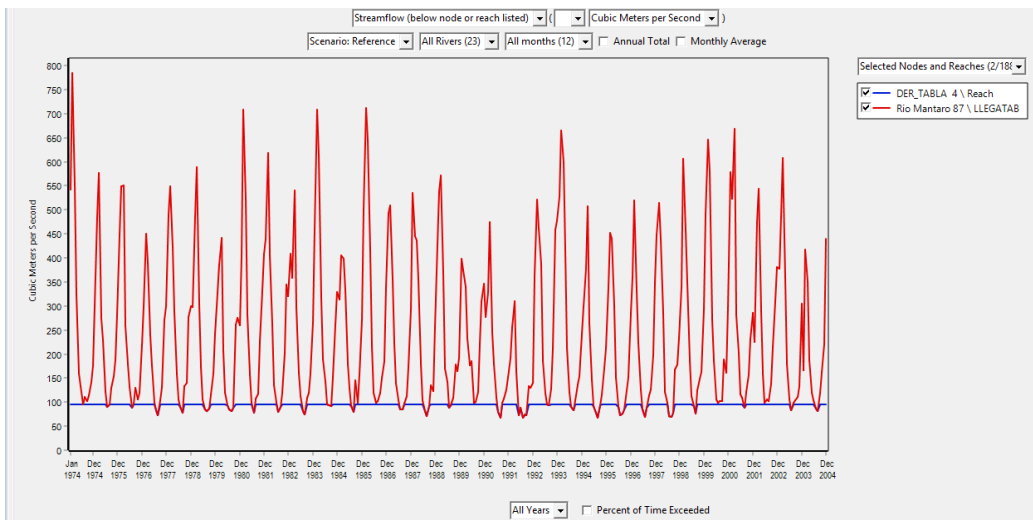


*Figura 67.* Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso  
Fuente: Elaboración Propia.

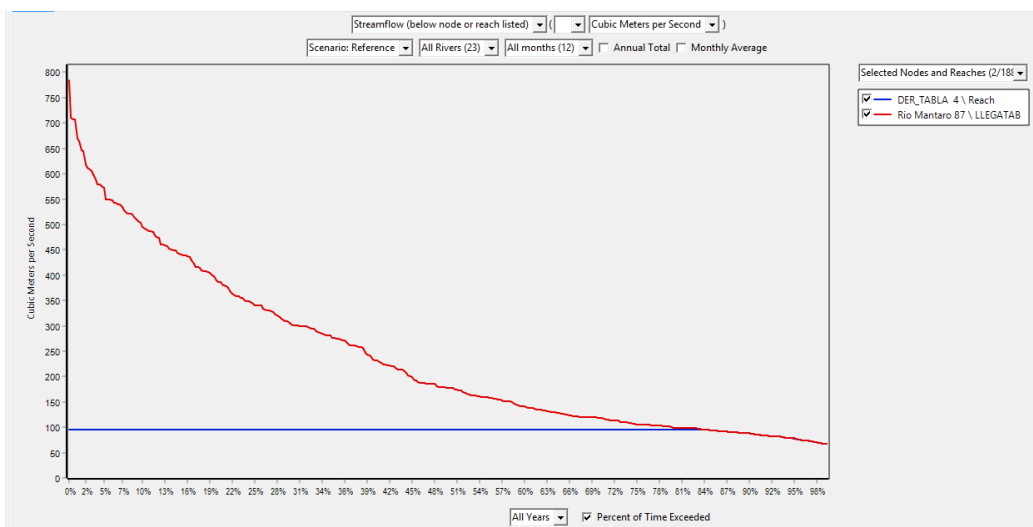


*Figura 68.* Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso  
Fuente: Elaboración Propia.

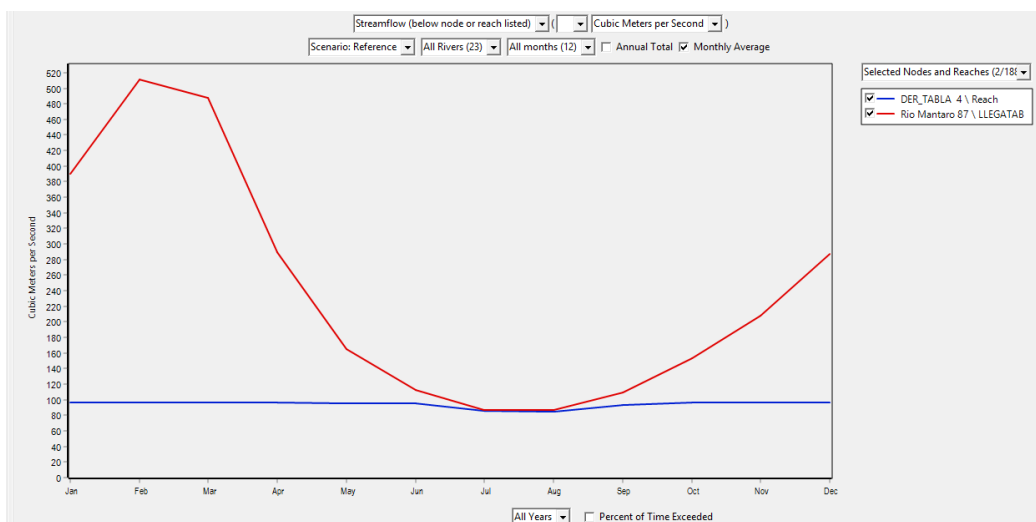
En las Figuras N° 69 y 70 se observa la relación de las caudales disponibilidades en el punto de Tablachaca y los caudales derivados a la central hidroeléctrica, así mismo en las Figuras N° 73 y 74 se observa la relación de los caudales no derivados en el punto de Tablachaca y los caudales derivados a la central hidroeléctrica.



**Figura 69.** Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso  
 Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 70.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.  
 Fuente: Elaboración Propia.



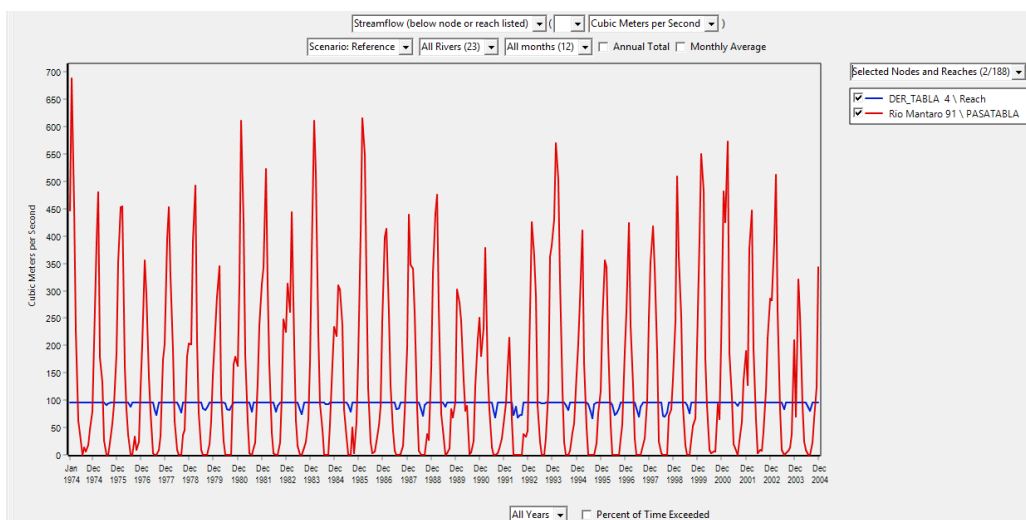
*Figura 71.* Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



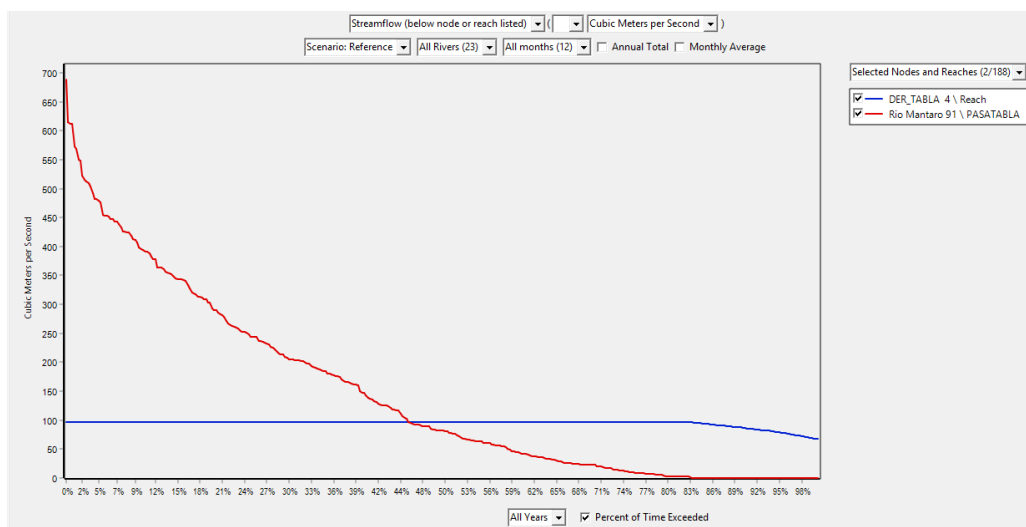
*Figura 72.* Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



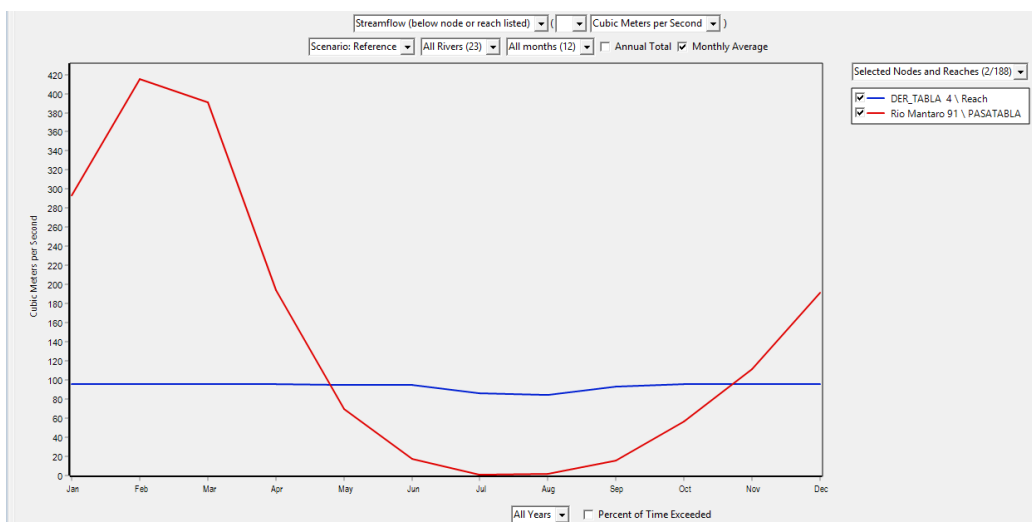
*Figura 73.* Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 74.* Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso

Fuente: Elaboración Propia.



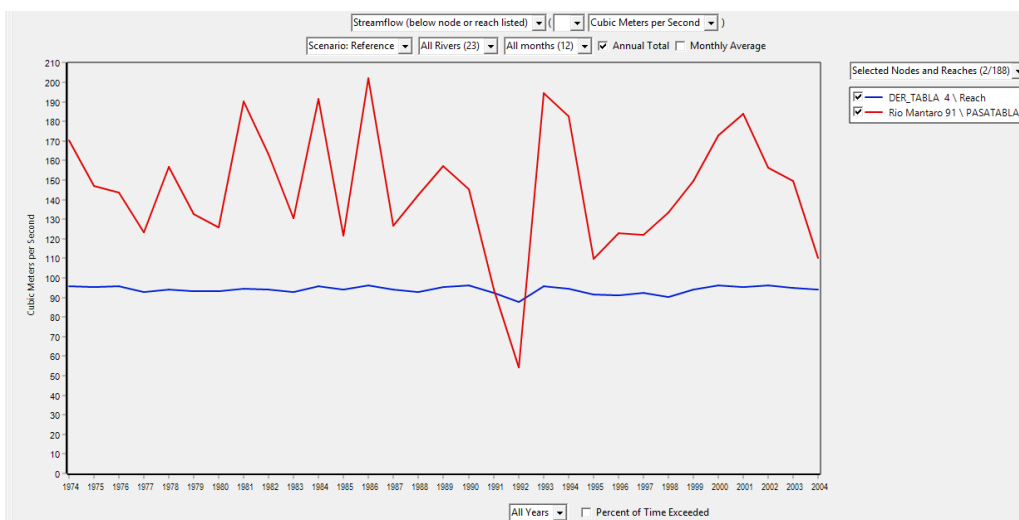
*Figura 75.* Relación de los Caudales promedios mensuales multianuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso

Fuente: Elaboración Propia.



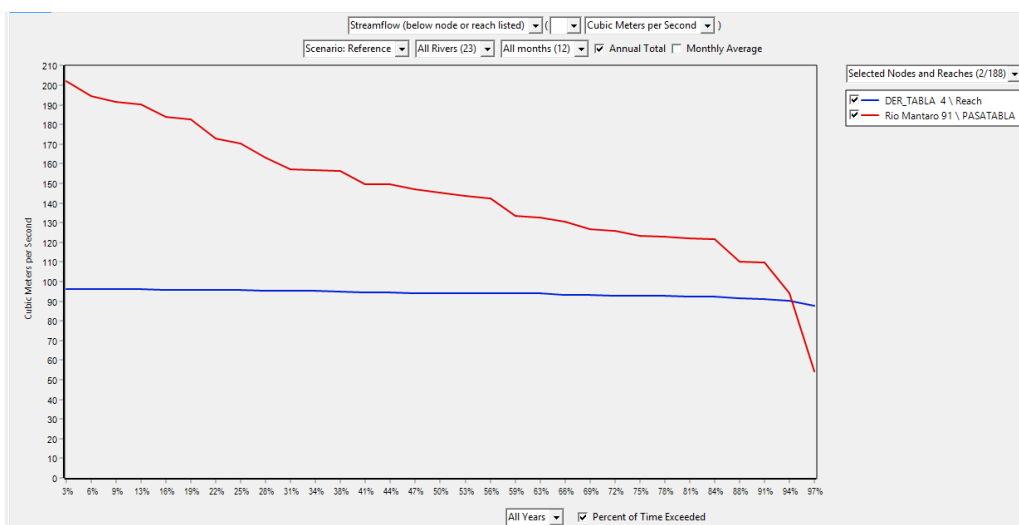
*Figura 76.* Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 77.** Relación de los Caudales promedio anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedio anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 78.** Curva de persistencia Caudales promedio anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedio anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.

En las Figuras N° 79 y 80 se observa la relación de los caudales regulados en Upamayo y los caudales derivados a la central hidroeléctrica, así mismo en las Figuras N° 85 y 86 se observa la variación de los volúmenes almacenados en Upamayo durante el periodo de simulación, en las Figuras N° 89 y 90 se observa la variación de los volúmenes almacenados en Malpaso durante el periodo de simulación.

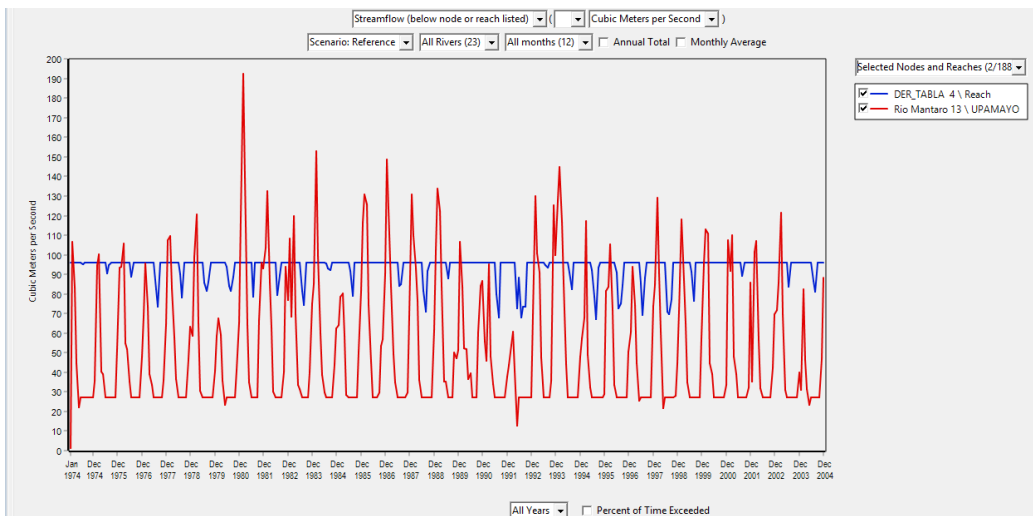


Figura 79. Relación de los Caudales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.

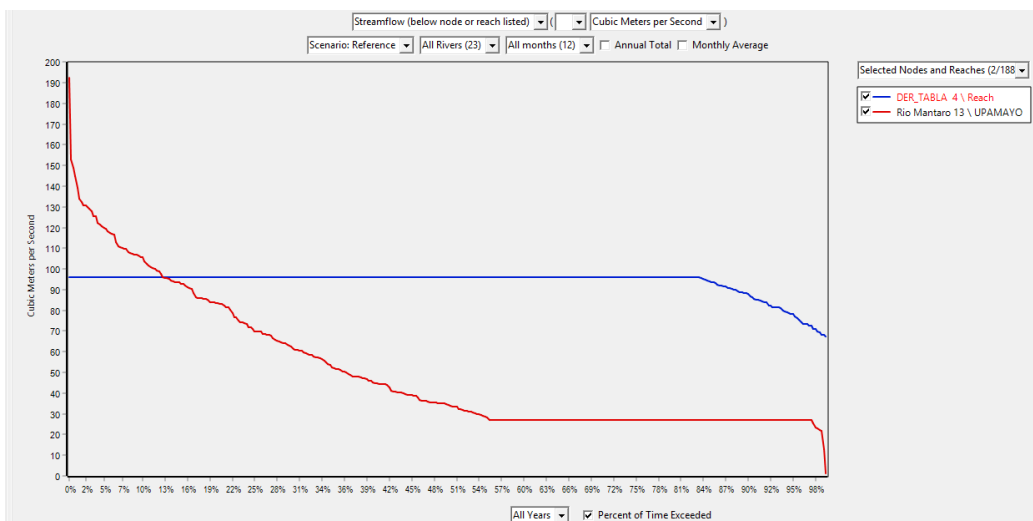
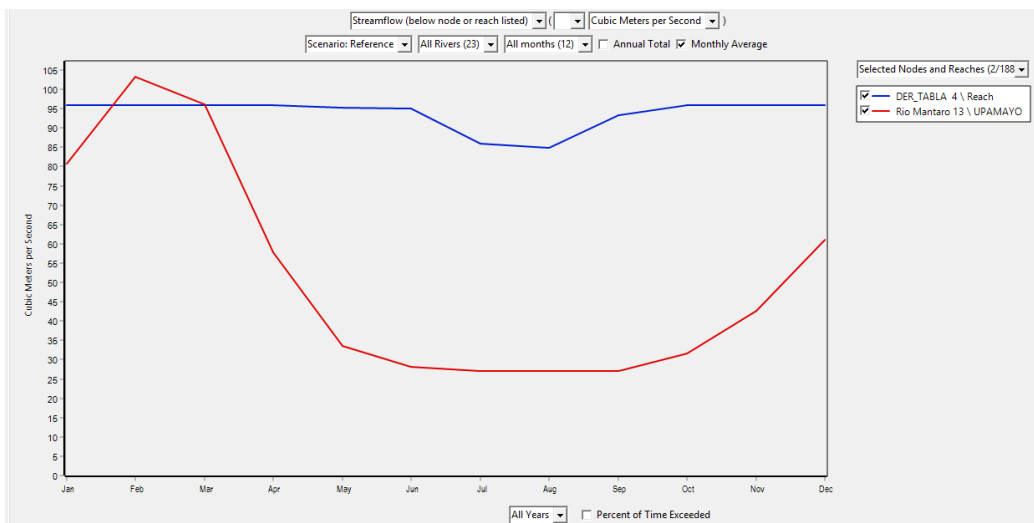


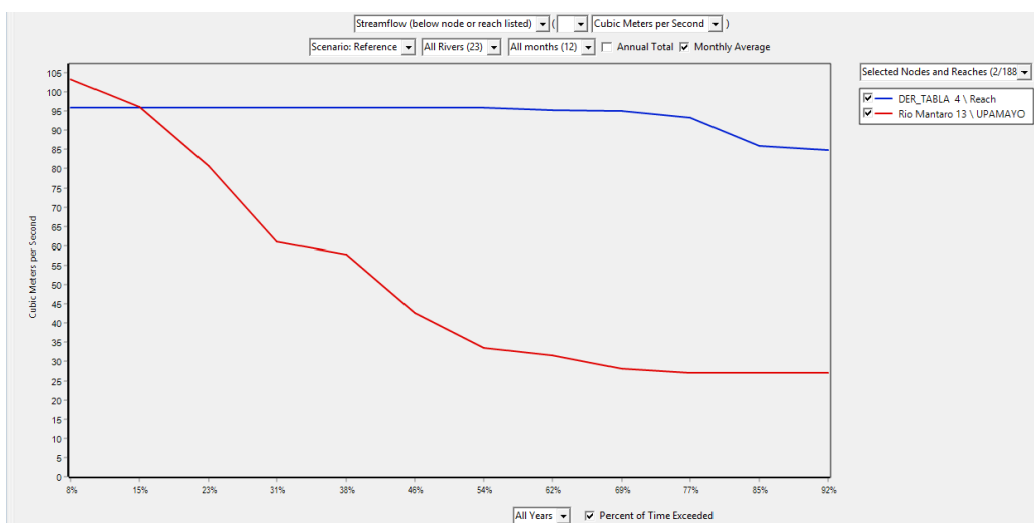
Figura 80. Curva de persistencia de la Relación de los caudales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



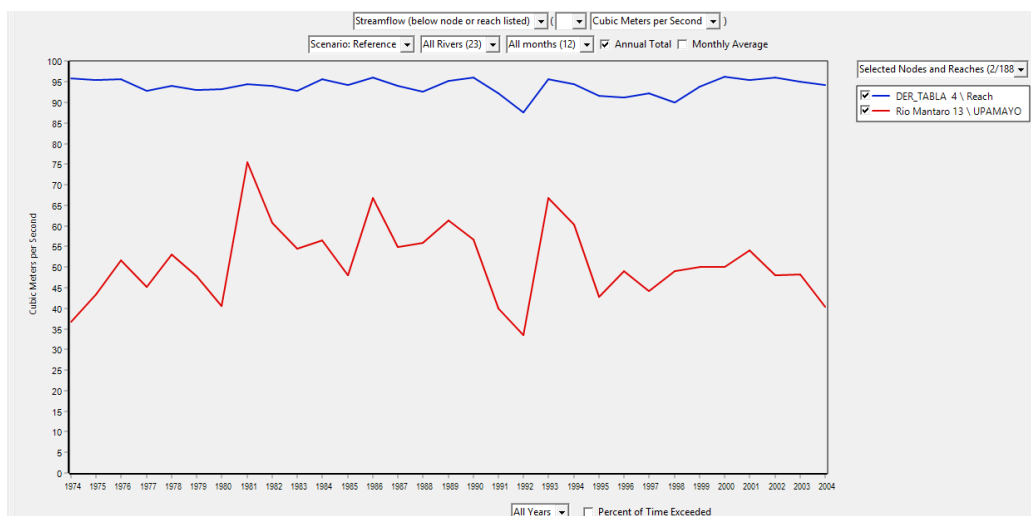
*Figura 81.* Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



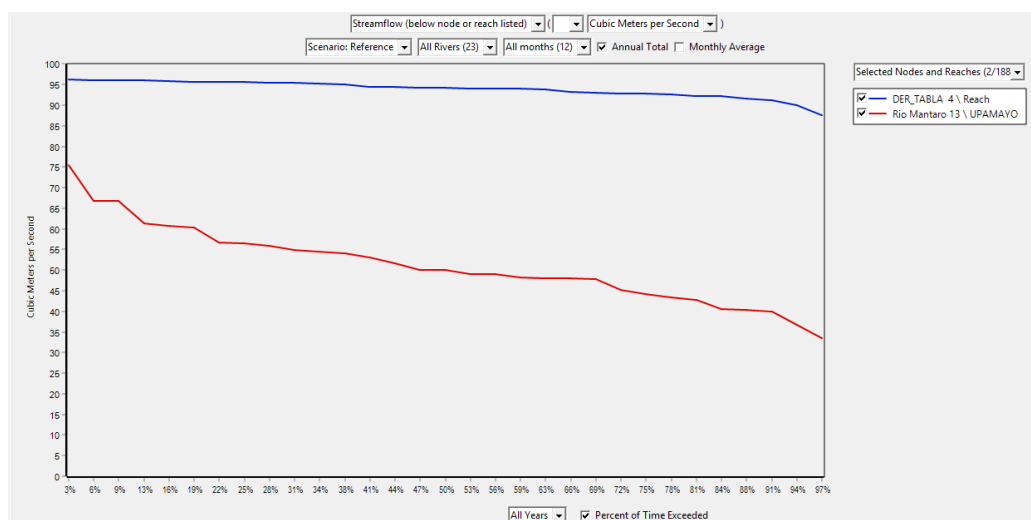
*Figura 82.* Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



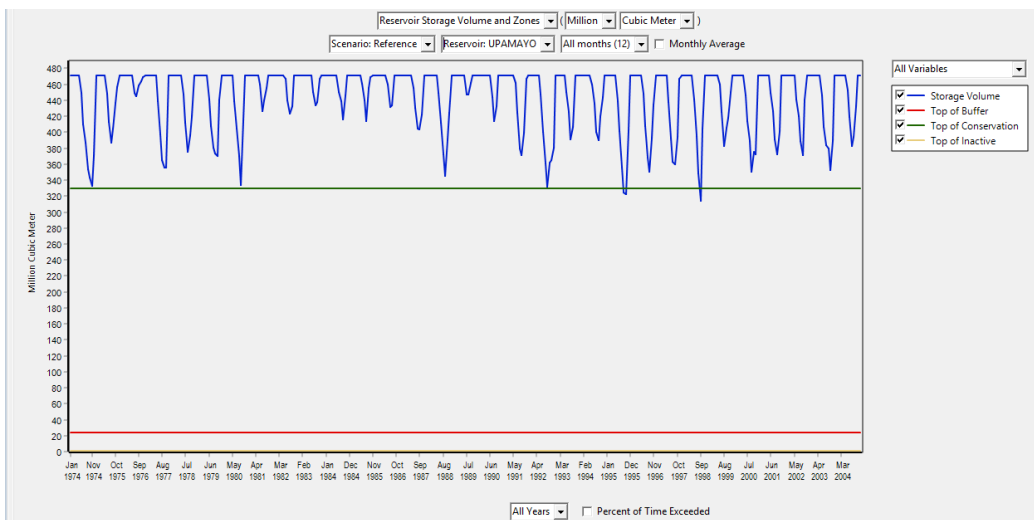
*Figura 83.* Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.

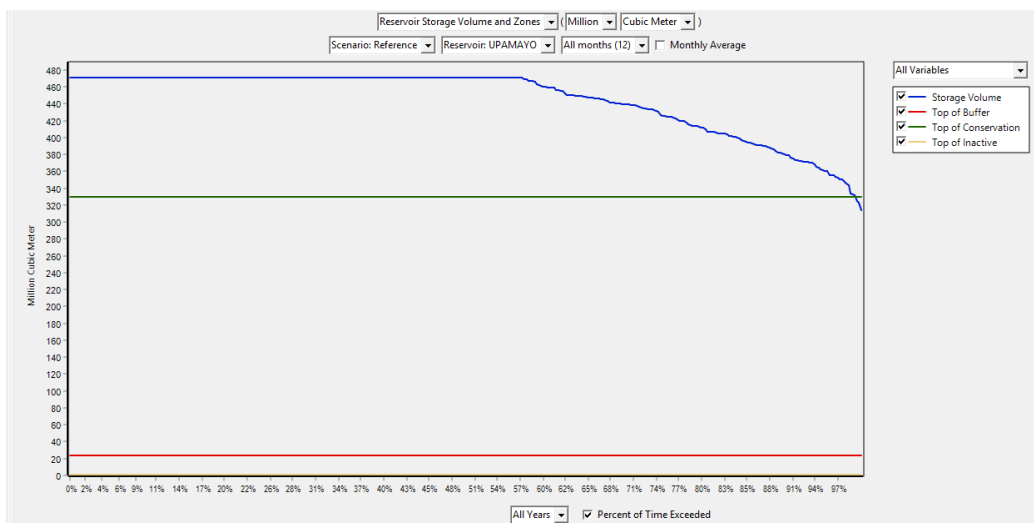


*Figura 84.* Curva de persistencia de la Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 85.* Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.  
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 86.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.  
Fuente: Elaboración Propia.

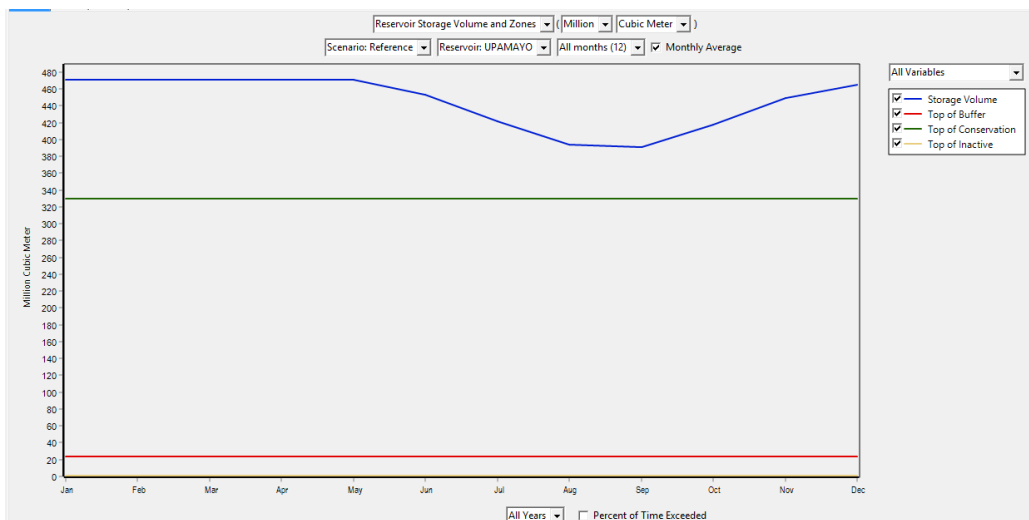


Figura 87. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

Fuente: Elaboración Propia.

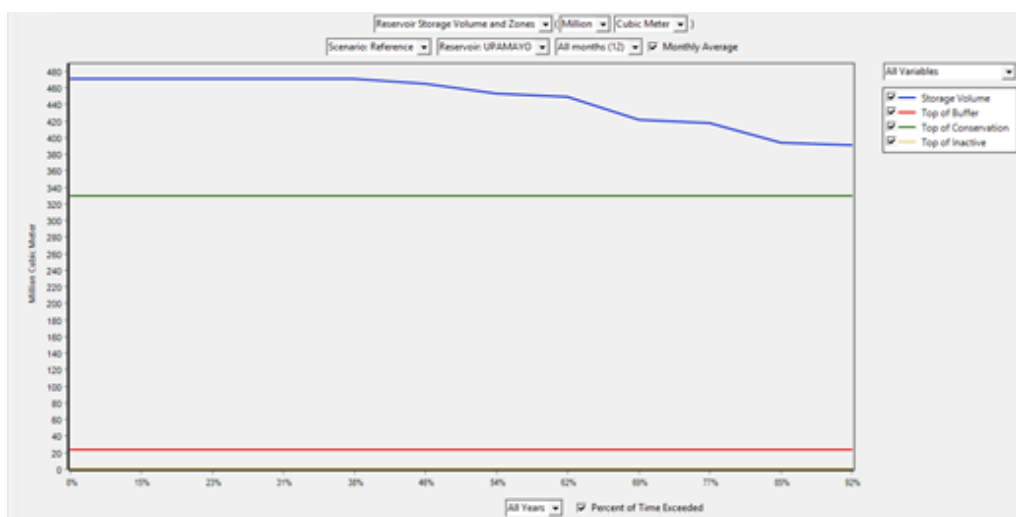
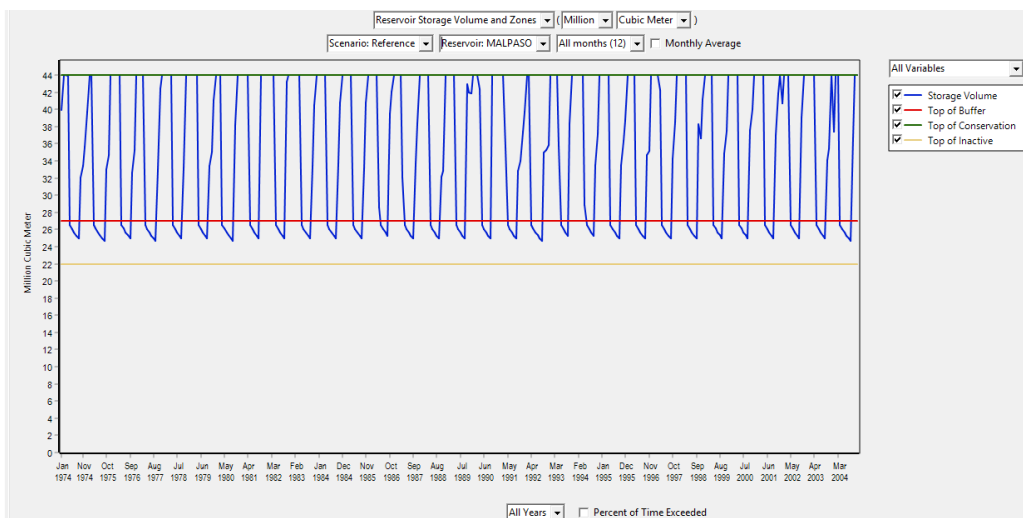
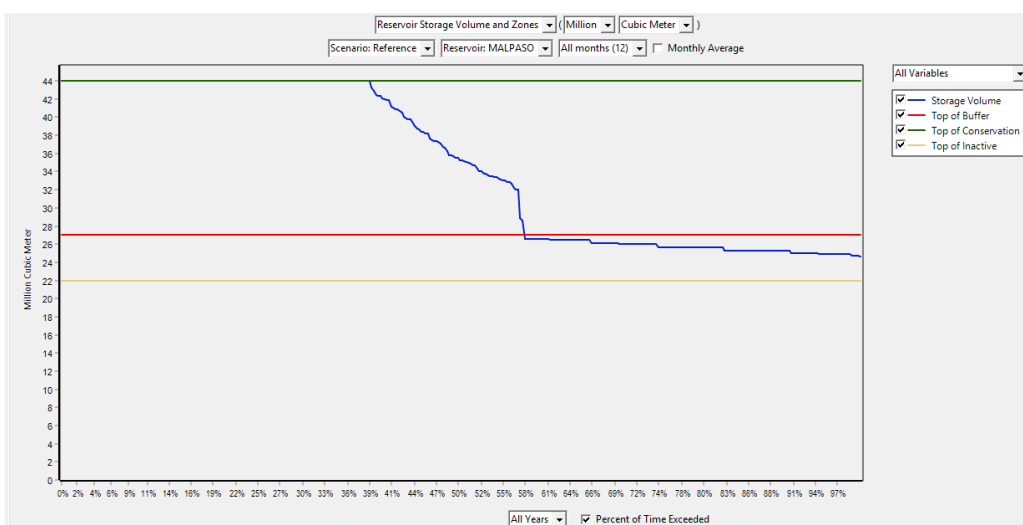


Figura 88. Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

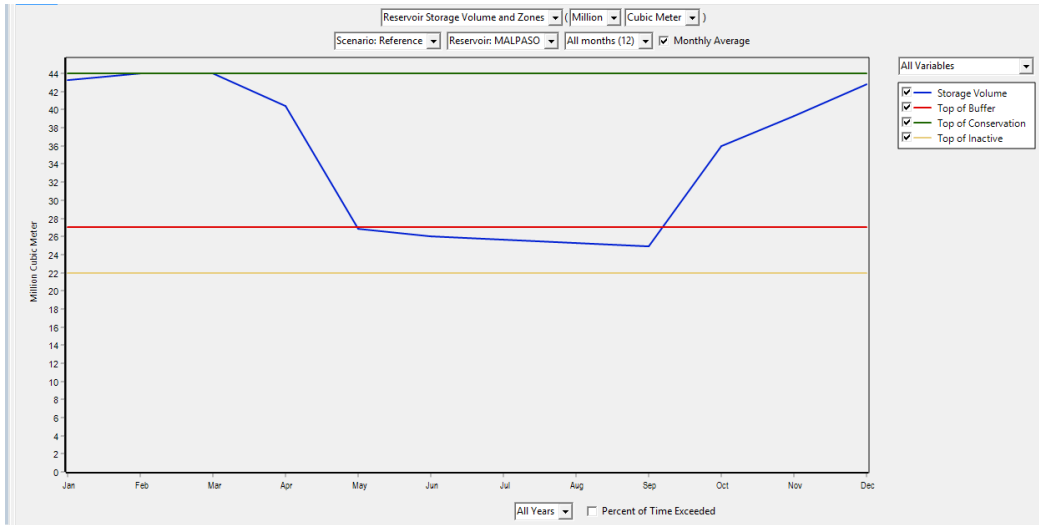
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 89.** Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.  
Fuente: Elaboración Propia.

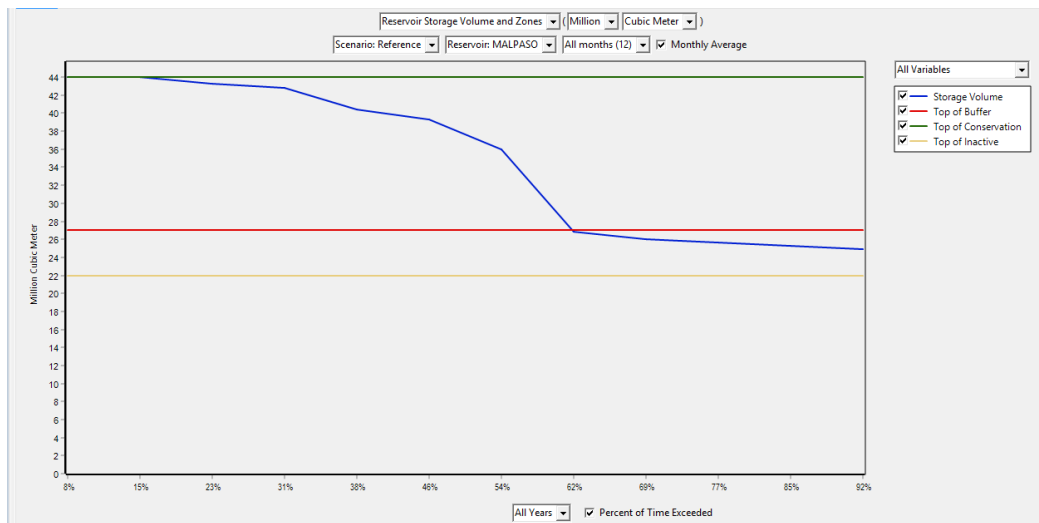


**Figura 90.** Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.  
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 91.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

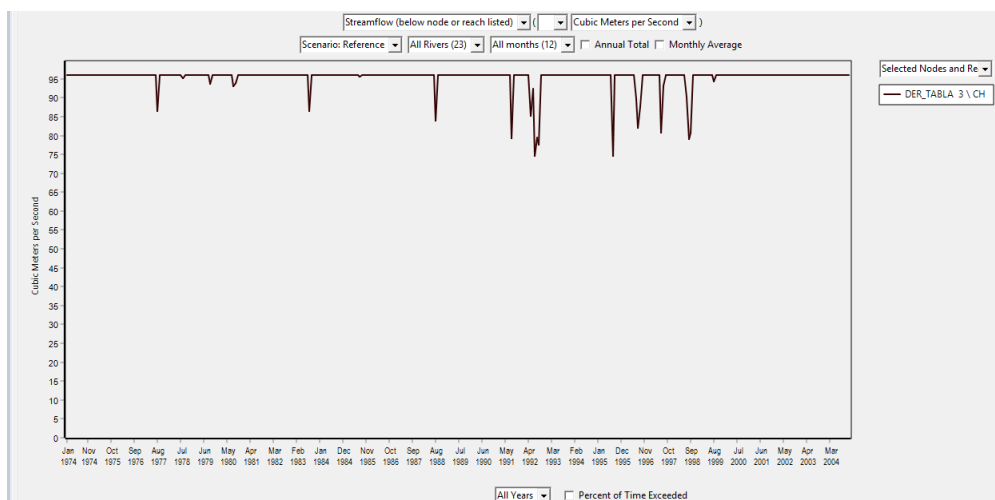
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 92.* Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos Upamayo y Malpaso.

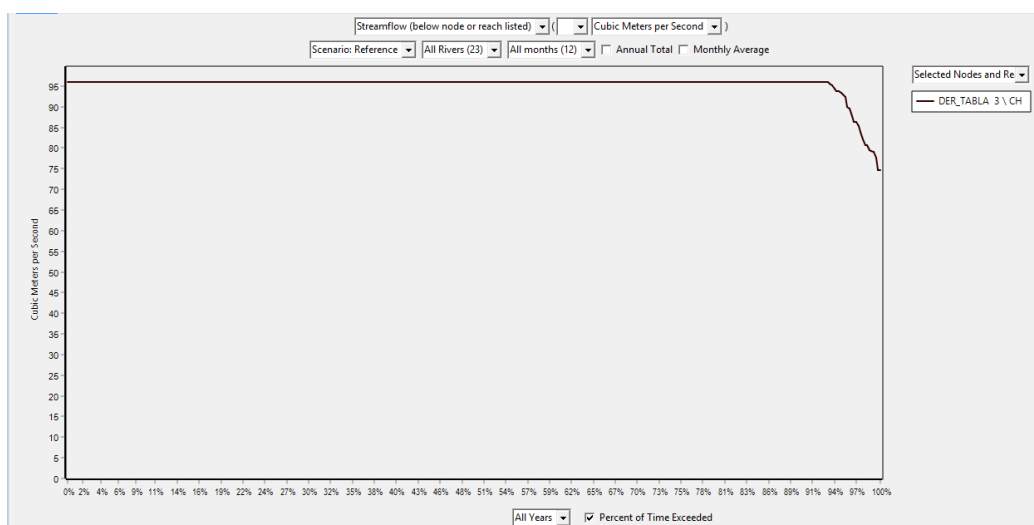
Fuente: Elaboración Propia.

### 4.5.3. Simulaciones con el modelo de gestión considerando represamientos de afluentes



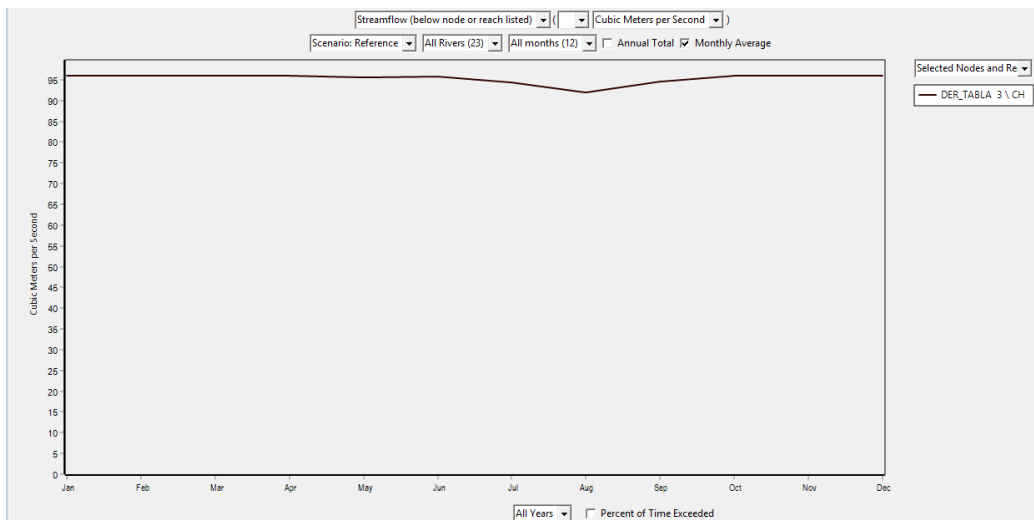
*Figura 93.* Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



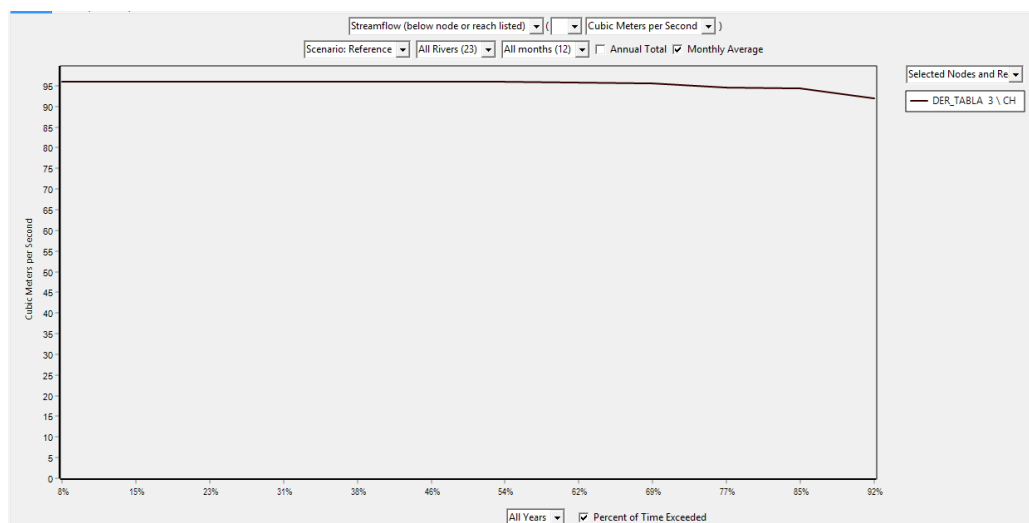
*Figura 94.* Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



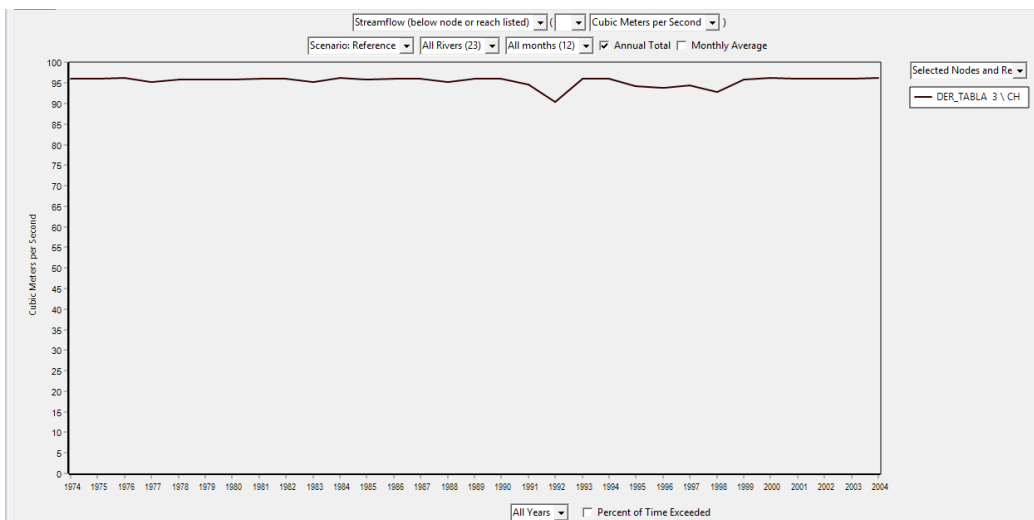
**Figura 95.** Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

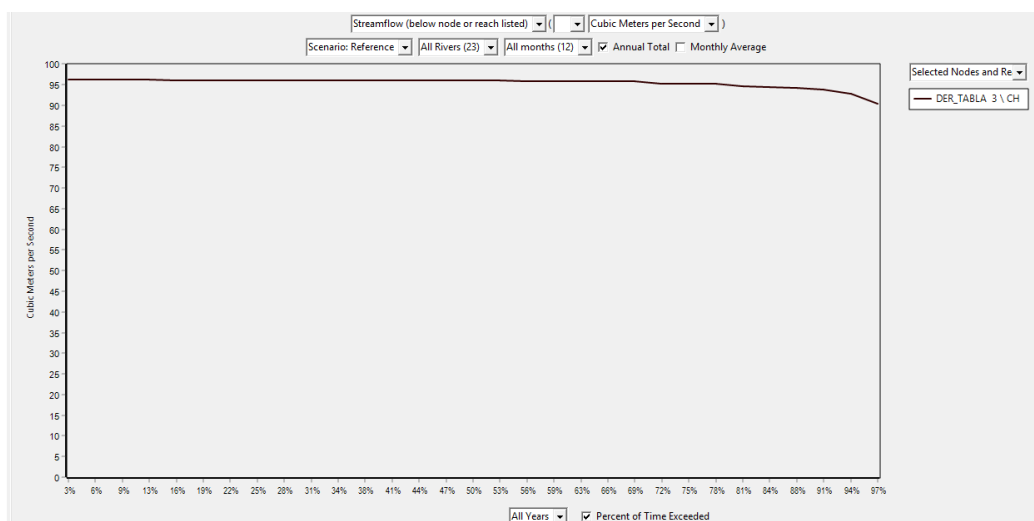


**Figura 96.** Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 97.* Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 98.* Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.

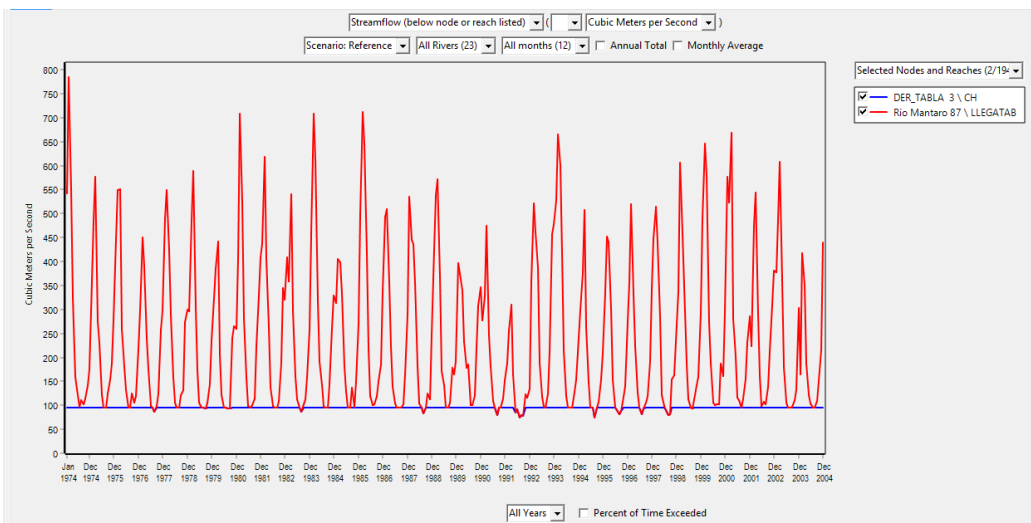


Figura 99. Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

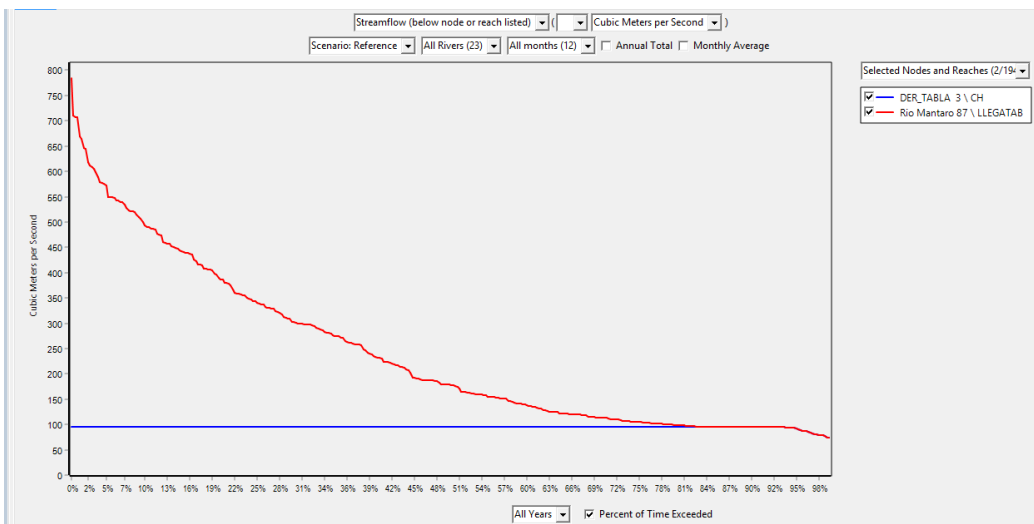
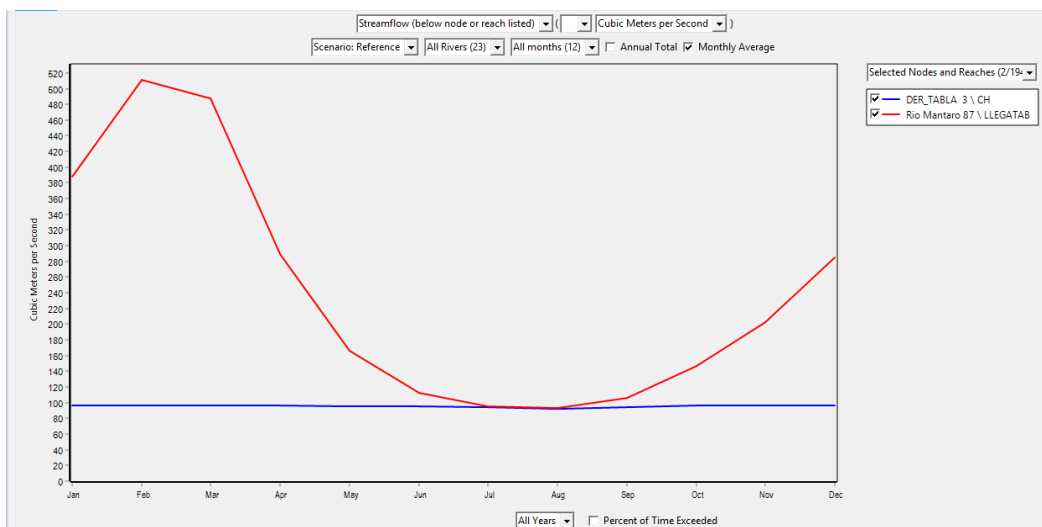


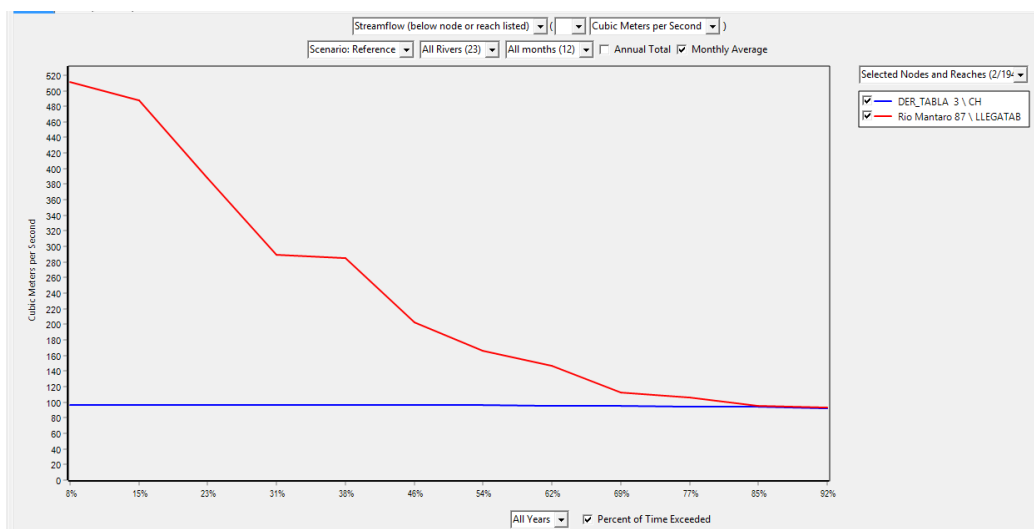
Figura 100. Curva de persistencia de la Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



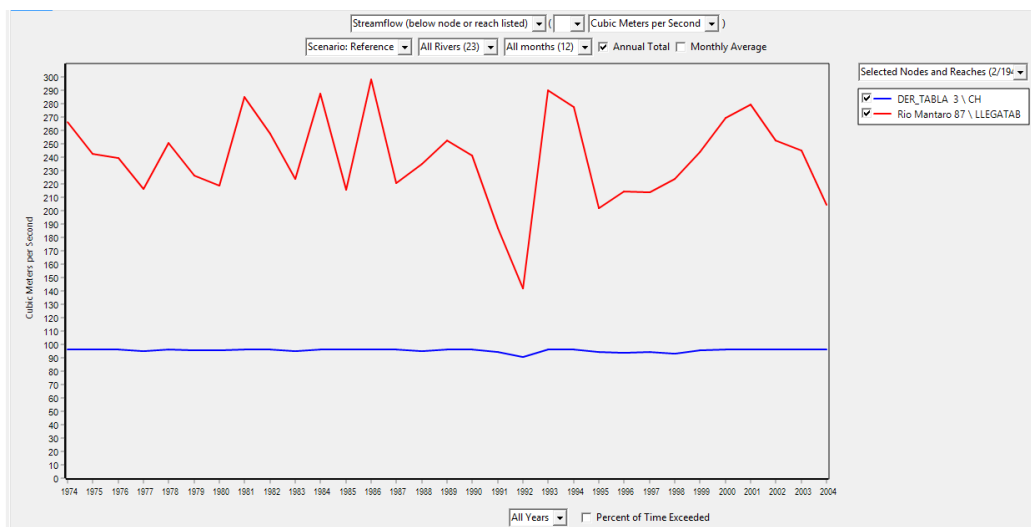
*Figura 101.* Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



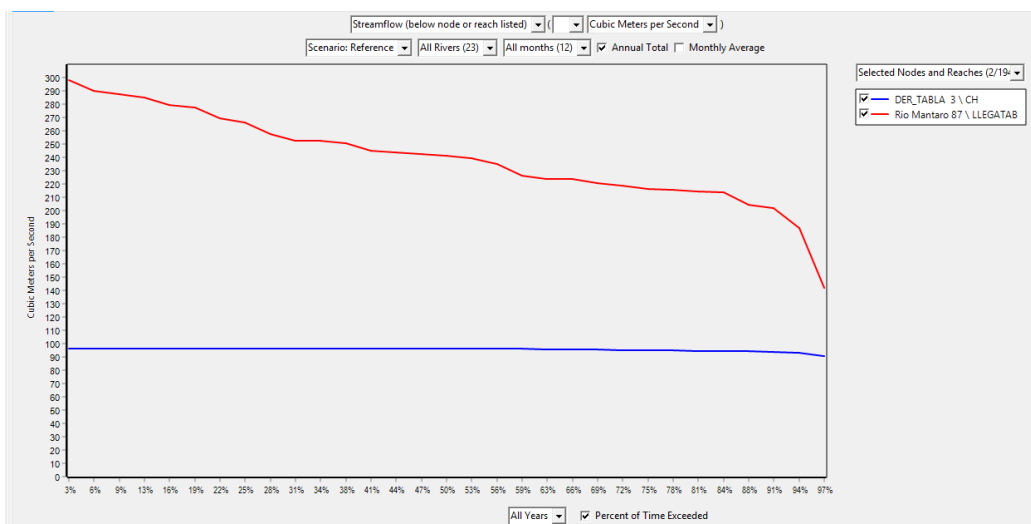
*Figura 102.* Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



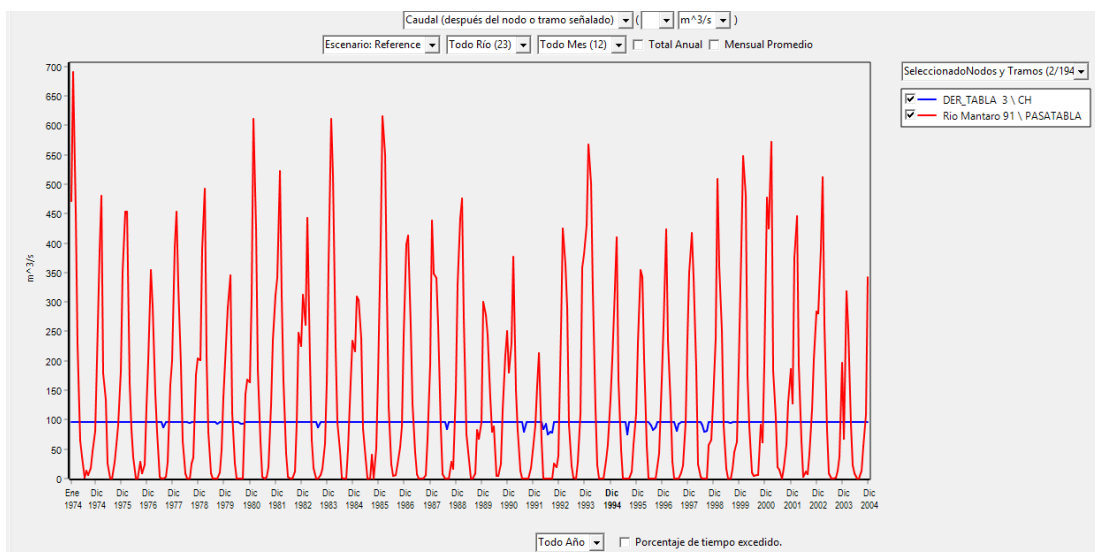
*Figura 103.* Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia



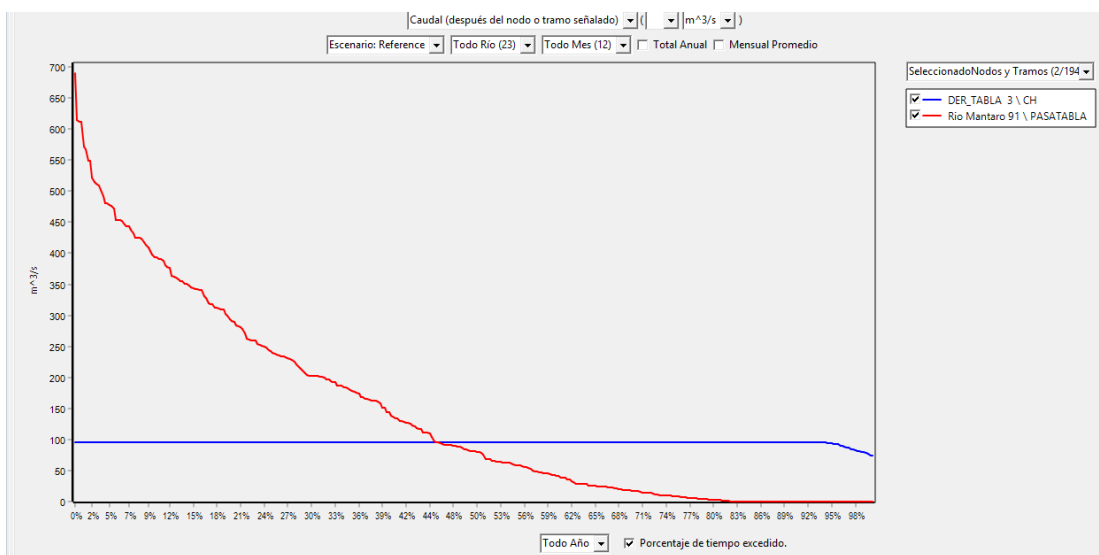
*Figura 104.* Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



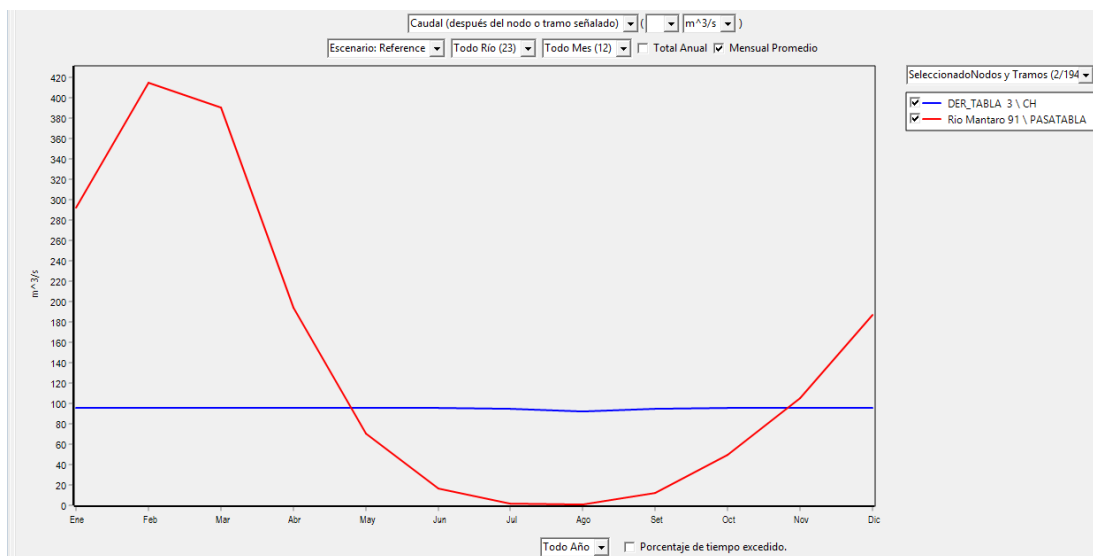
**Figura 105.** Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

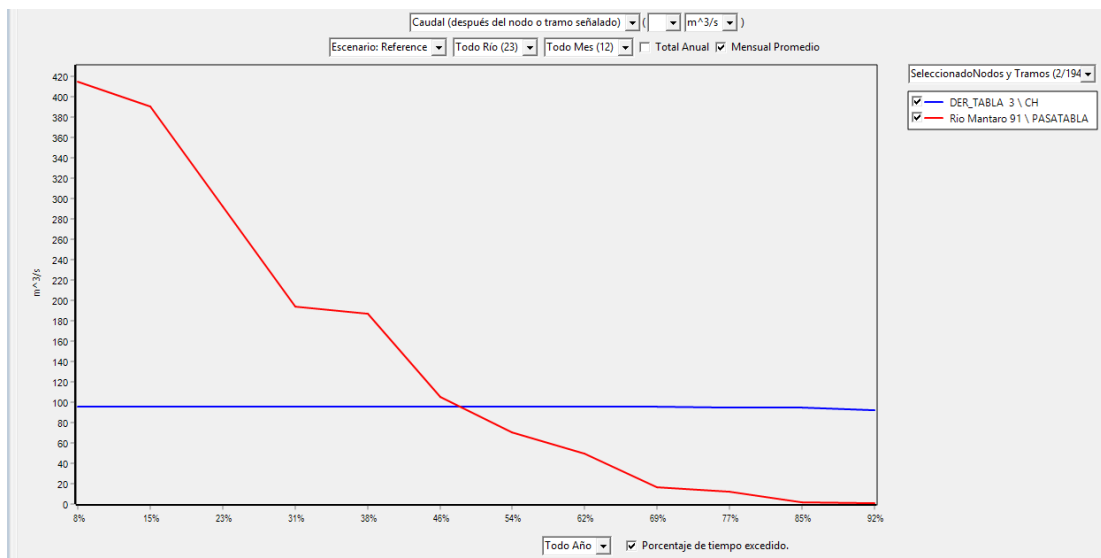


**Figura 106.** Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

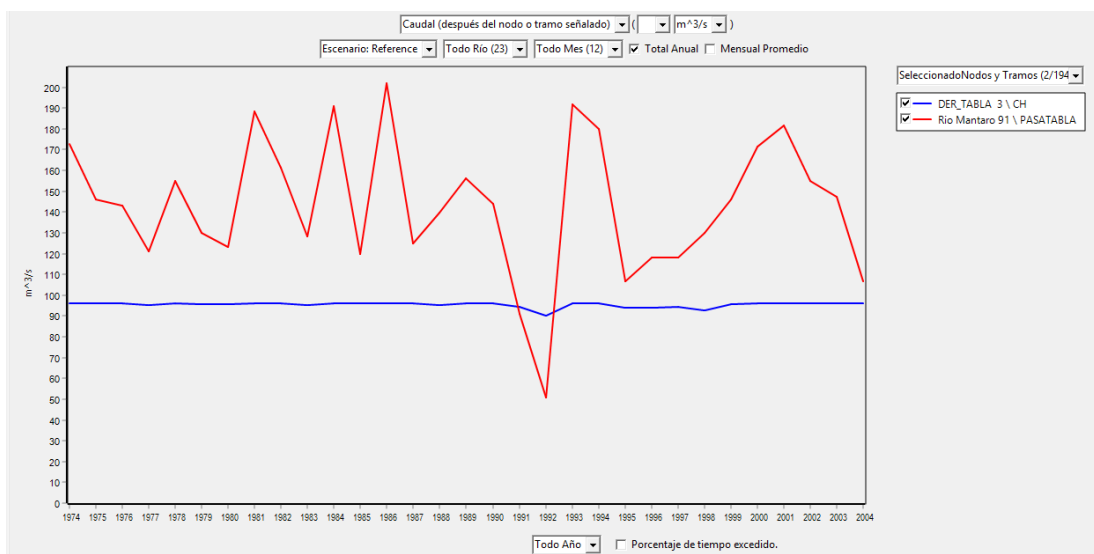
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 107.** Relación de los Caudales promedios mensuales multianual efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.

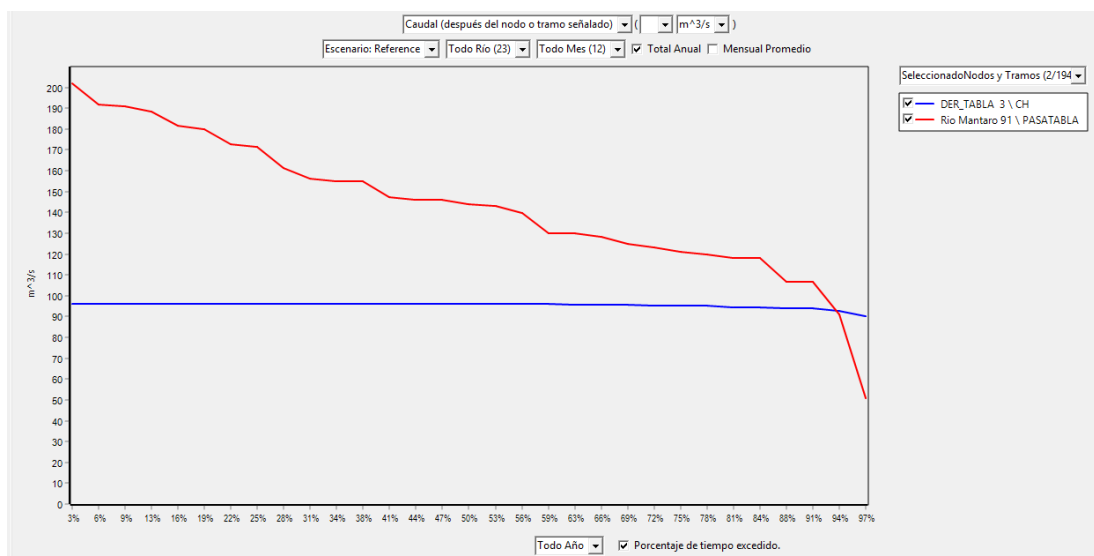


**Figura 108.** Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.



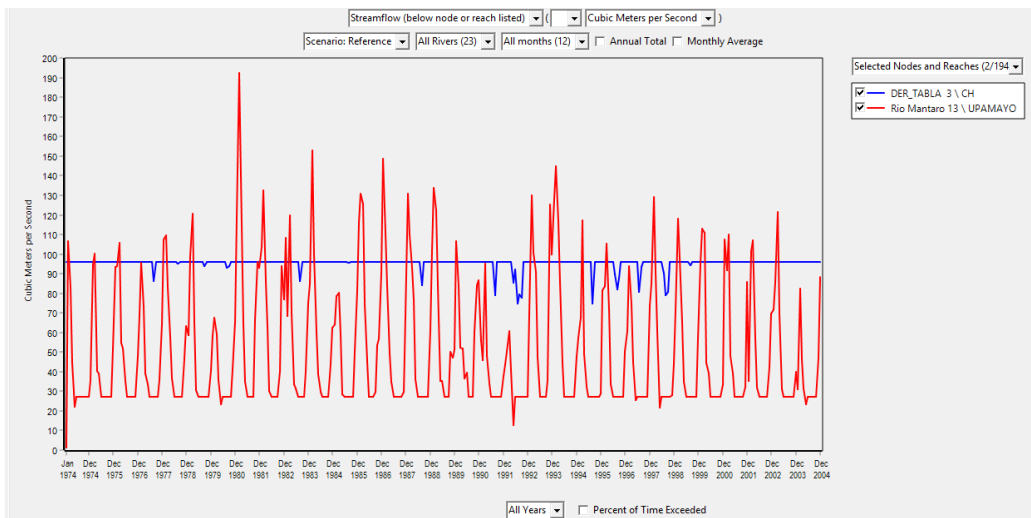
**Figura 109.** Relación de los Caudales promedios anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



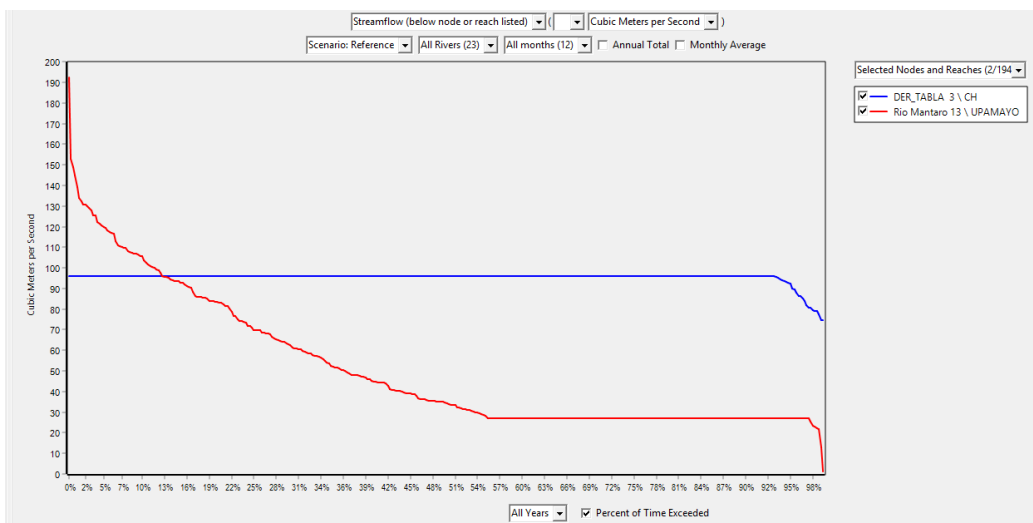
**Figura 110.** Curva de persistencia Caudales promedios anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 111.** Relación de los Caudales efluentes de upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 112.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

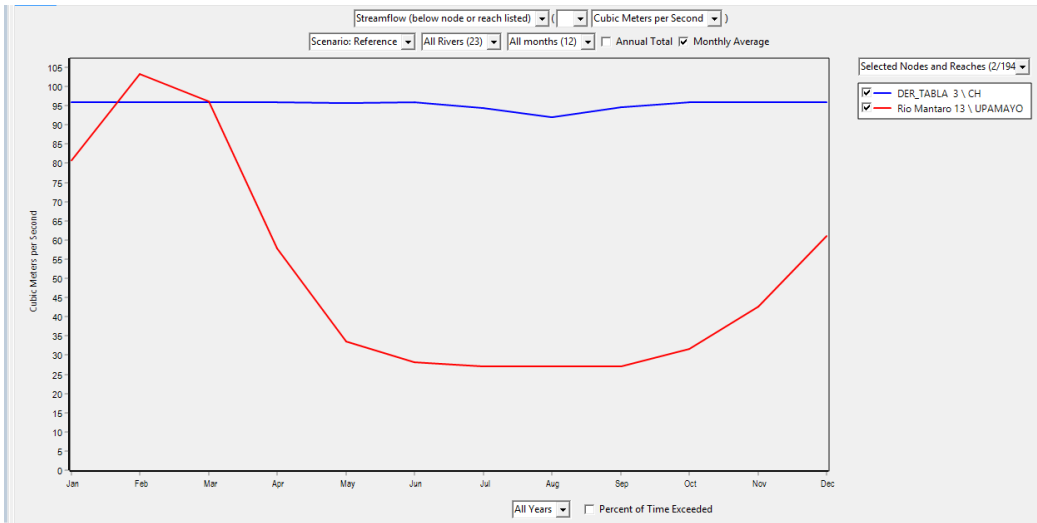


Figura 113. Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

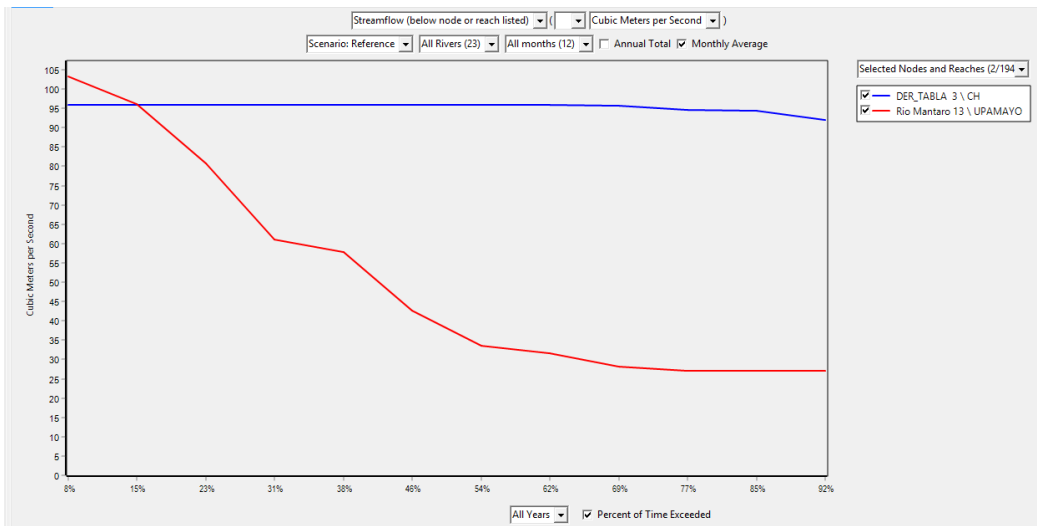
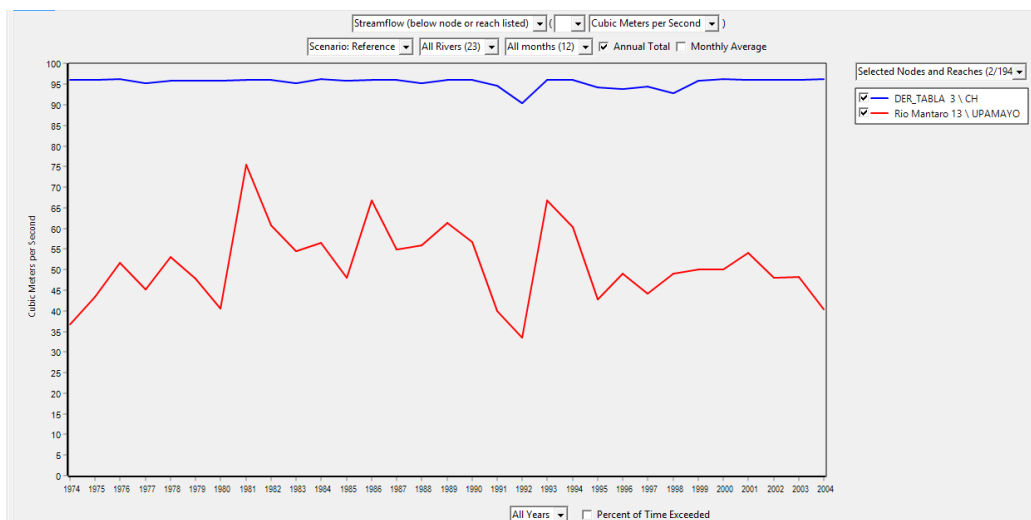


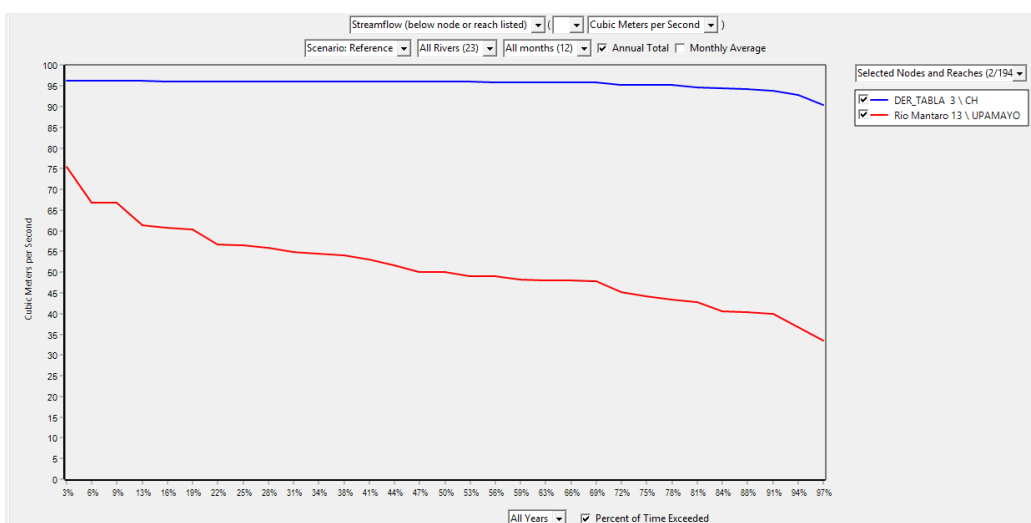
Figura 114. Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



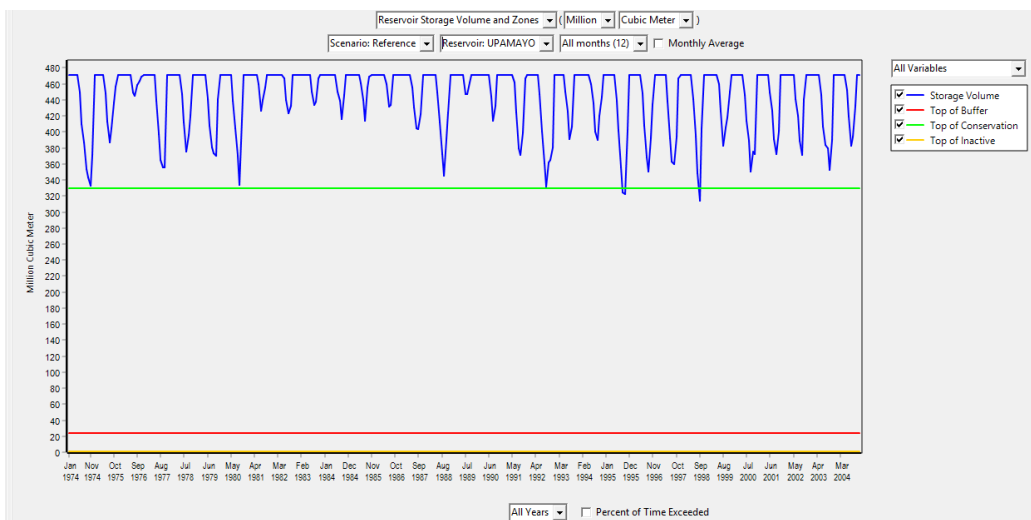
**Figura 115.** Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



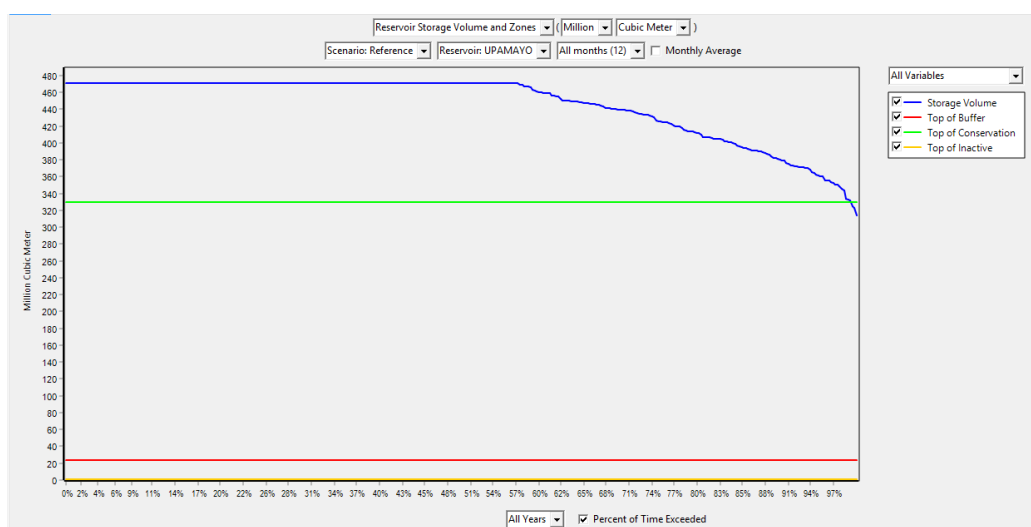
**Figura 116.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



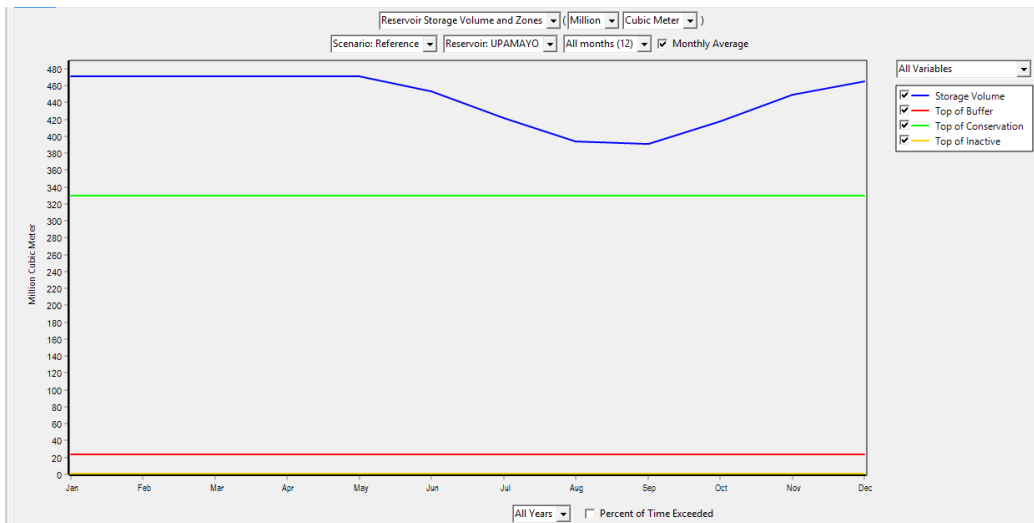
**Figura 117.** Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

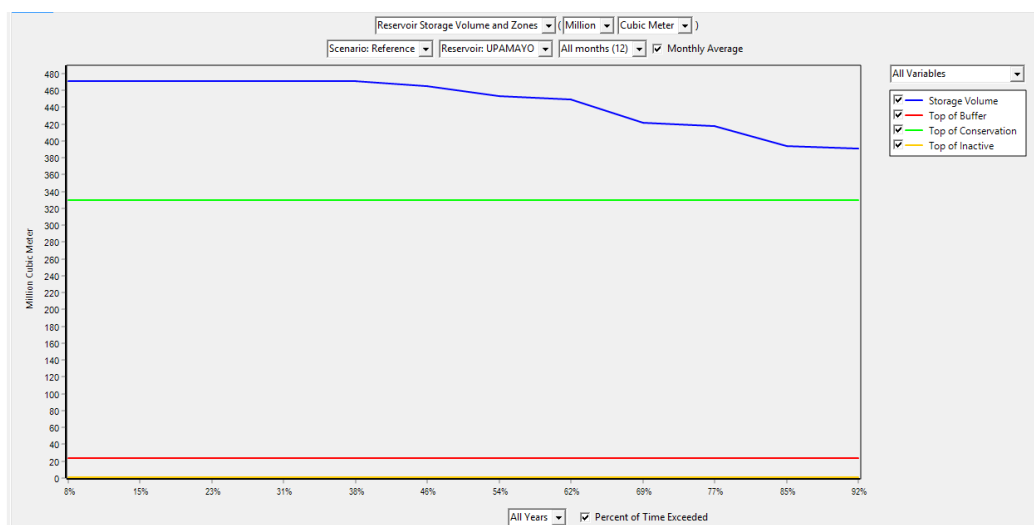


**Figura 118.** Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

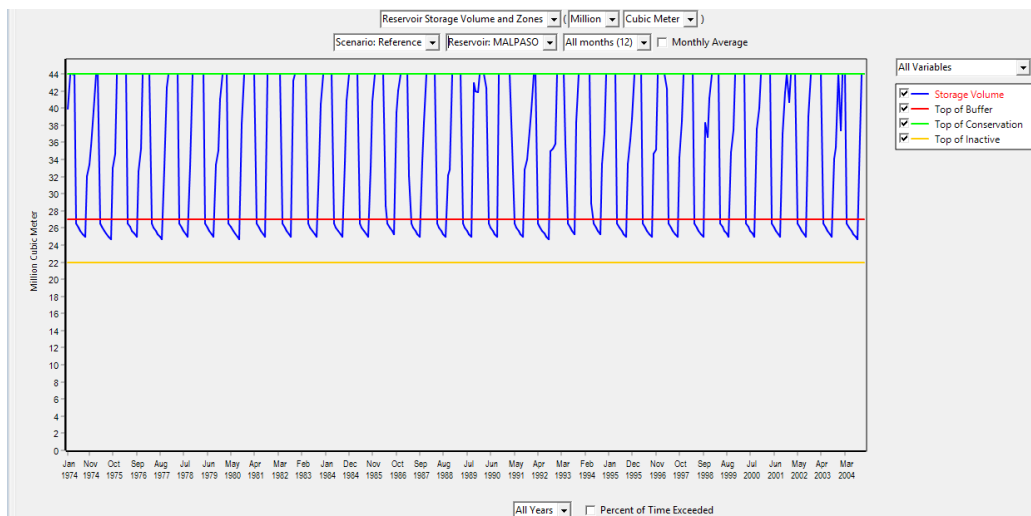
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 119.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.

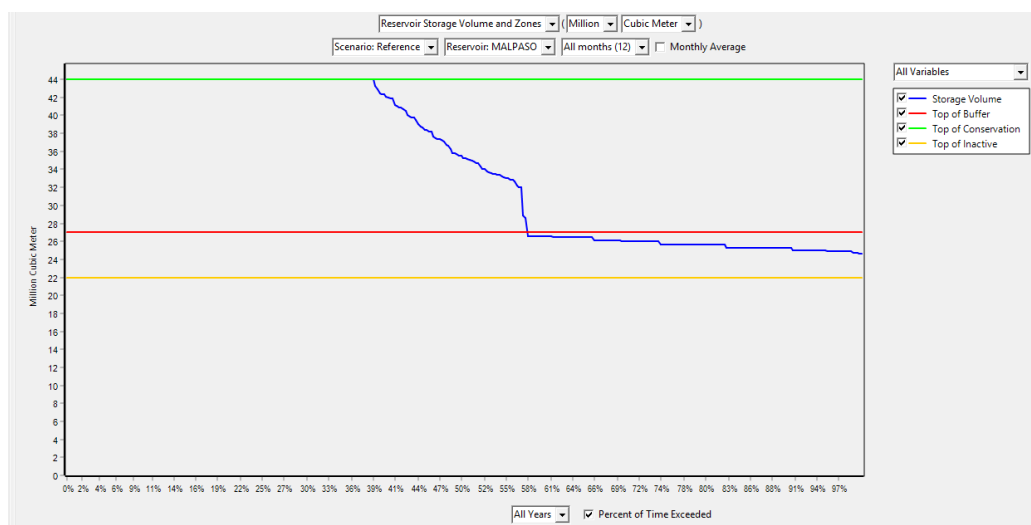


*Figura 120.* Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.



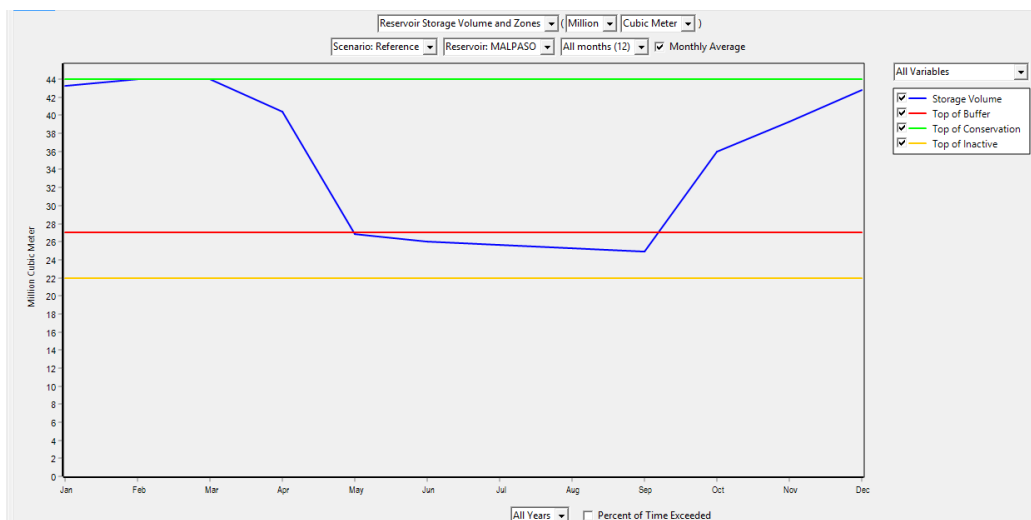
*Figura 121.* Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

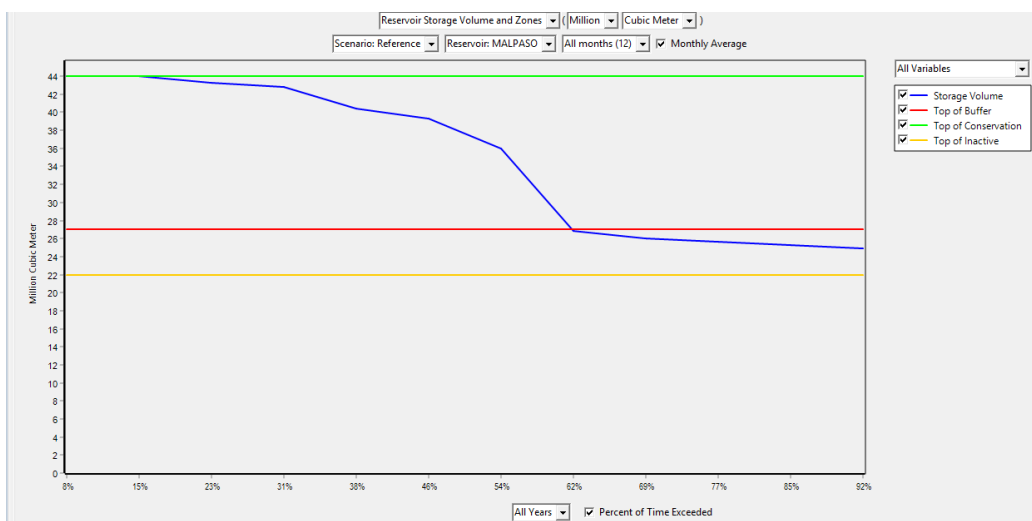


*Figura 122.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

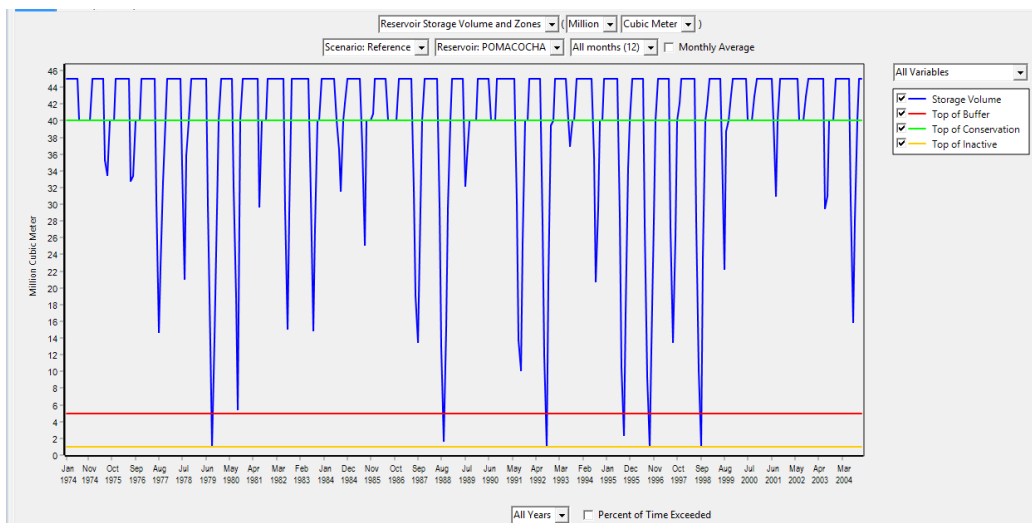
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 123.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.

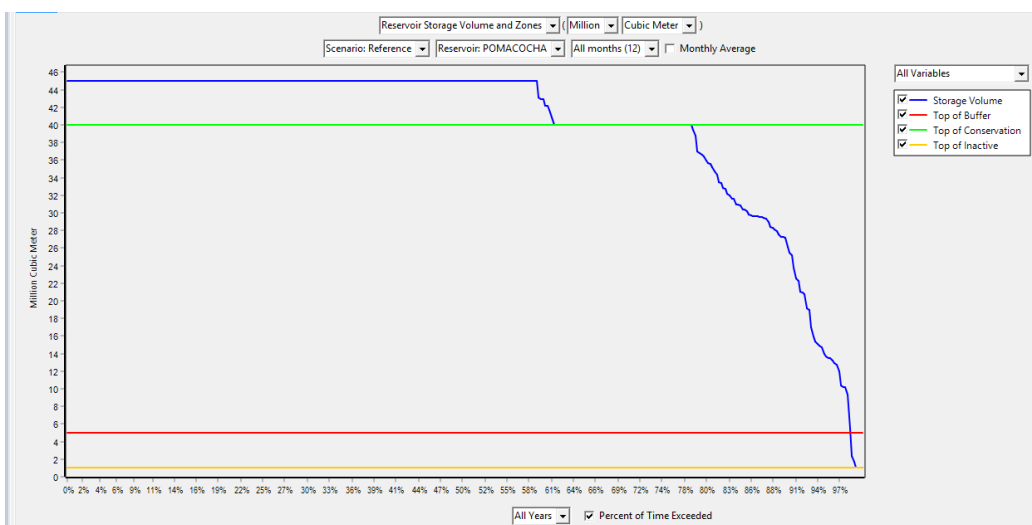


*Figura 124.* Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 125.* Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

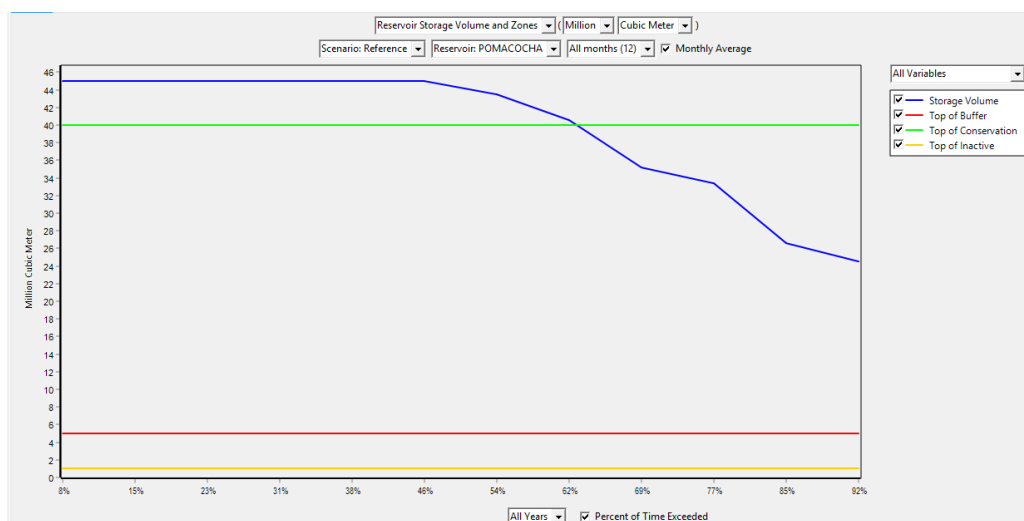


*Figura 126.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

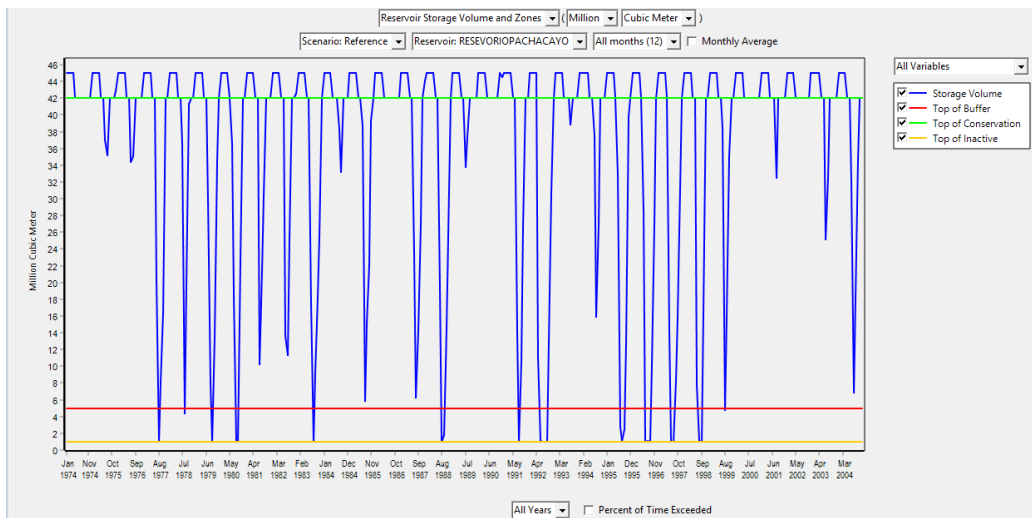
Fuente: Elaboración Propia.



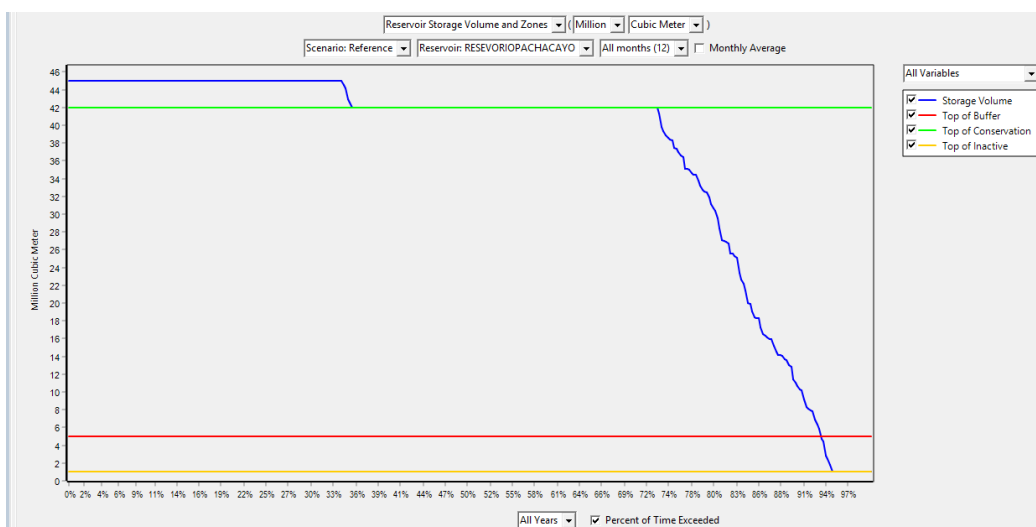
*Figura 127.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.



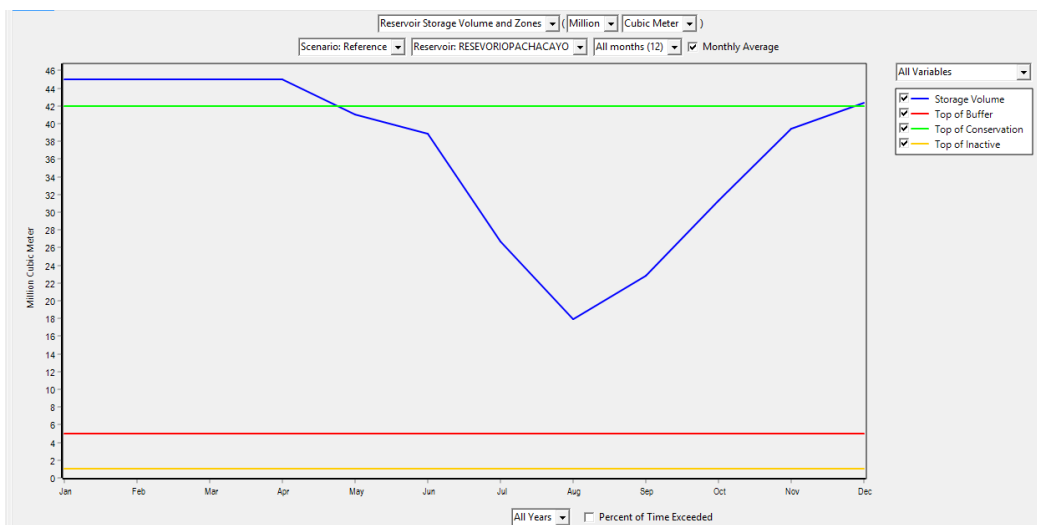
*Figura 128.* Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.



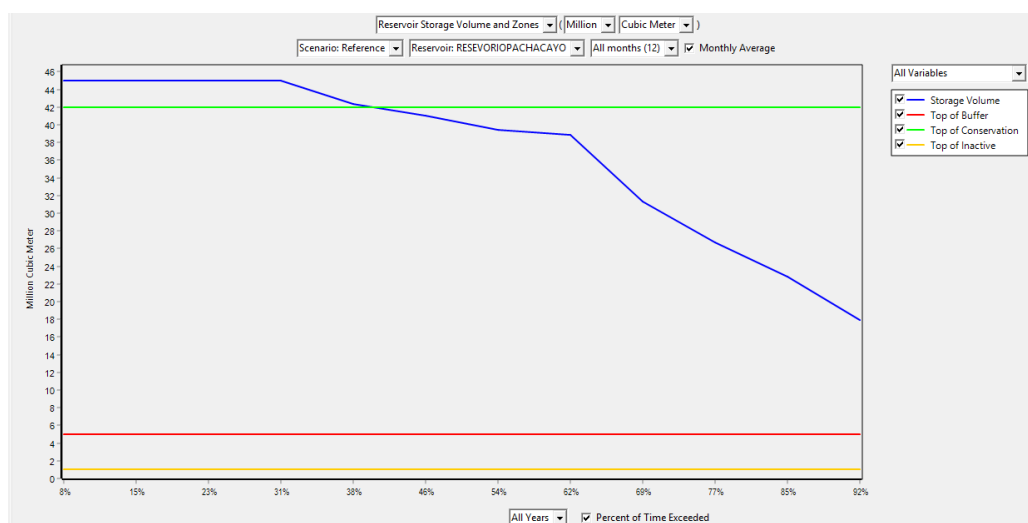
**Figura 129.** Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 130.** Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.

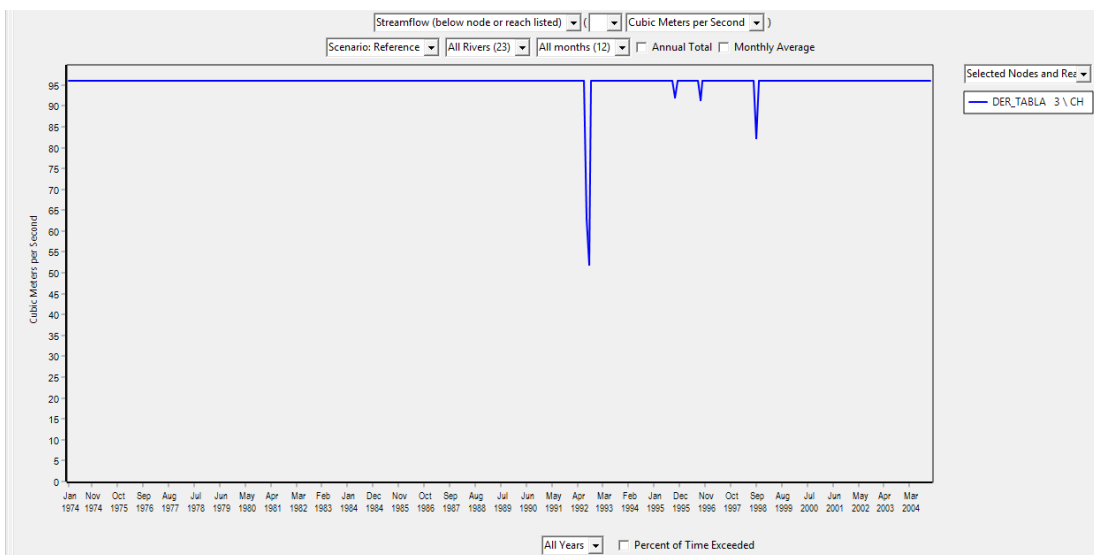


*Figura 131.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.

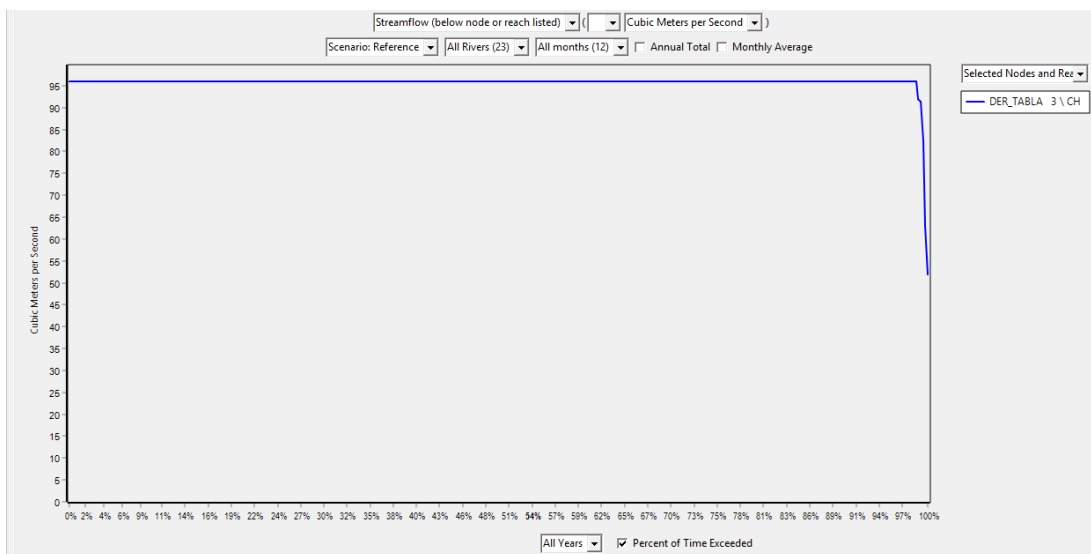


*Figura 132.* Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.  
Fuente: Elaboración Propia.

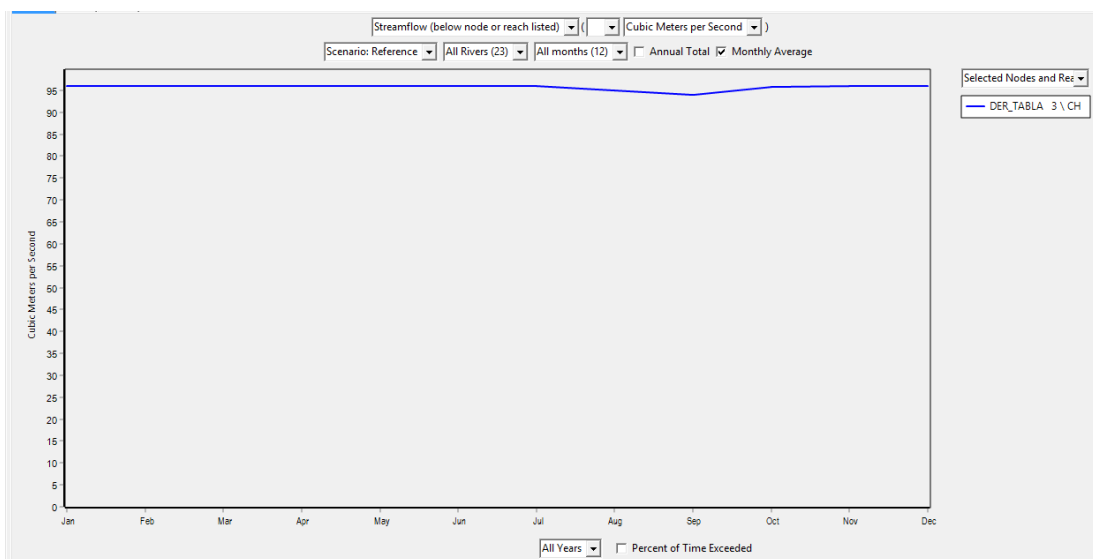
#### 4.5.4. Simulaciones con el modelo de gestión considerando represamientos de afluentes y demandas 200stuart



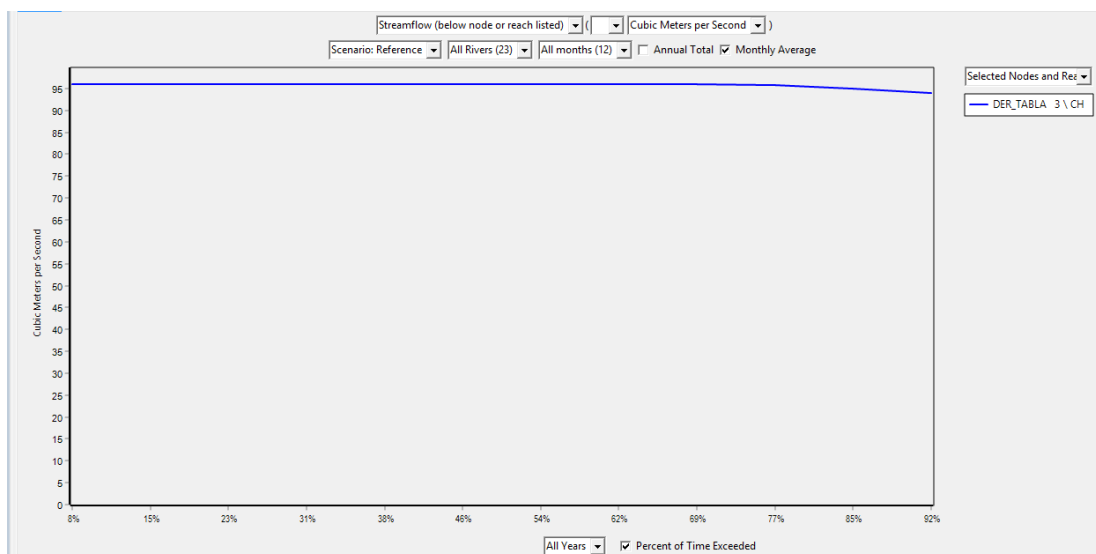
*Figura 133.* Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3  
Fuente: Elaboración Propia.



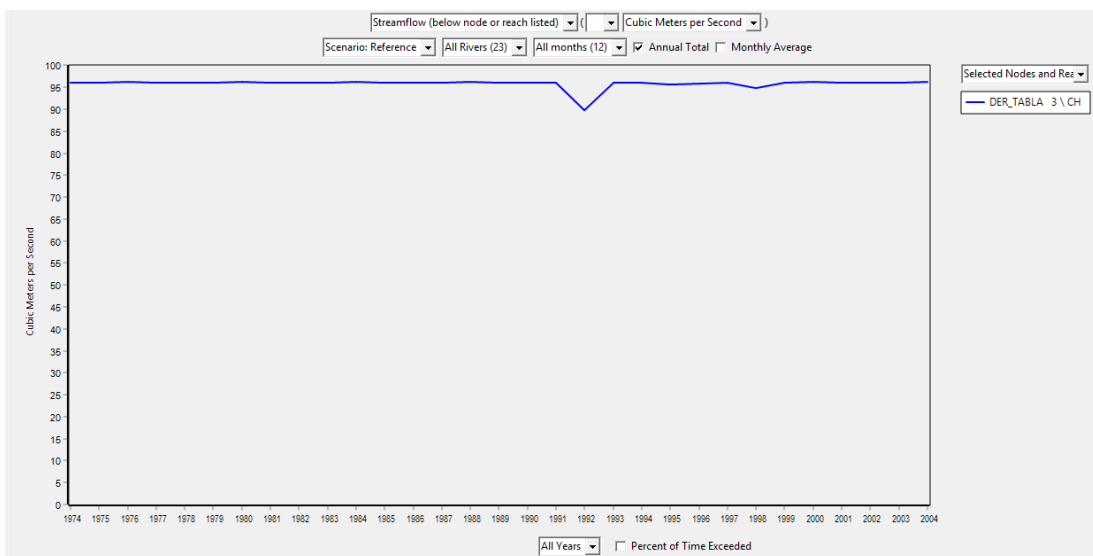
*Figura 134.* Curva de persistencia de los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3  
Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 135.* Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3  
Fuente: Elaboración Propia.

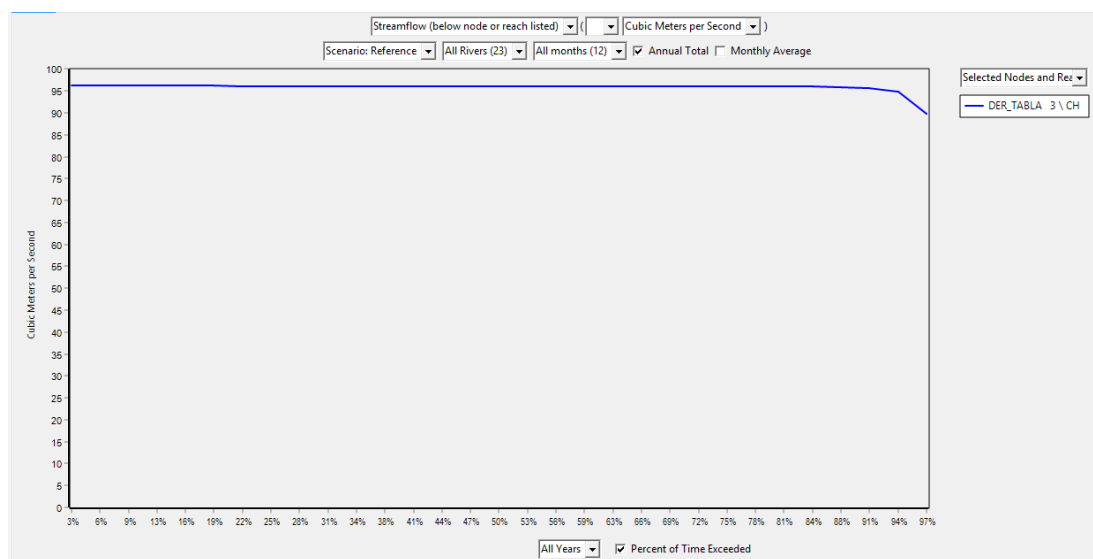


*Figura 136.* Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3  
Fuente: Elaboración Propia.



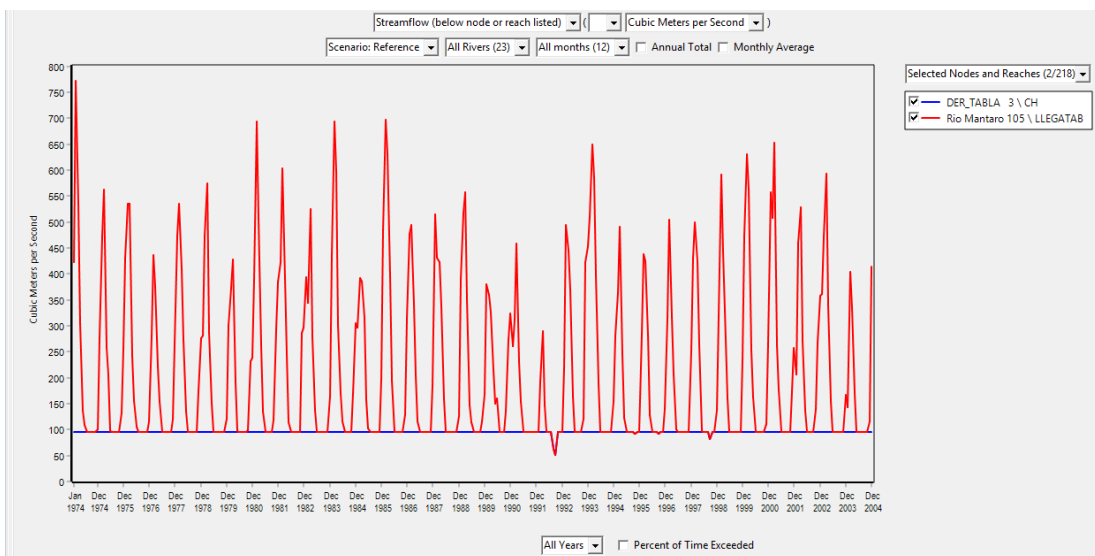
*Figura 137.* Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3

Fuente: Elaboración Propia.



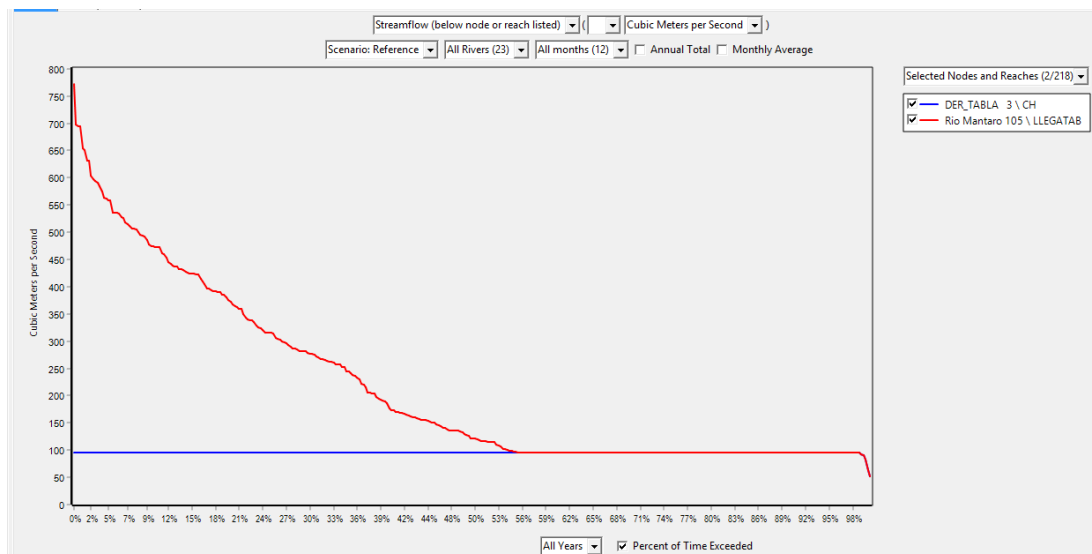
*Figura 138.* Curva de persistencia Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3

Fuente: Elaboración Propia.



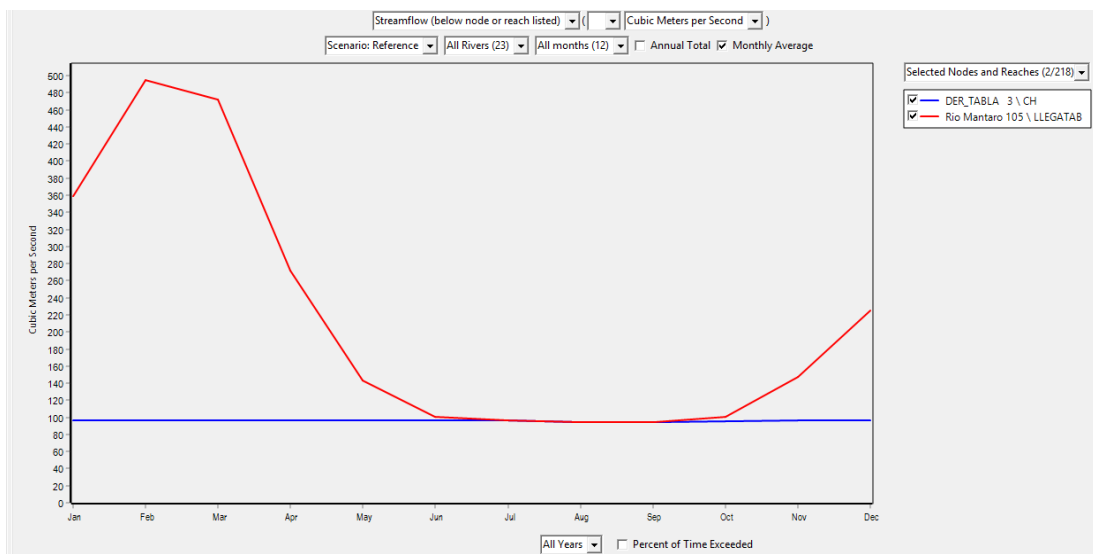
*Figura 139.* Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3

Fuente: Elaboración Propia.

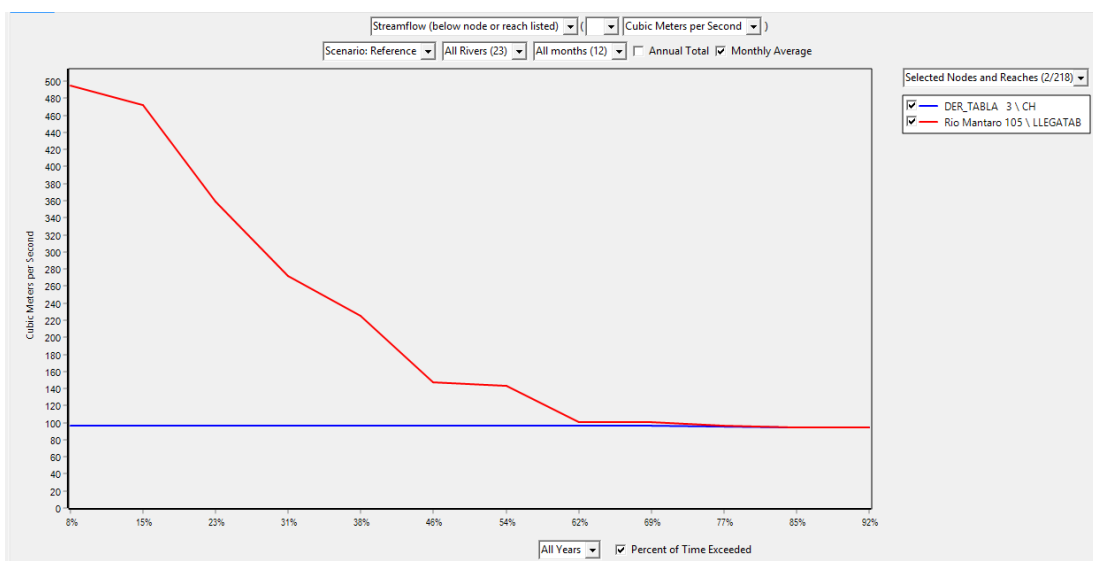


*Figura 140.* Curva de persistencia de la Relación de los caudales afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3

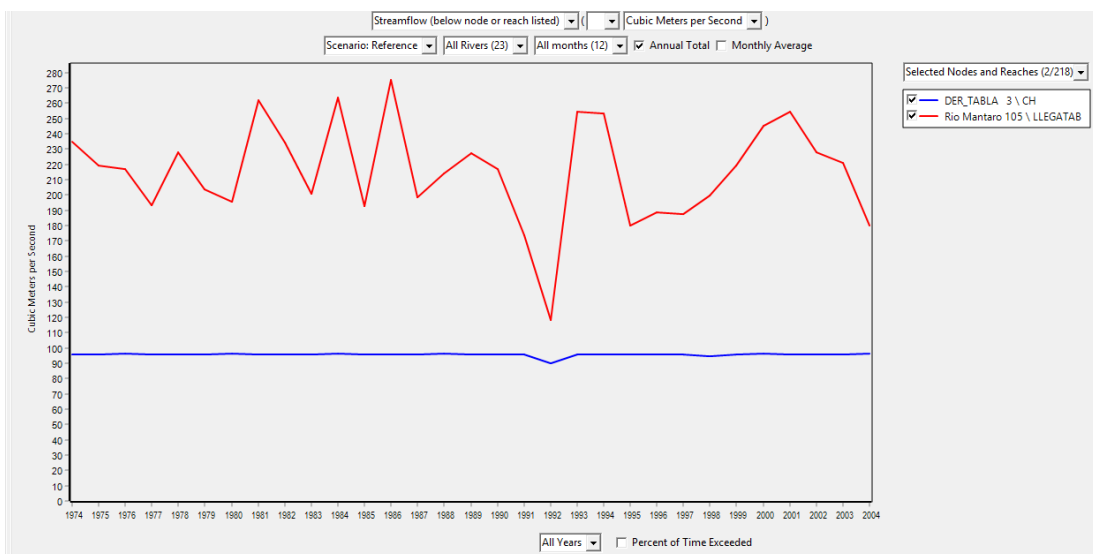
Fuente: Elaboración Propia.



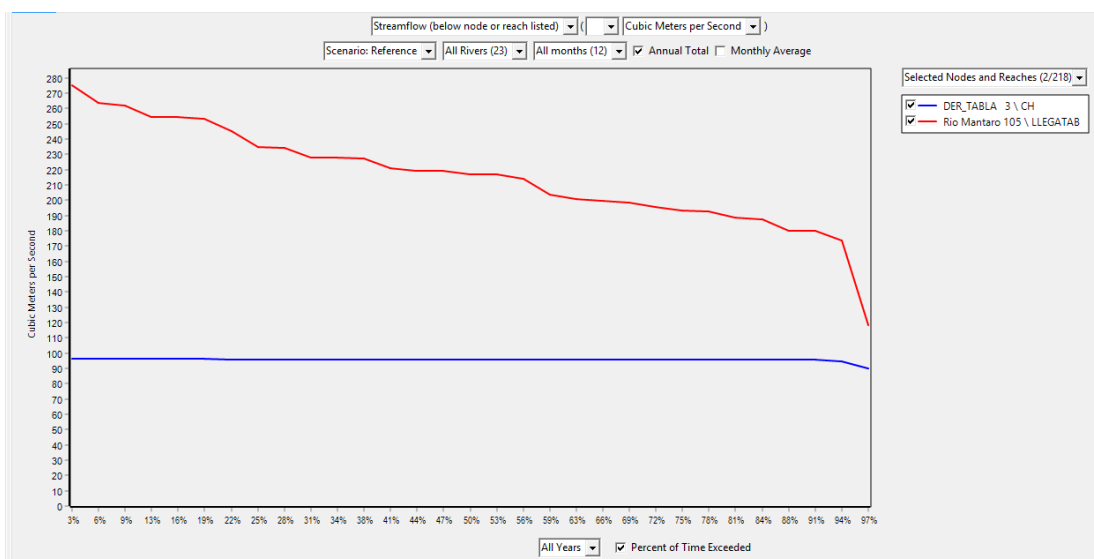
**Figura 141.** Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3  
Fuente: Elaboración Propia.



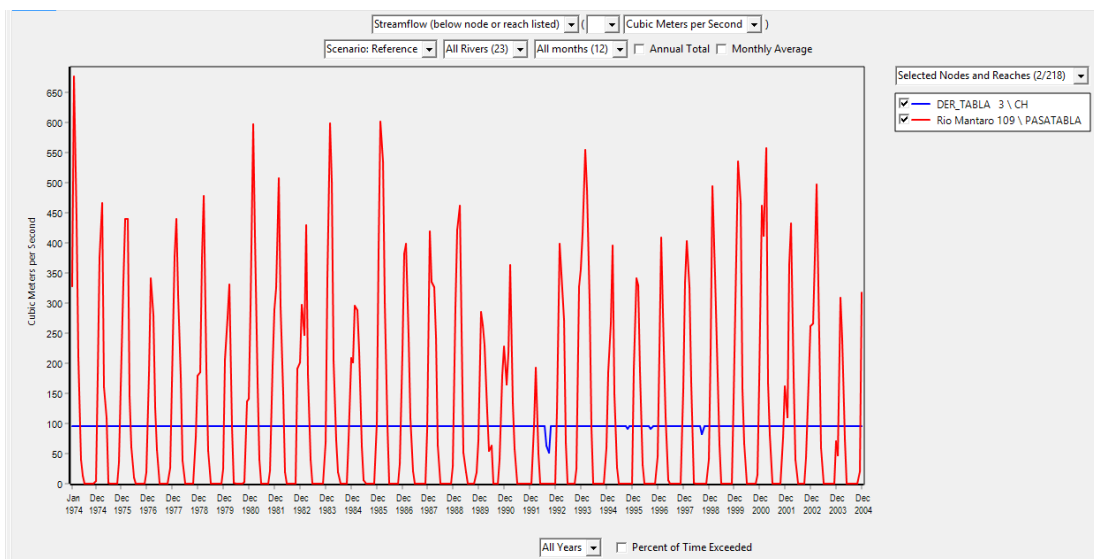
**Figura 142.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años afluentes a Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3  
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 143.** Relación de los Caudales promedios anuales afluentes a Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3  
Fuente: Elaboración Propia.

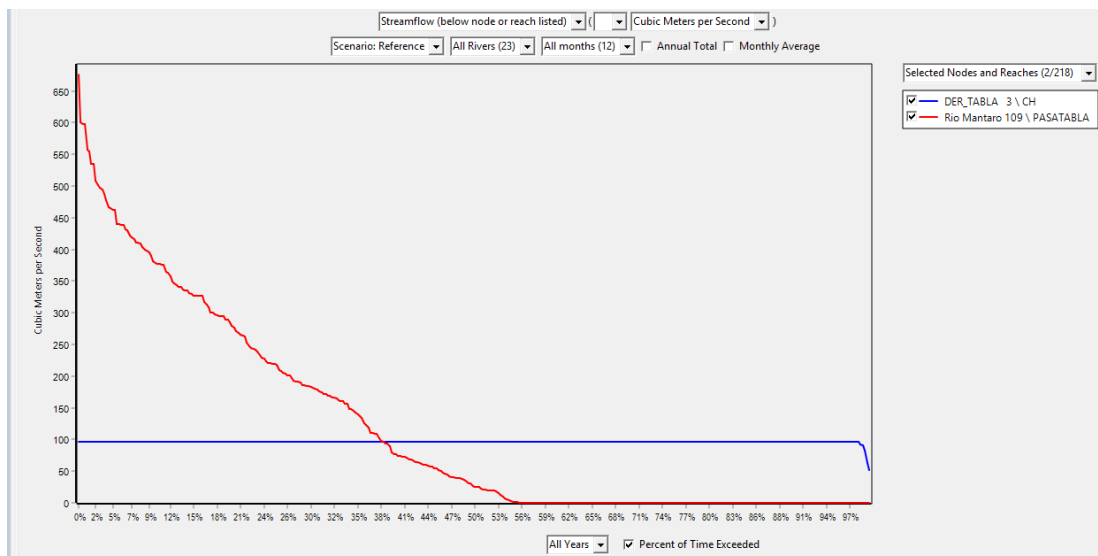


**Figura 144.** Curva de persistencia Caudales promedios anuales afluentes a Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.  
Fuente: Elaboración Propia.



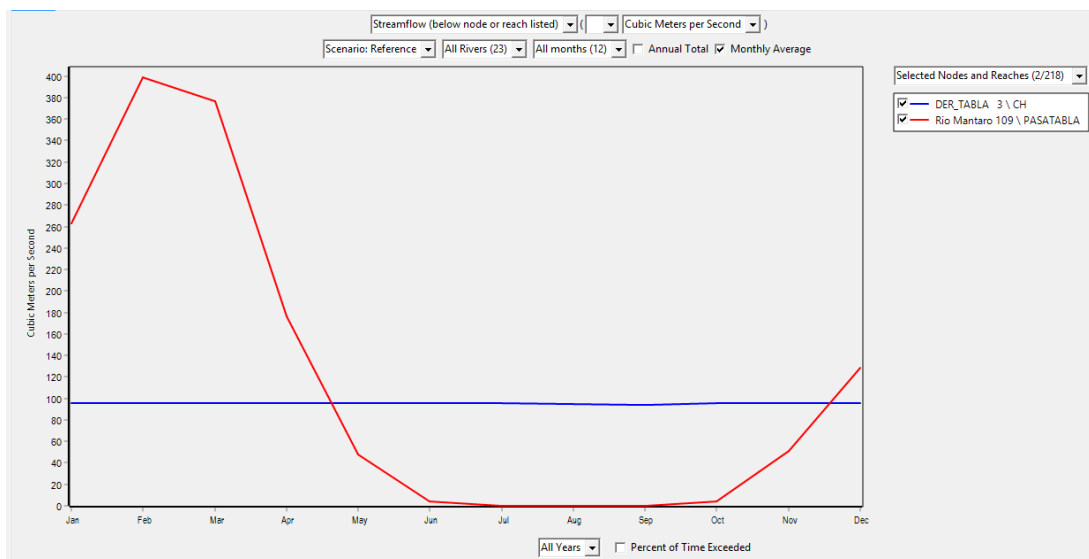
*Figura 145.* Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



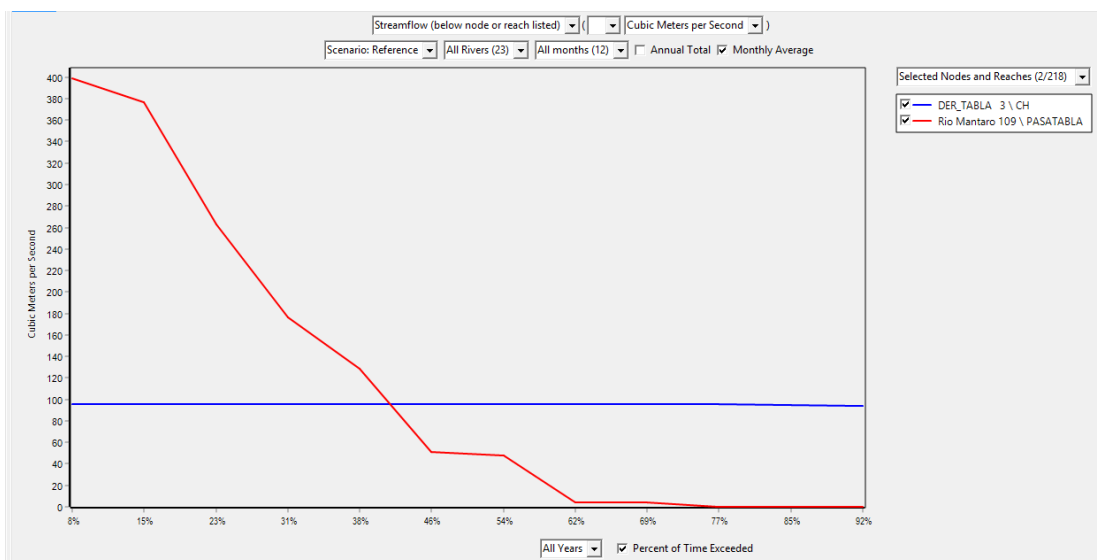
*Figura 146.* Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



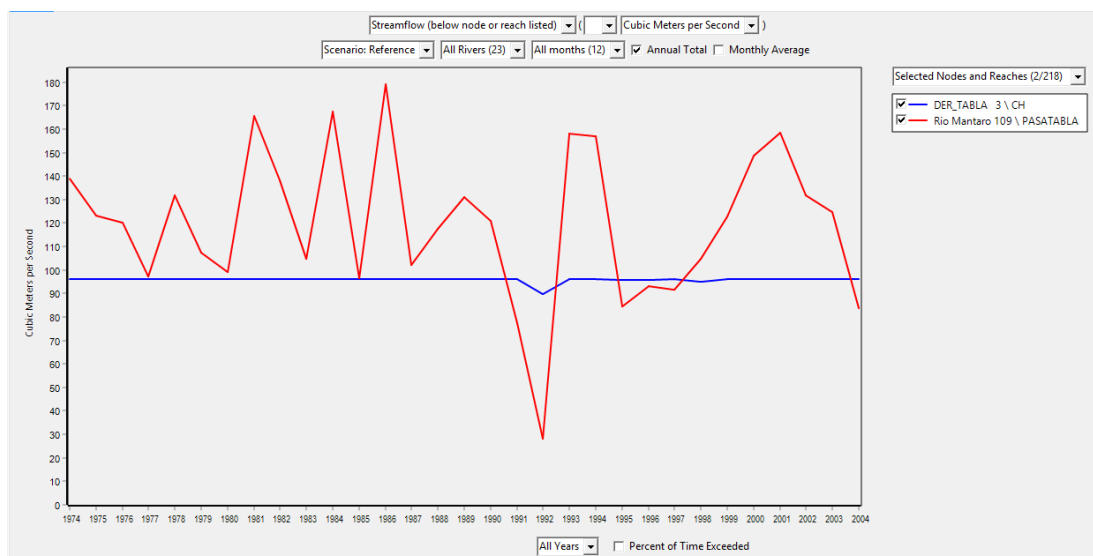
*Figura 147.* Relación de los Caudales promedios mensuales multianuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



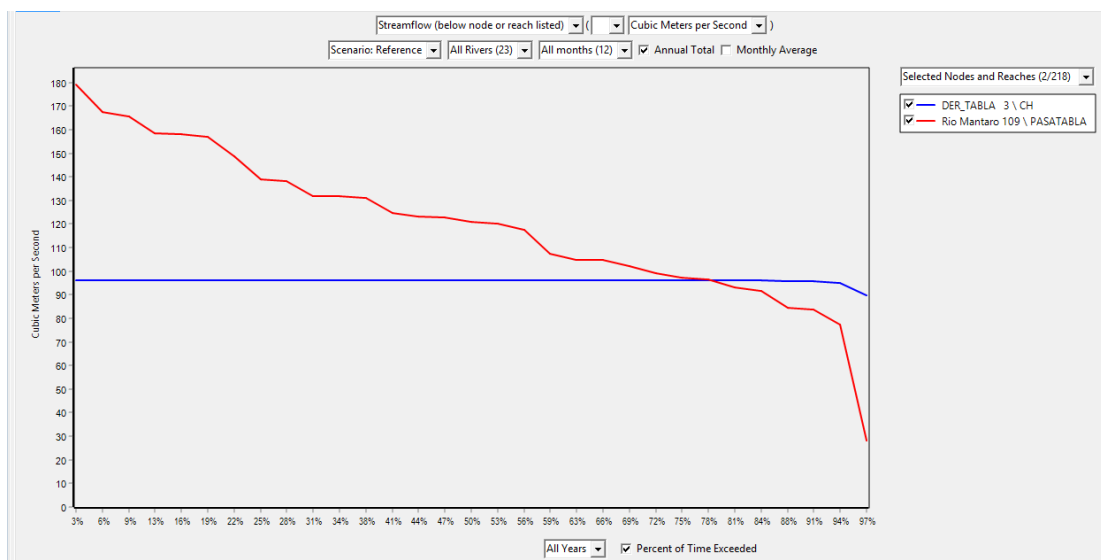
*Figura 148.* Curva de persistencia de Caudales promedios mensuales multianuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios mensuales multianual derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



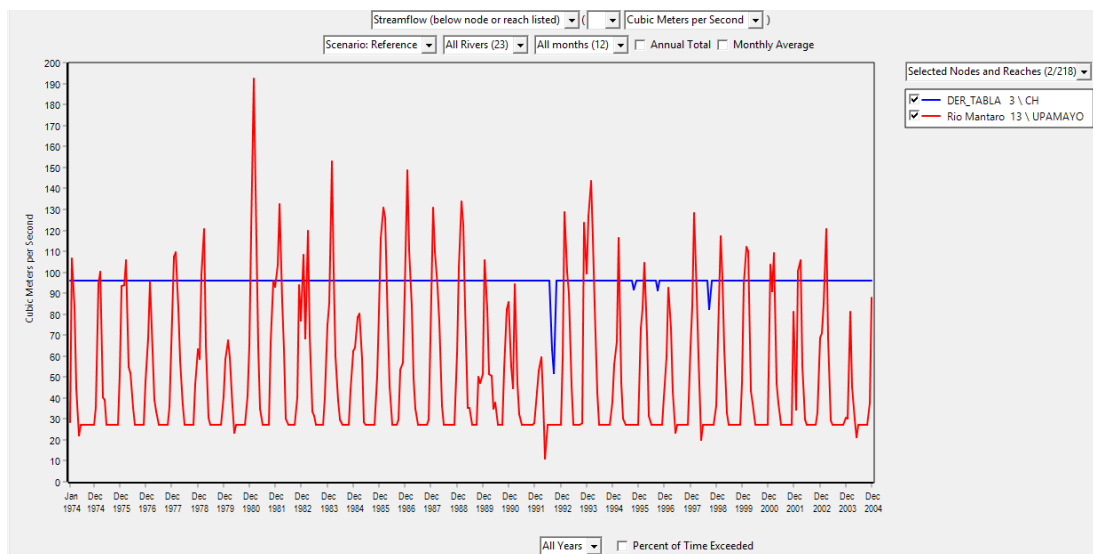
*Figura 149.* Relación de los Caudales promedios anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



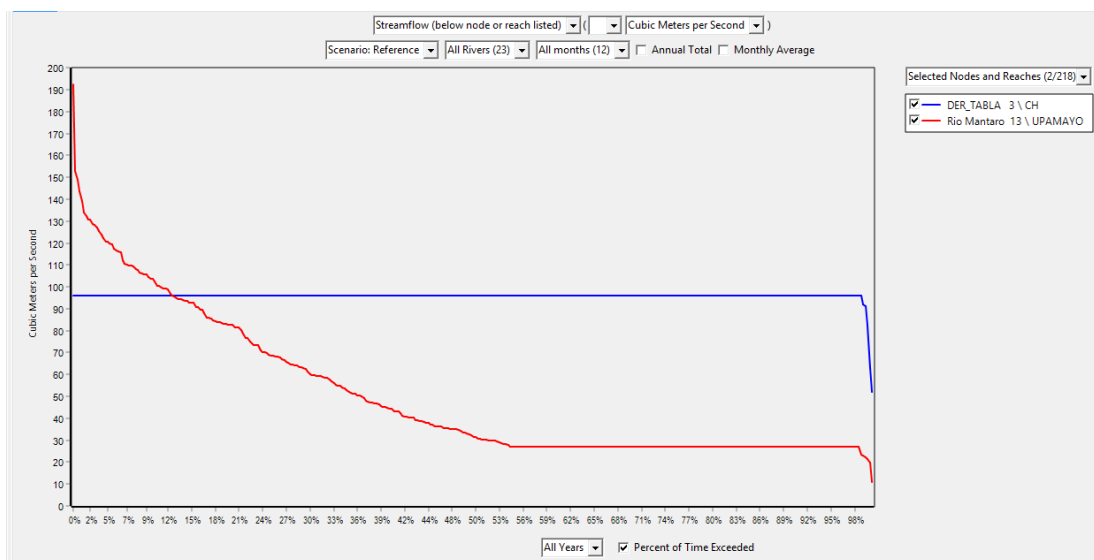
*Figura 150.* Curva de persistencia Caudales promedios anuales efluentes de Tablachaca y Caudales promedios anuales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



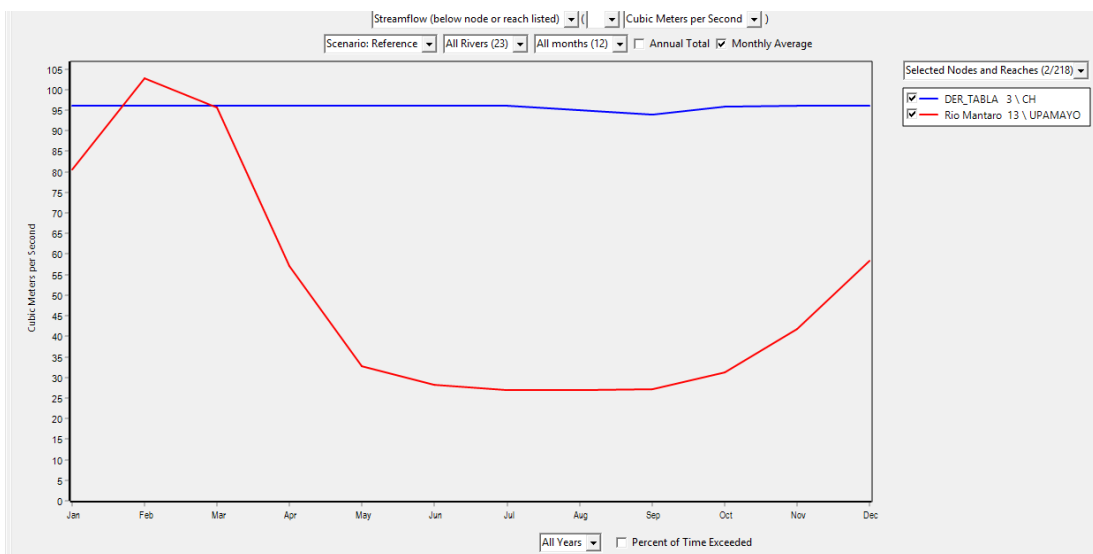
**Figura 151.** Relación de los Caudales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



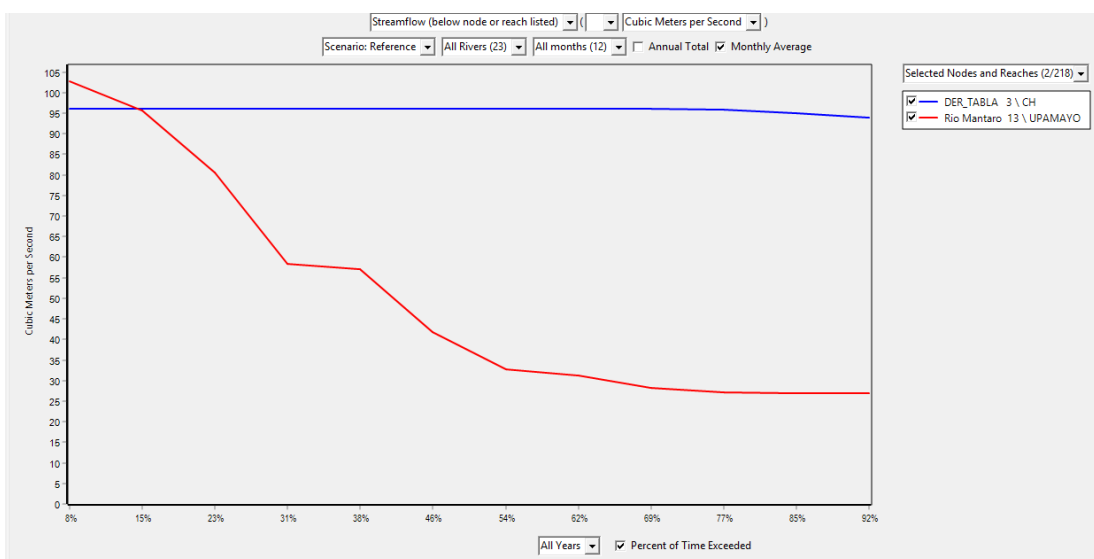
**Figura 152.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



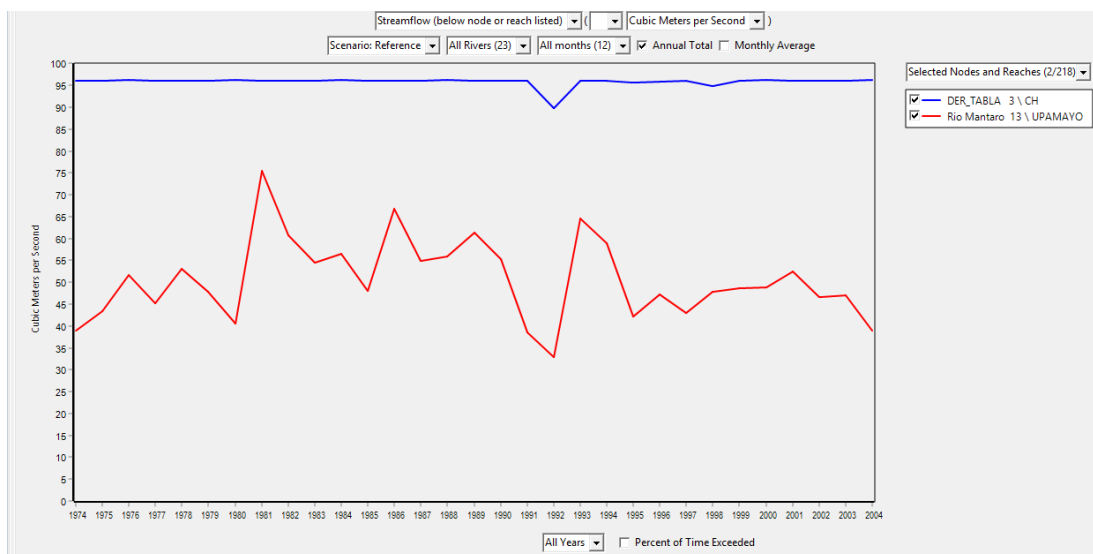
**Figura 153.** Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



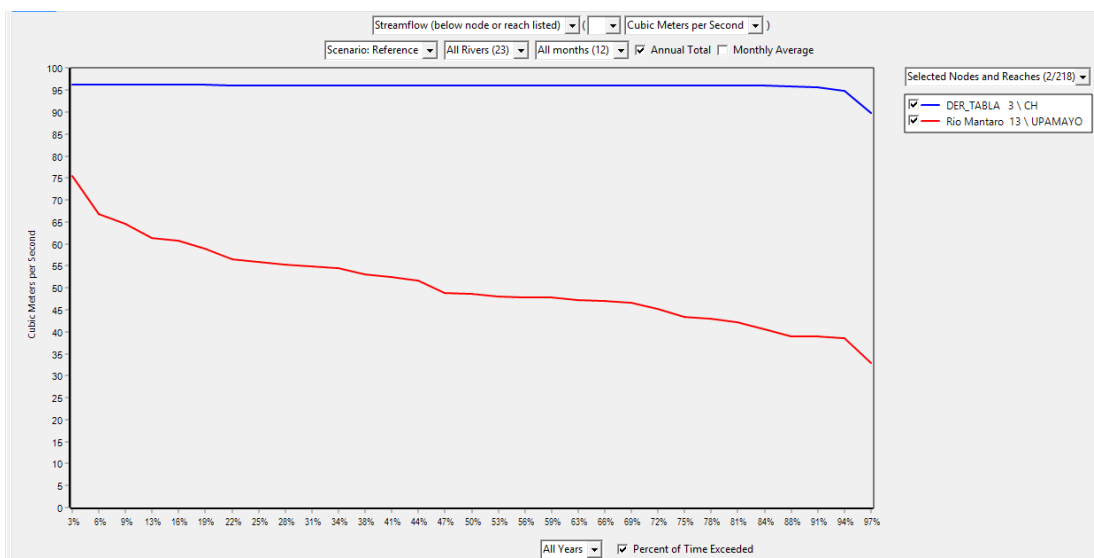
**Figura 154.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales medios mensuales en 20 años efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



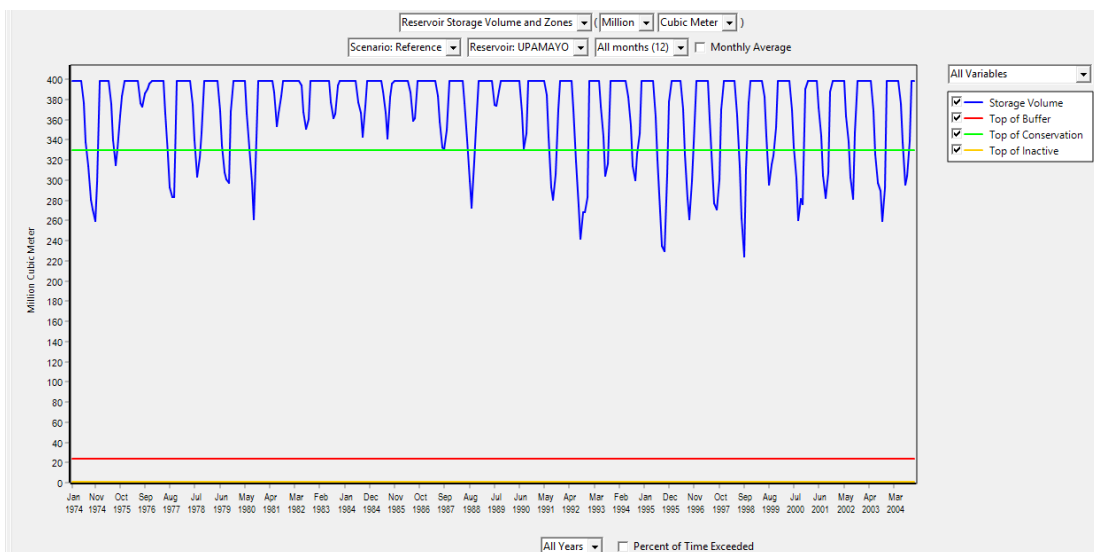
**Figura 155.** Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



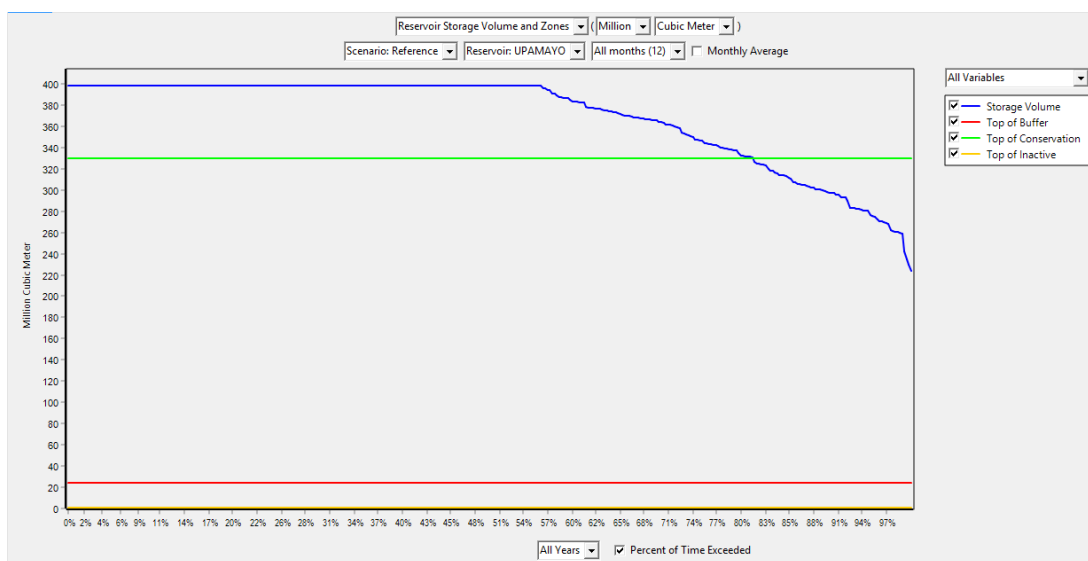
**Figura 156.** Curva de persistencia de la Relación de los caudales promedios anuales efluentes de Upamayo y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 157.* Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 158.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

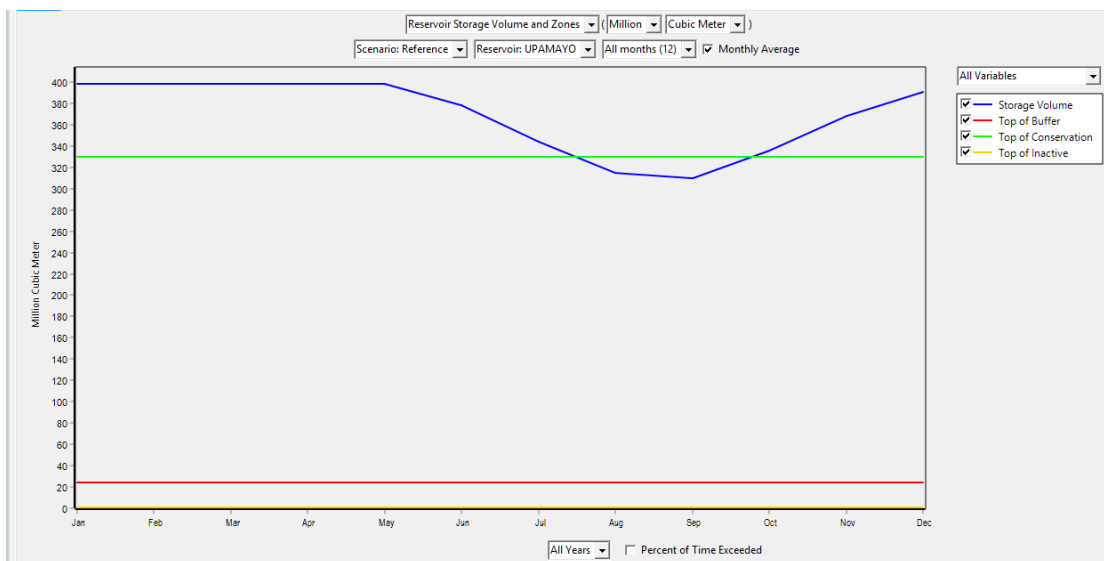


Figura 159. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

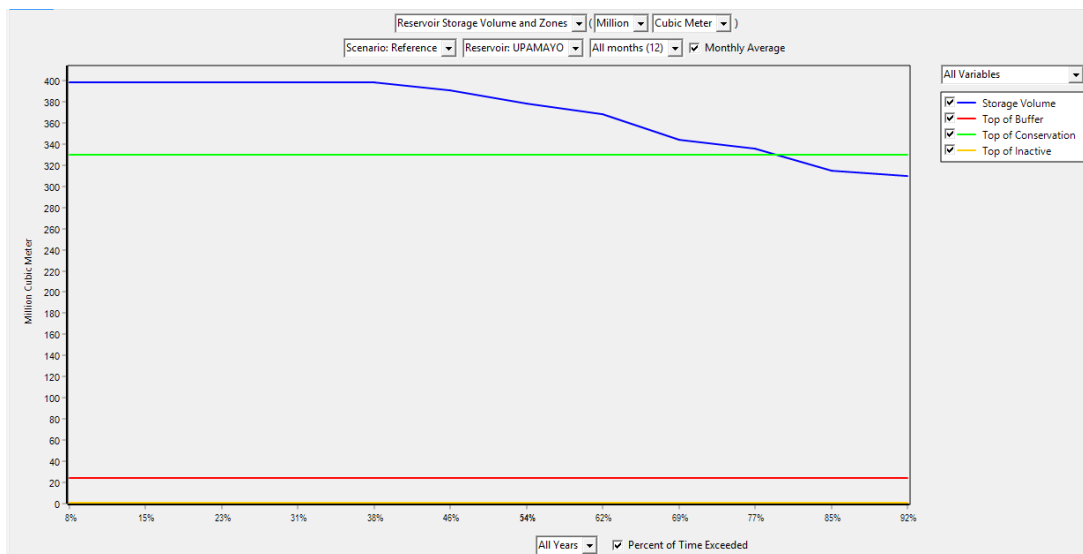


Figura 160. Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Upamayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

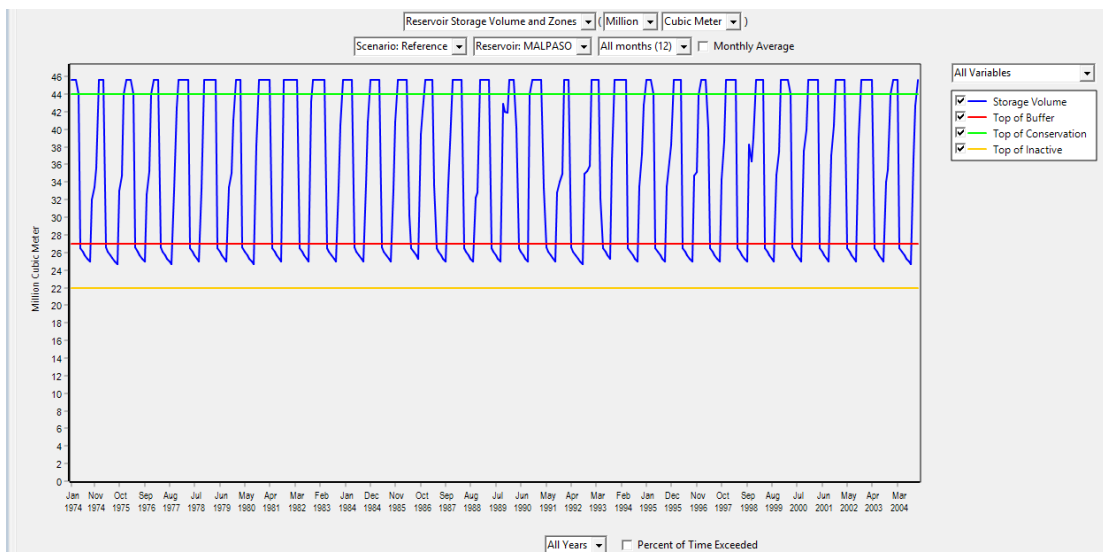


Figura 161. Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

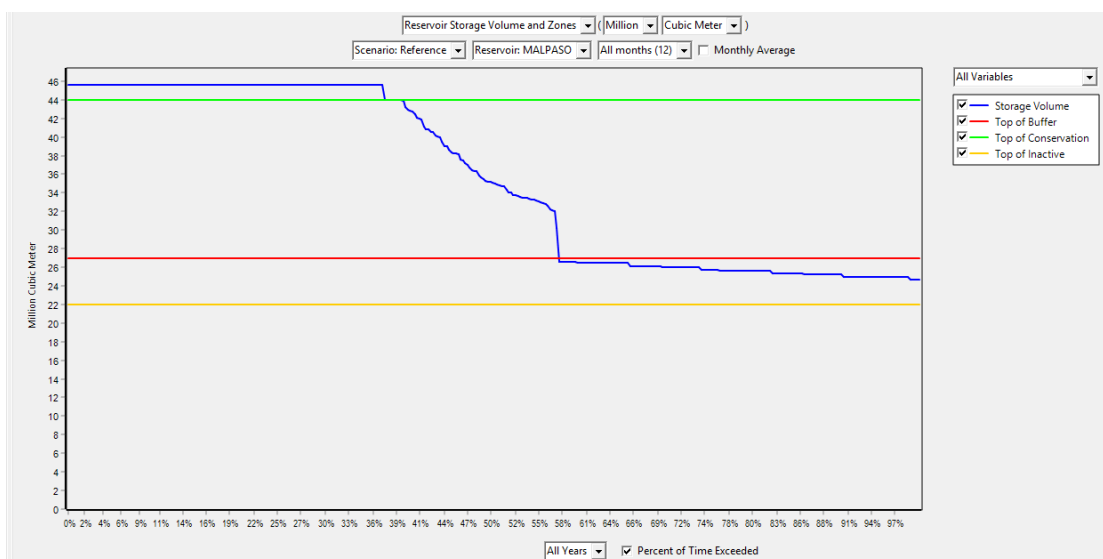


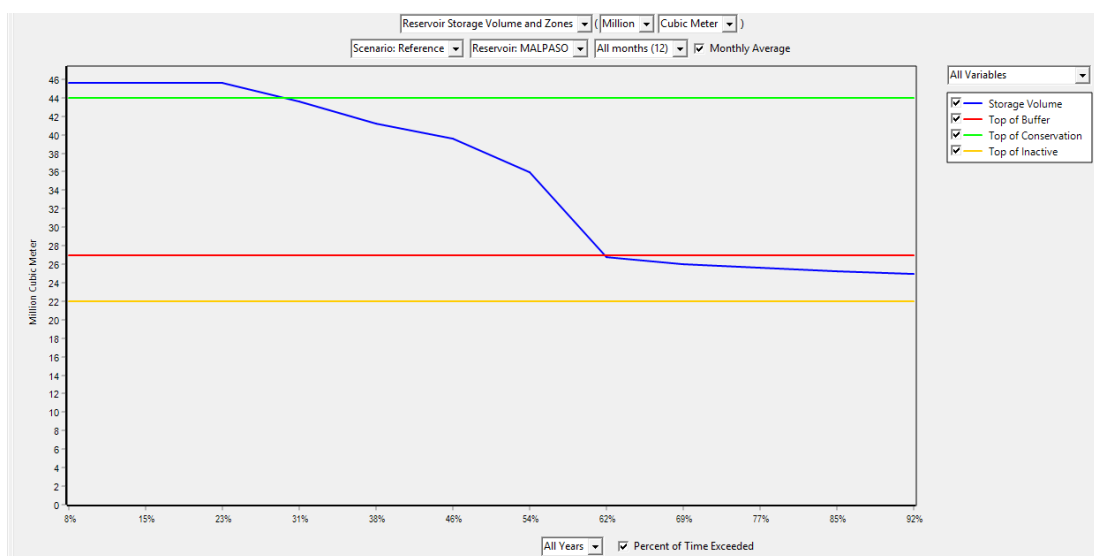
Figura 162. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 163.** Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 164.** Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de malpaso en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

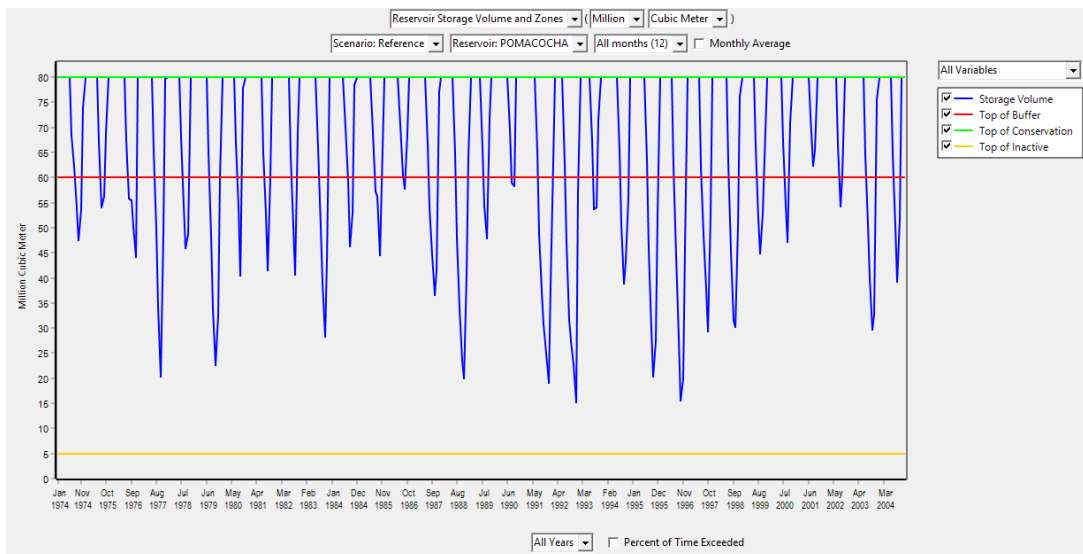


Figura 165. Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

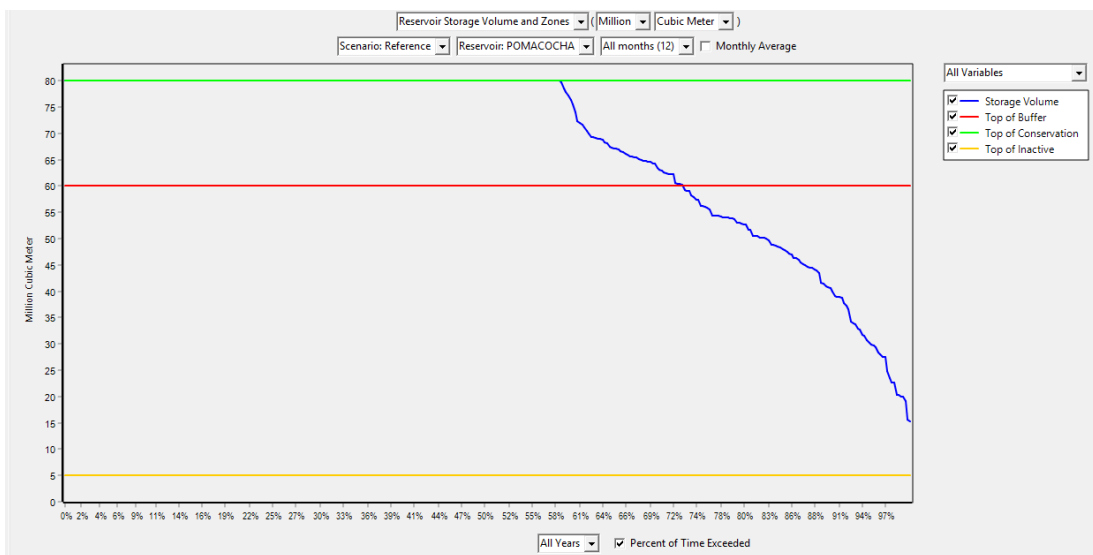
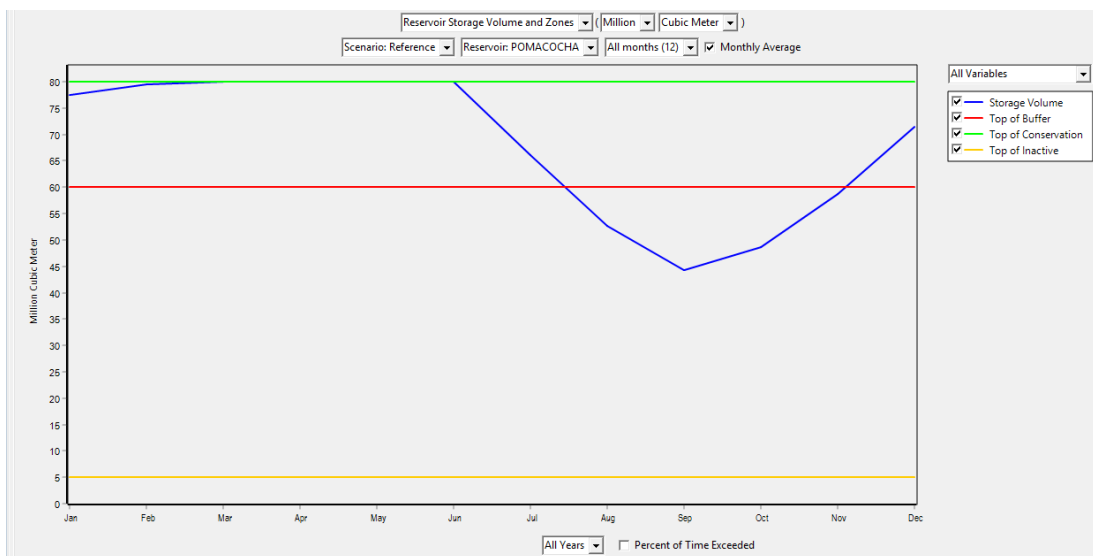


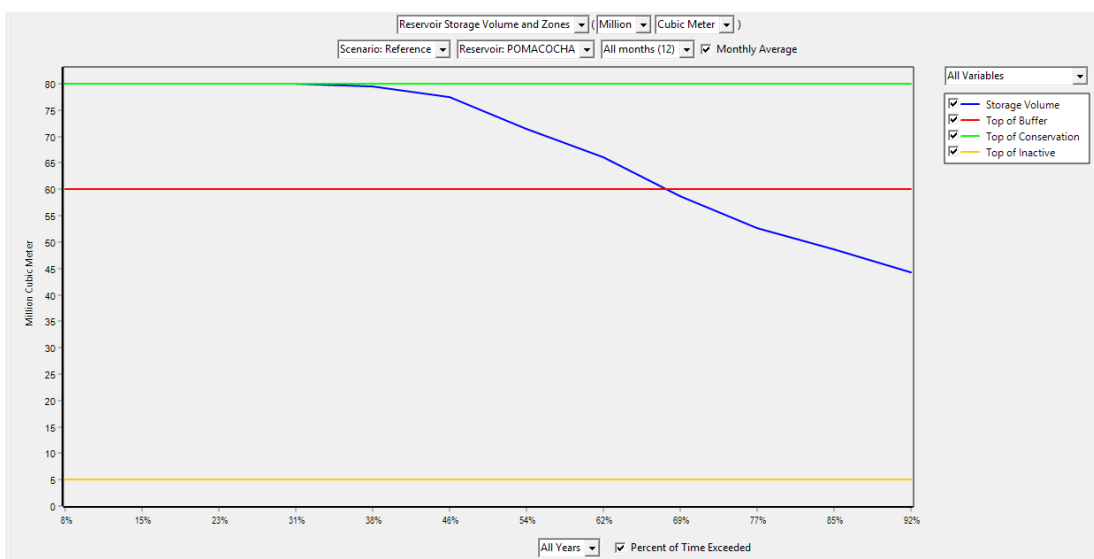
Figura 166. Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



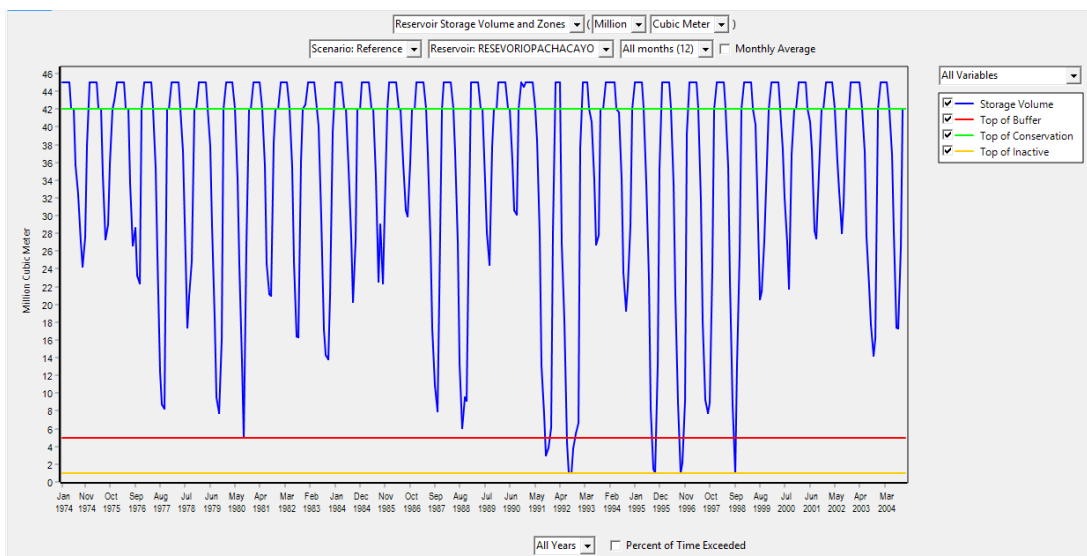
*Figura 167.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



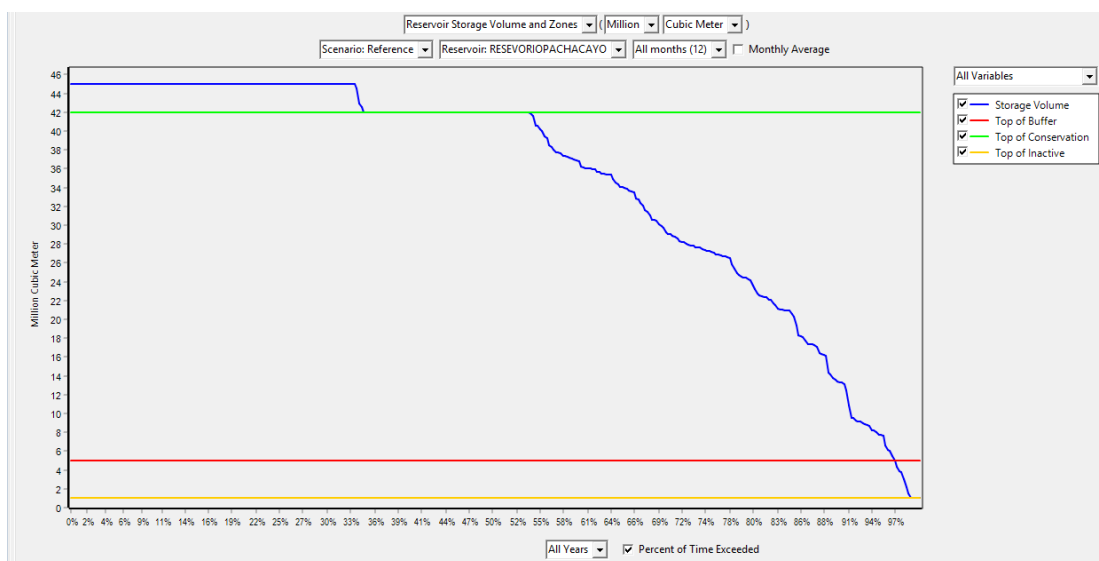
*Figura 168.* Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pomacocha en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



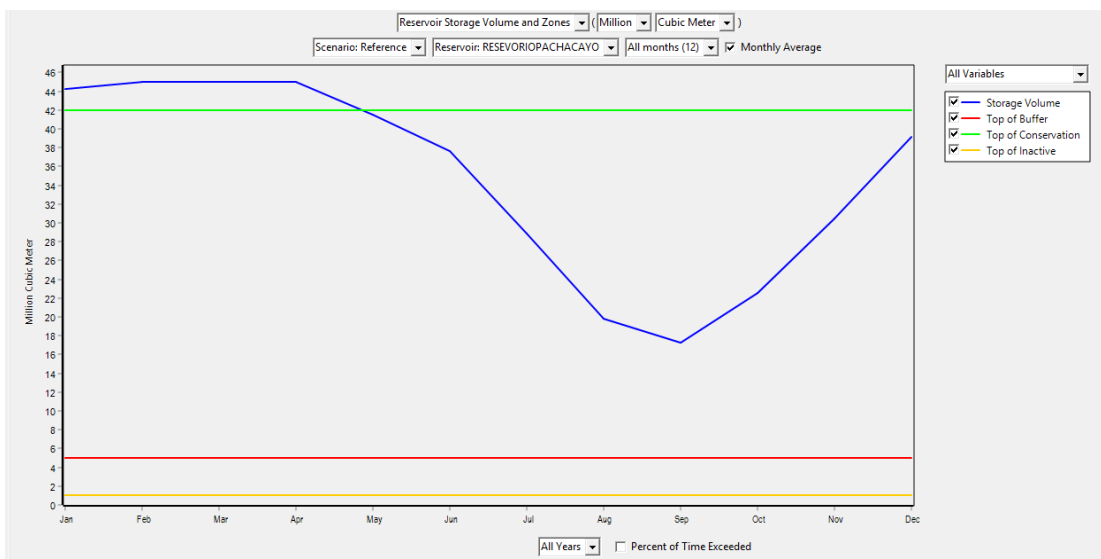
*Figura 169.* Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



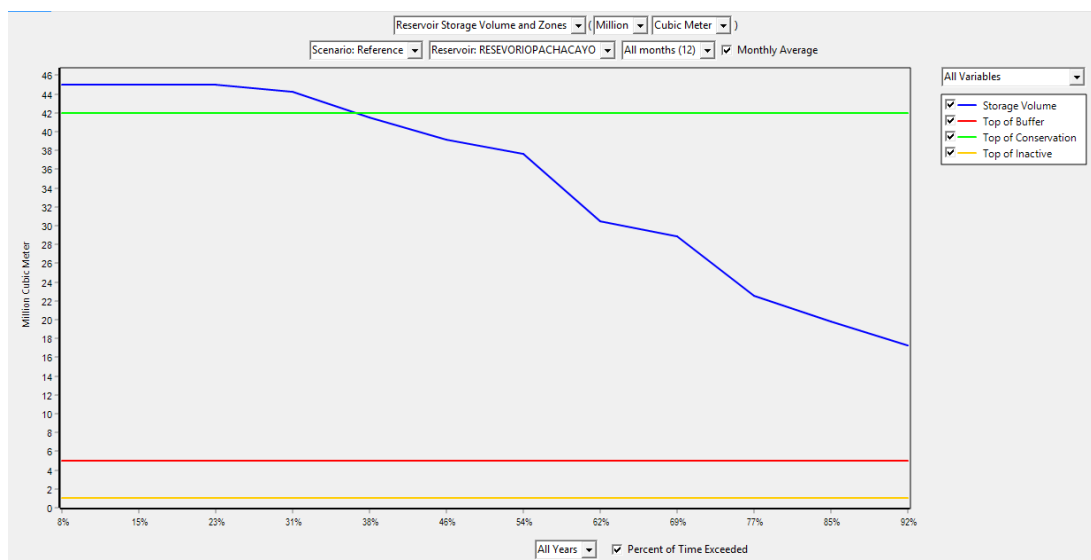
*Figura 170.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



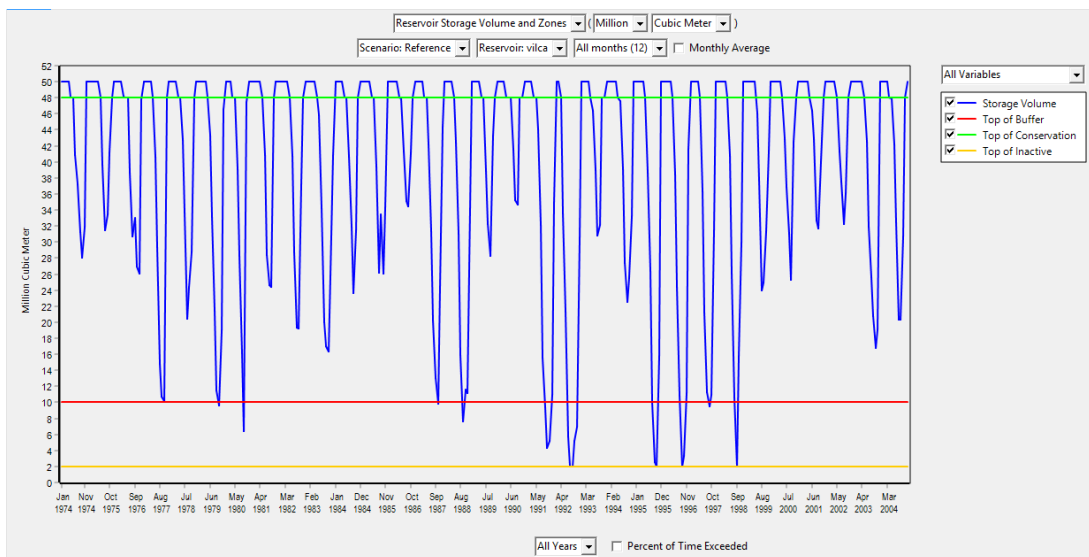
*Figura 171.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



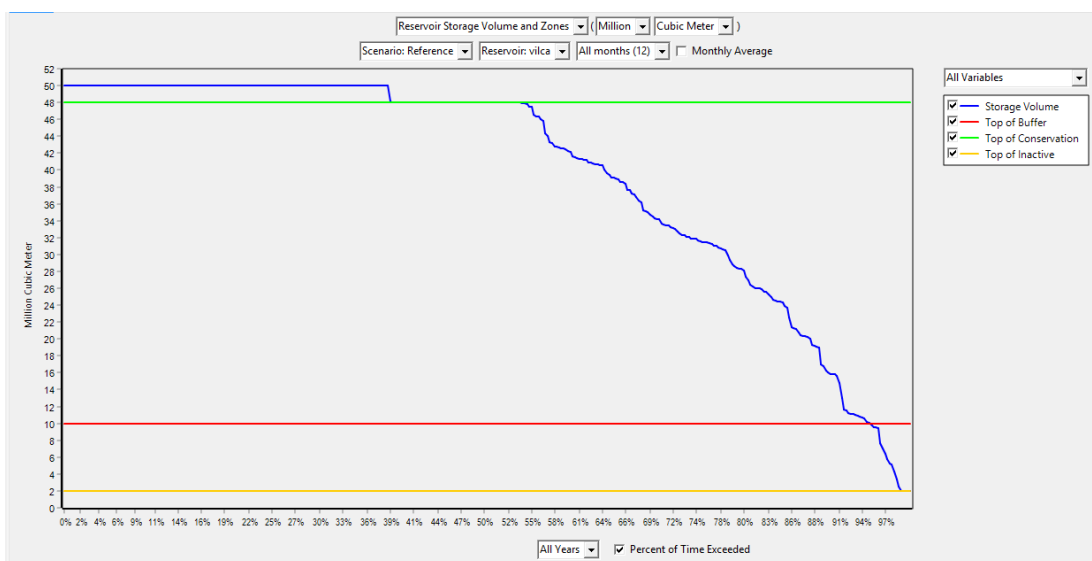
*Figura 172.* Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Pachacayo en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



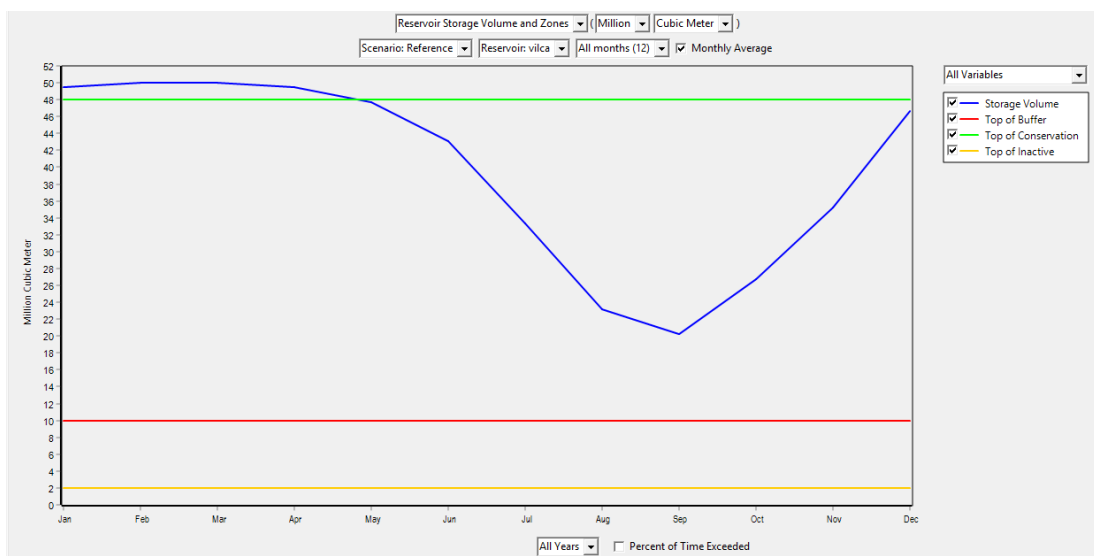
*Figura 173.* Volúmenes almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



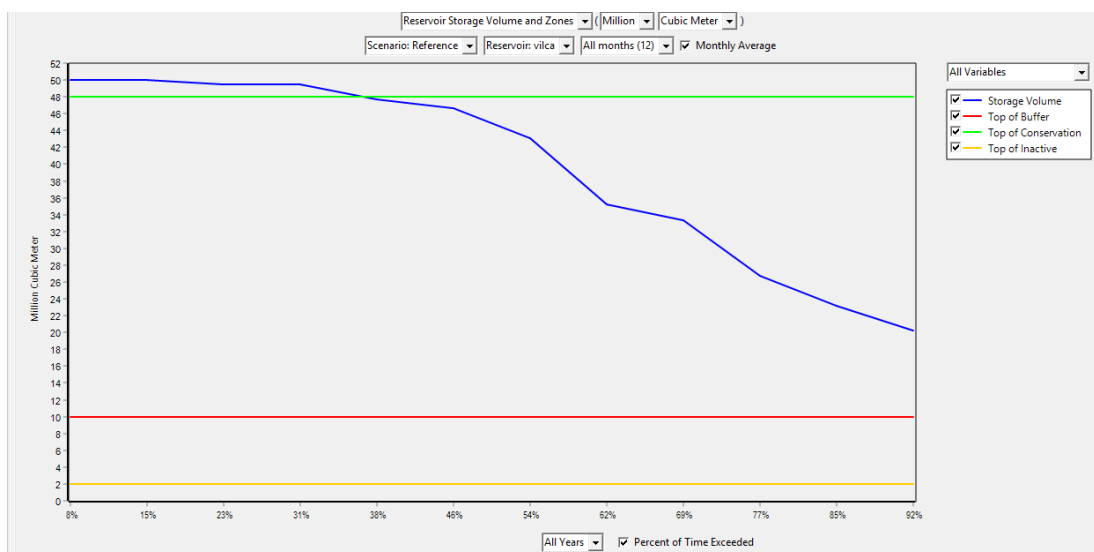
*Figura 174.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



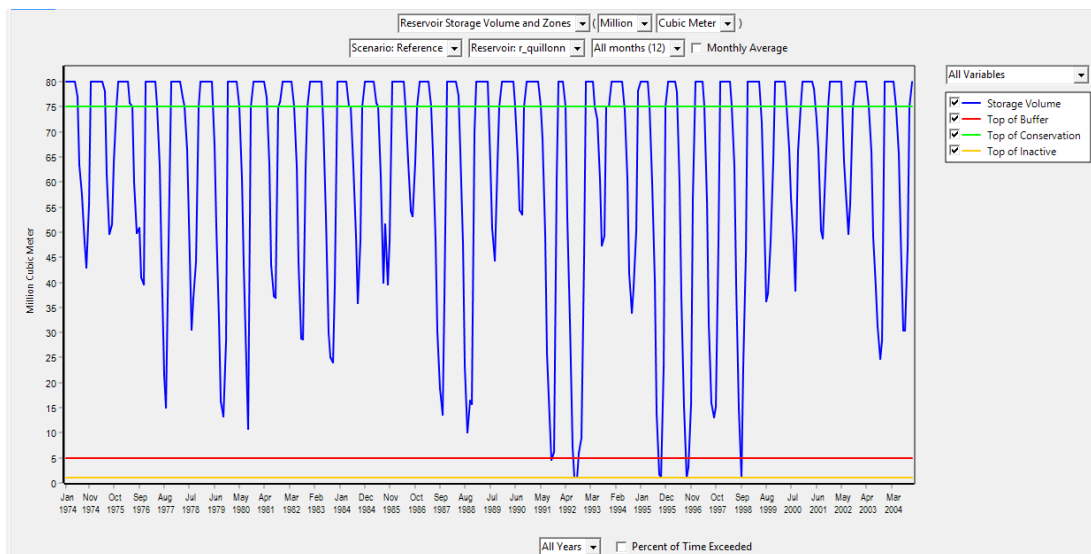
*Figura 175.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



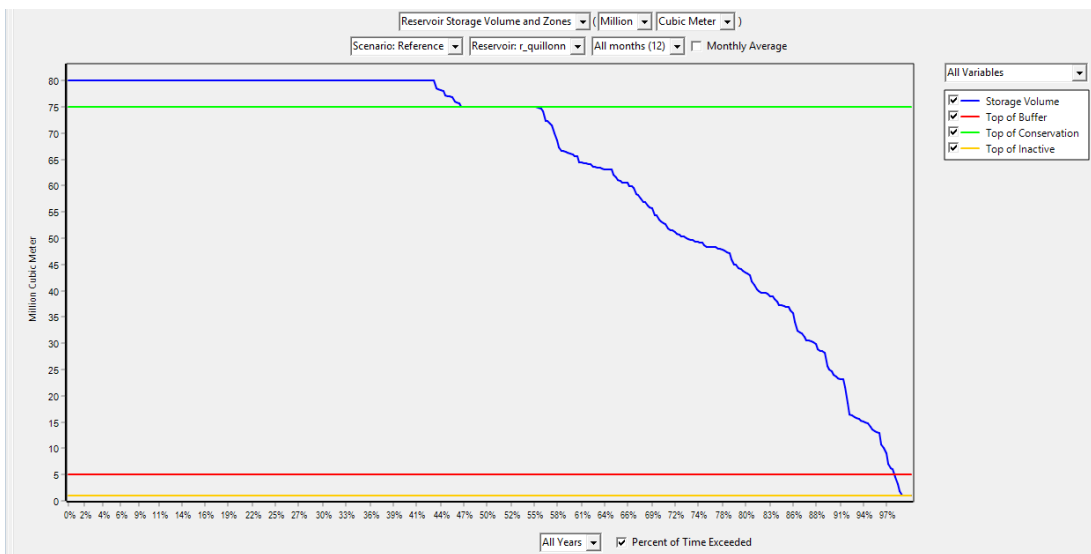
*Figura 176.* Curva de persistencia de Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Vilca en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



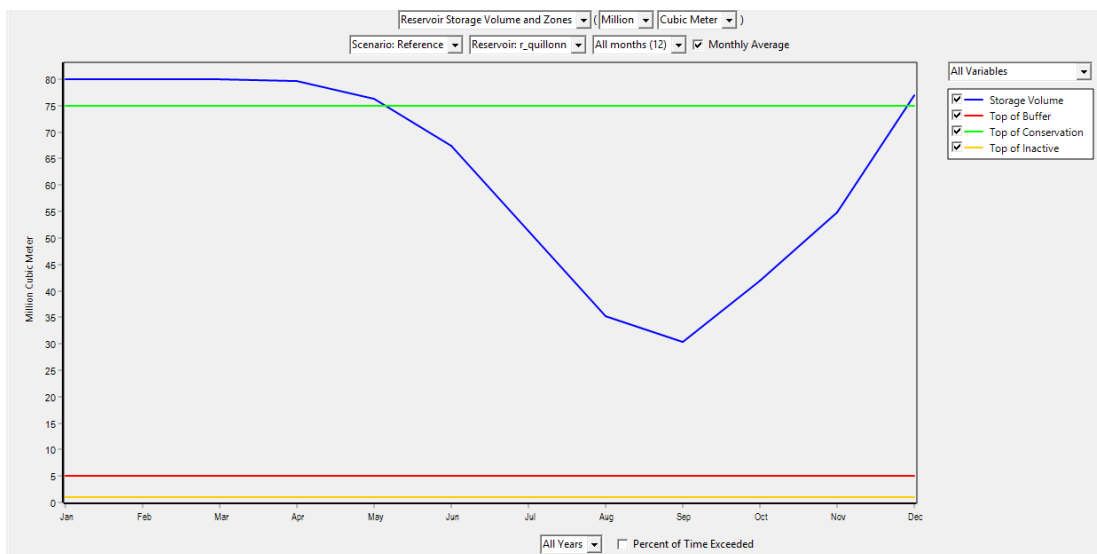
*Figura 177.* Volúmenes almacenados en la represa de Quillon en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



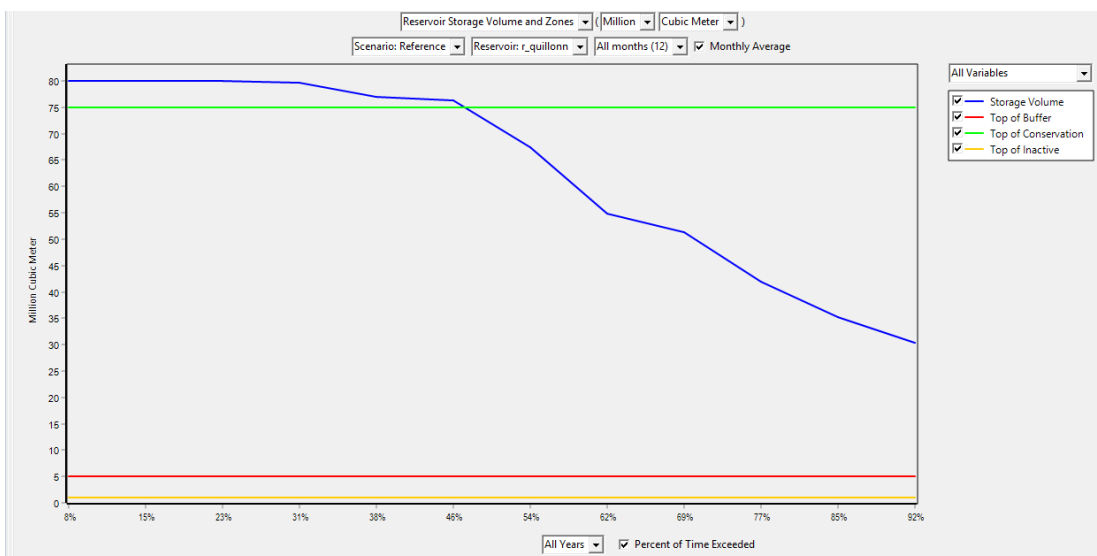
*Figura 178.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Quillon en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



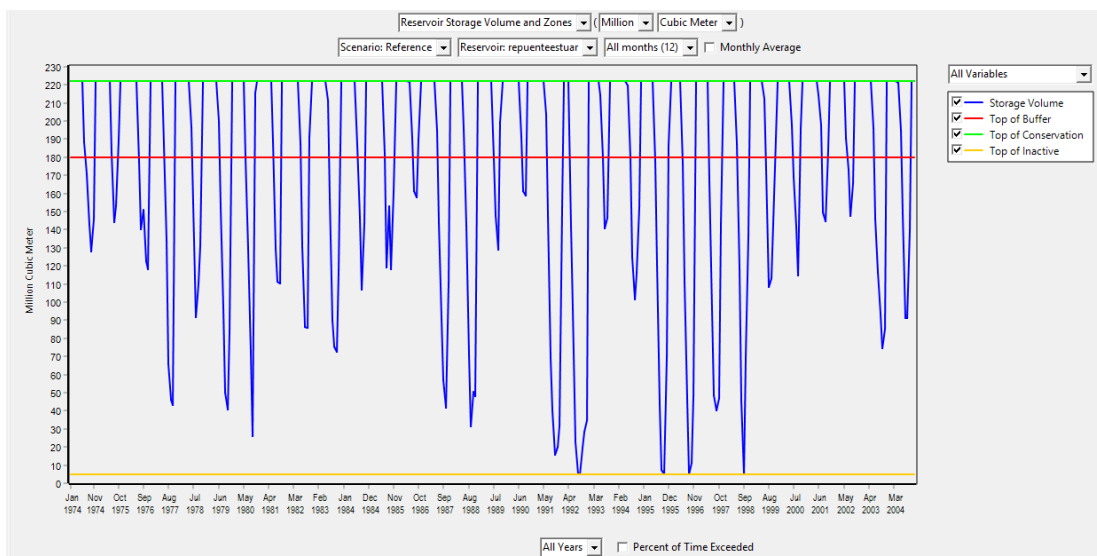
*Figura 179.* Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Quillón en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



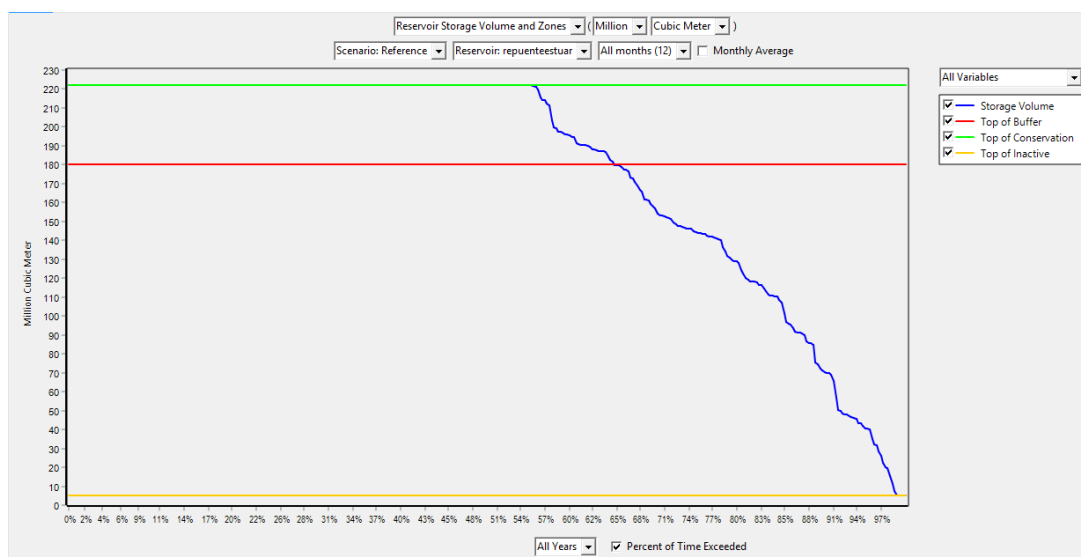
*Figura 180.* Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Quillón en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 181.* Volúmenes almacenados en la represa de Puente Stuart en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 182.* Curva de persistencia Volúmenes almacenados en la represa de Puente Stuart en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

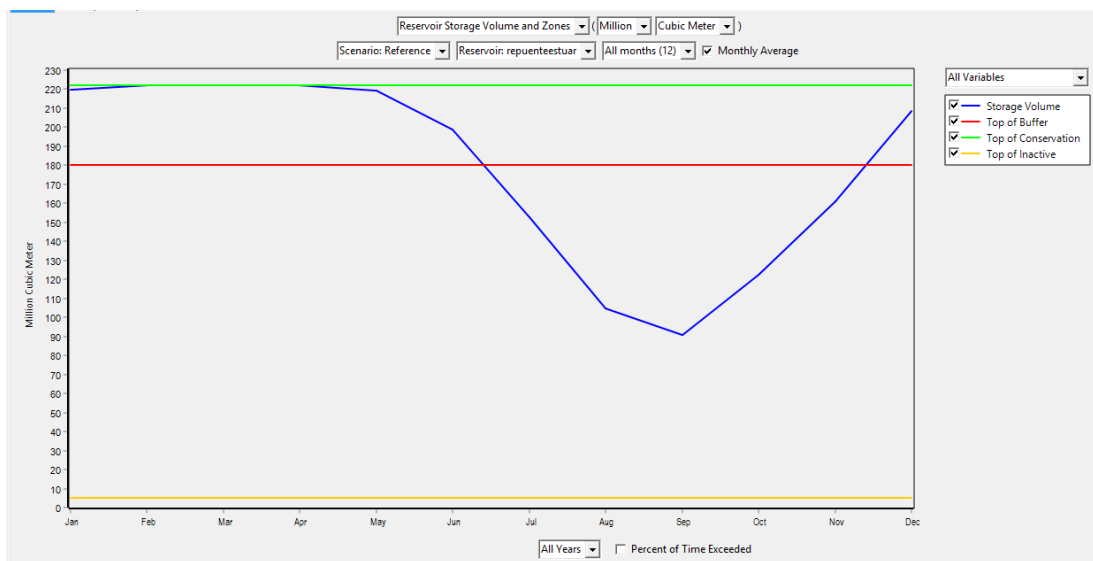


Figura 183. Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Puente Stuart en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

Fuente: Elaboración Propia.

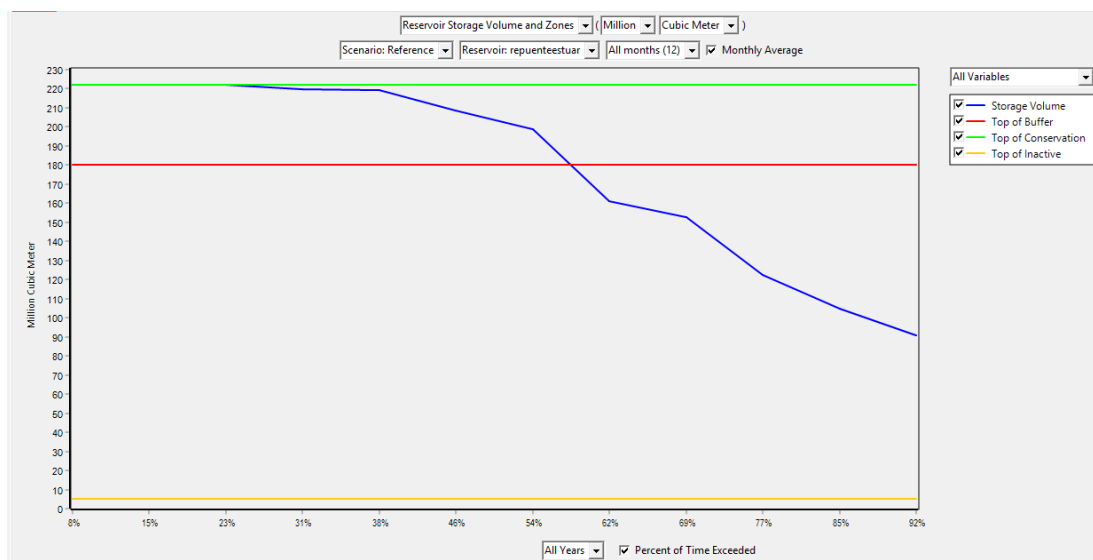


Figura 184. Curva de persistencia Volúmenes medios mensuales en 20 años almacenados en la represa de Puente Stuart en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamiento de puente Stuart 200MM3.

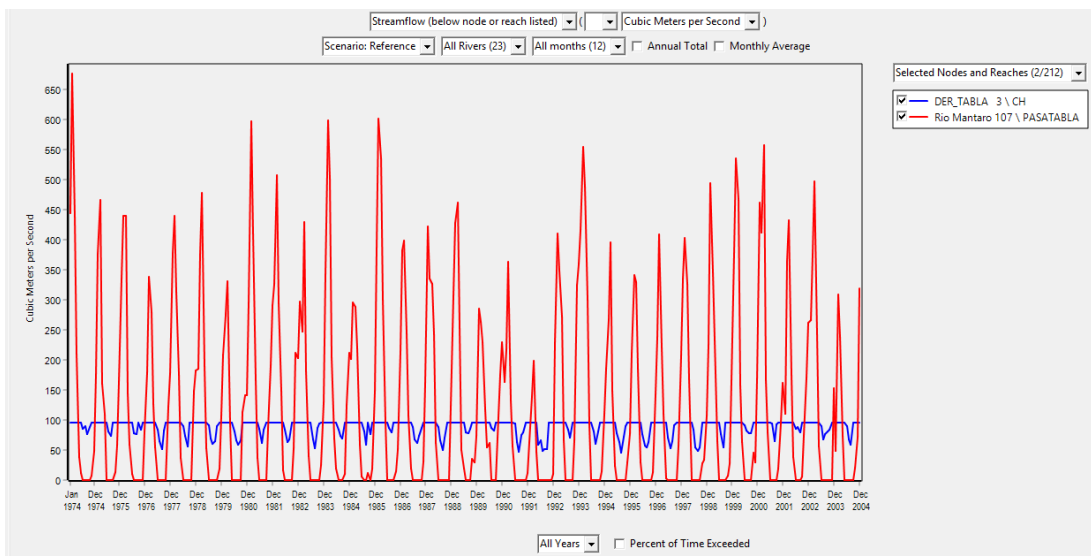
Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5.5. Variantes del almacenamiento Puente Stuart

Utilizando el modelo de gestión desarrollada con el sistema informático WEAP Para la cuenca del río mantaro en la cual han sido consideradas los represamientos de Upamayo, Malpaso, Pomacocha, Sistema Pachacayo, Sistema Vilca, Sistema Quillon y la Propuesta del represamiento

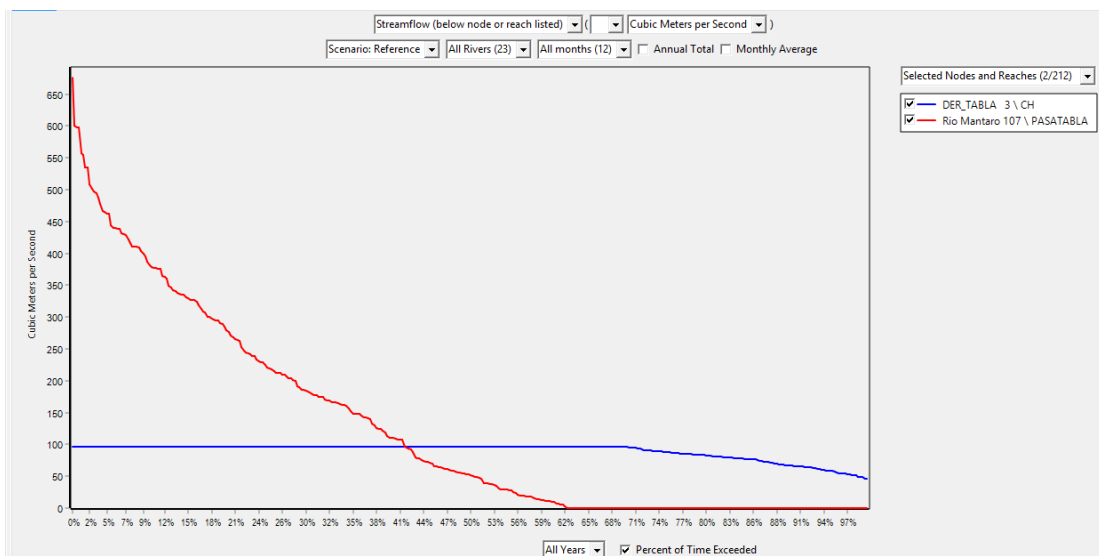
Puente Stuart en la cual se ha considerado escenarios sin, 50MM3, 100MM3, 150MM3 y 200MM3.

En la figuras N° 4.96 y 4.97 y cuadro xx



*Figura 185.* Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 186.* Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

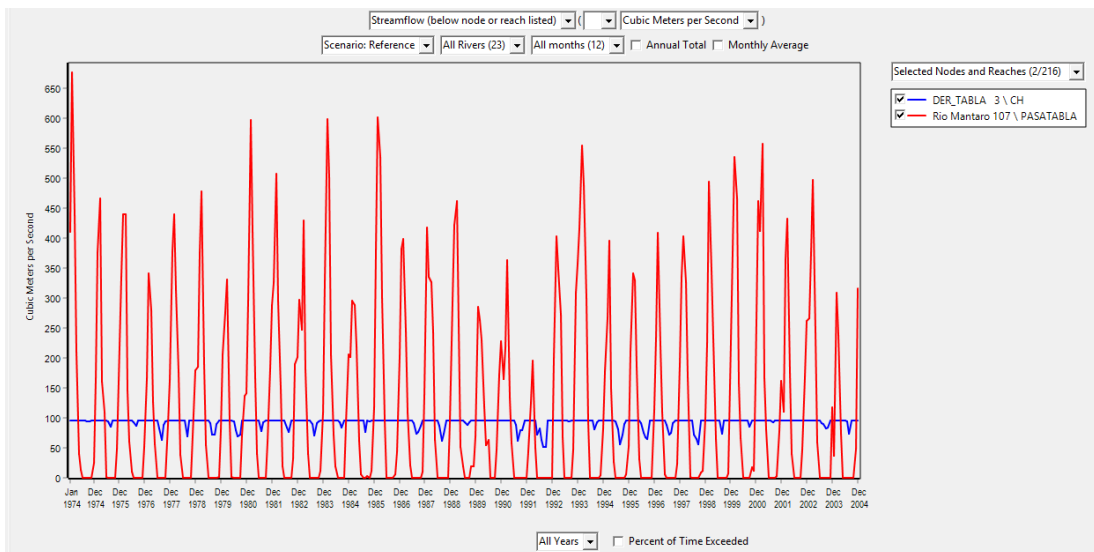


Figura 187. Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

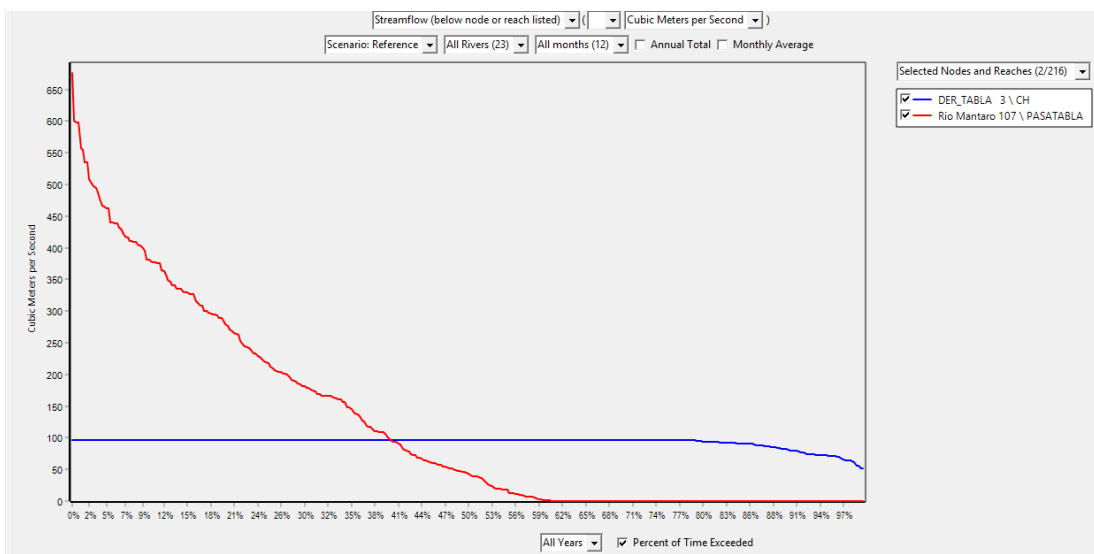


Figura 188. Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

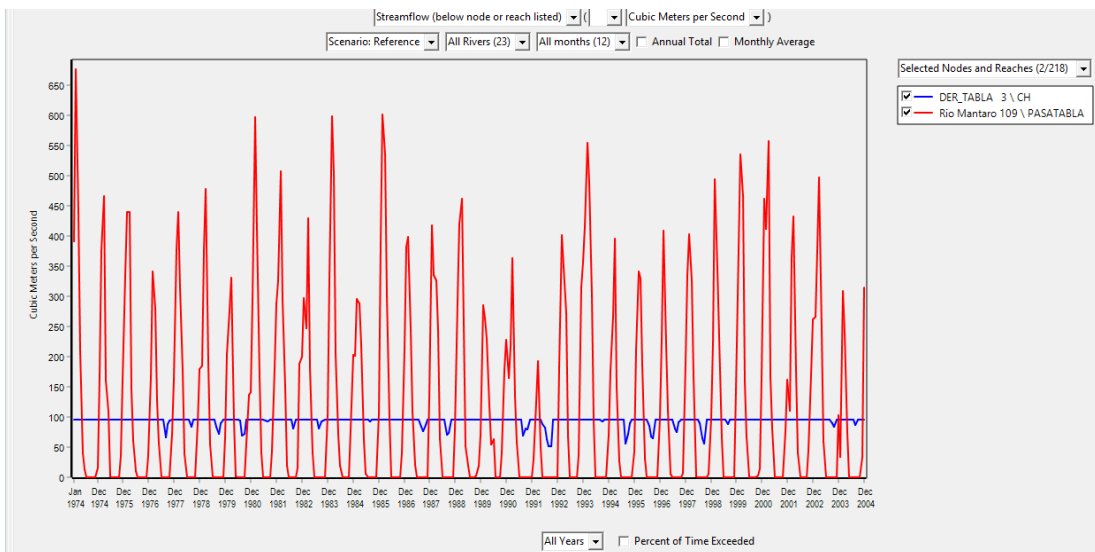


Figura 189. Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

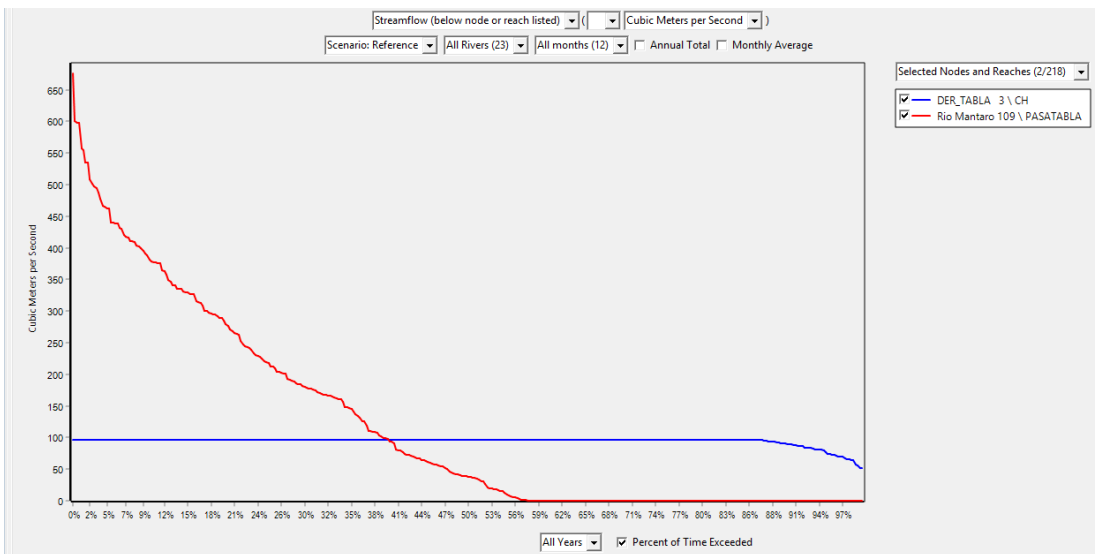
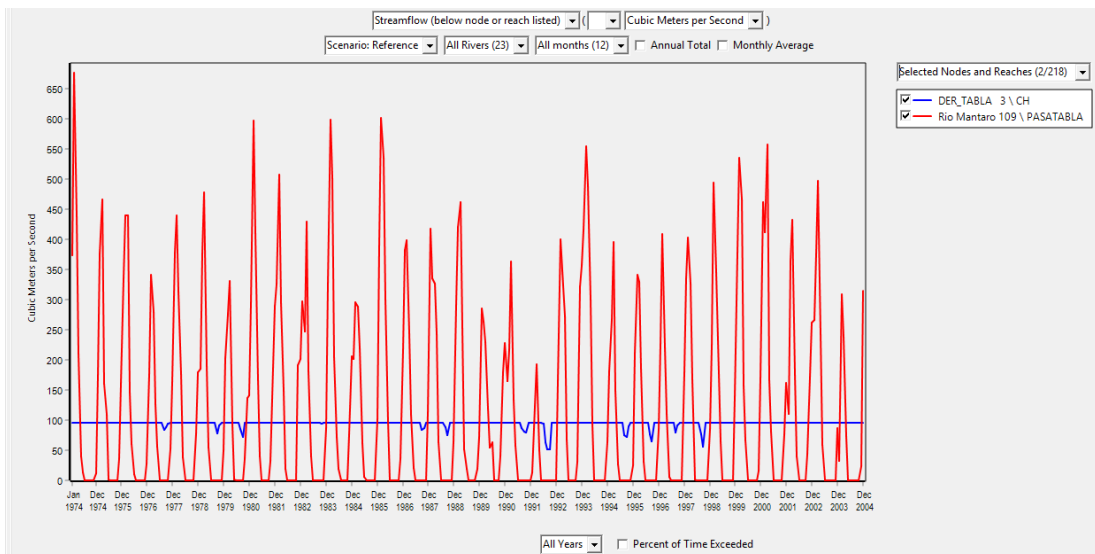


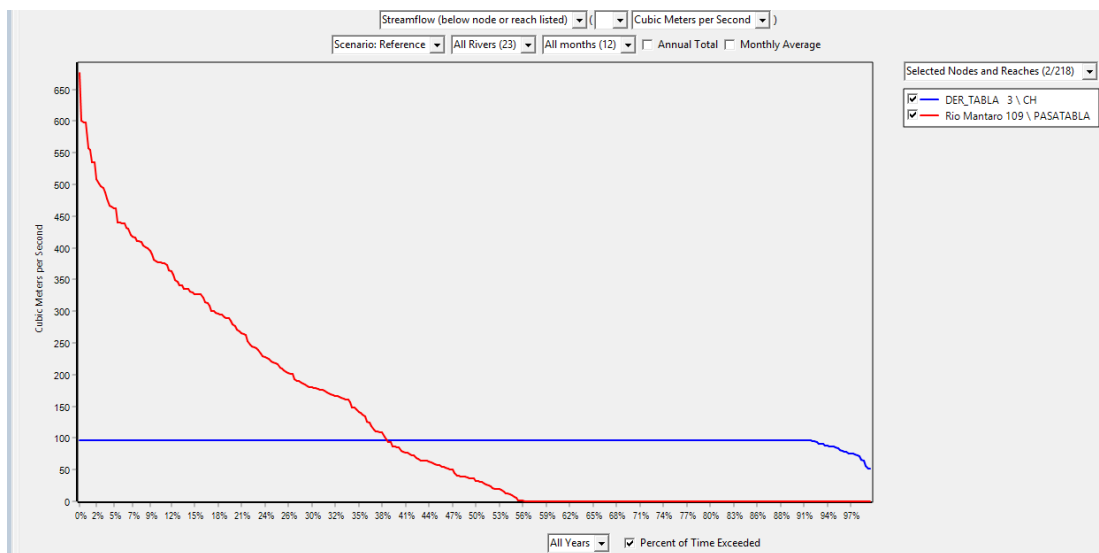
Figura 190. Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



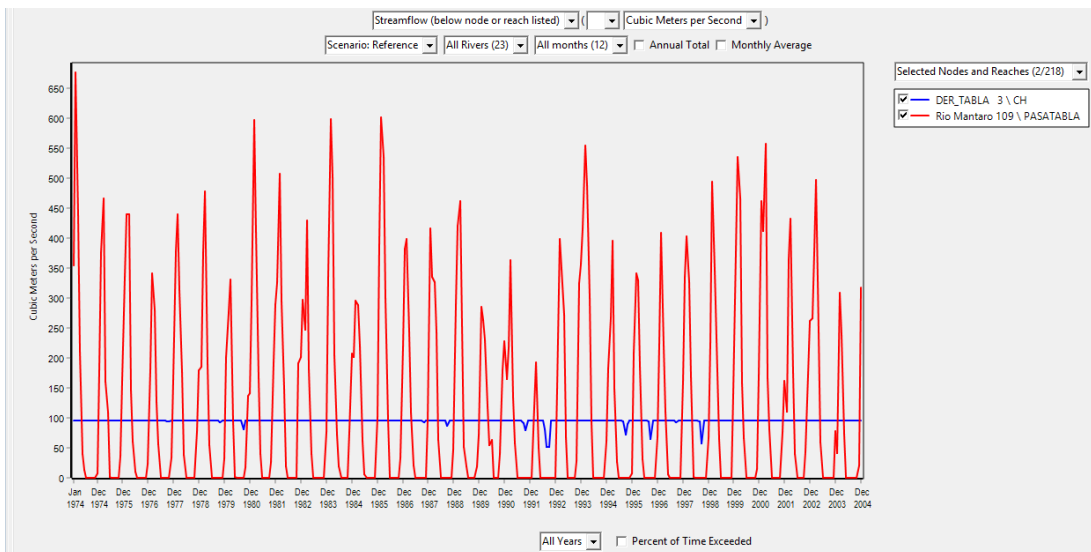
*Figura 191.* Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



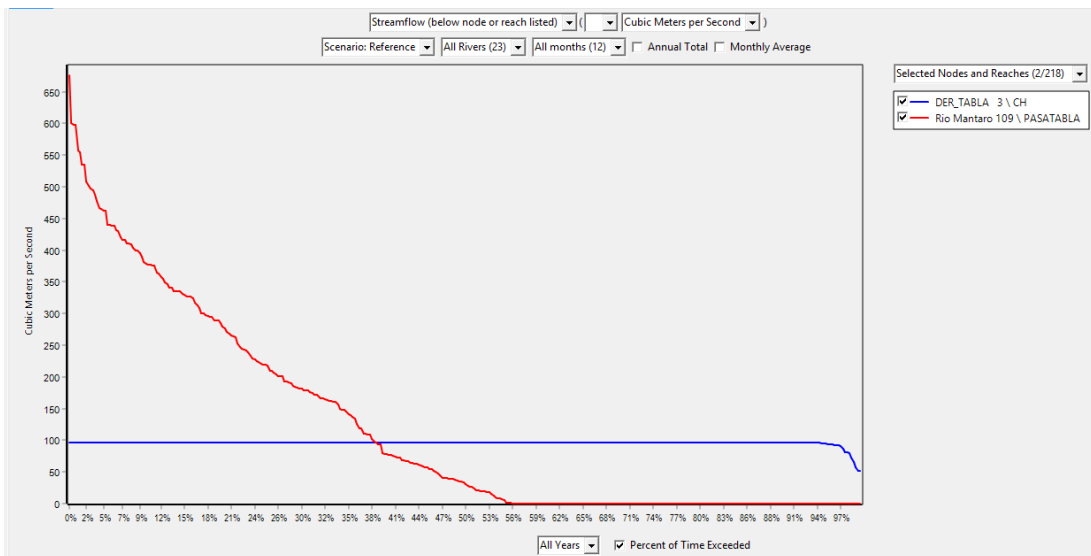
*Figura 192.* Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



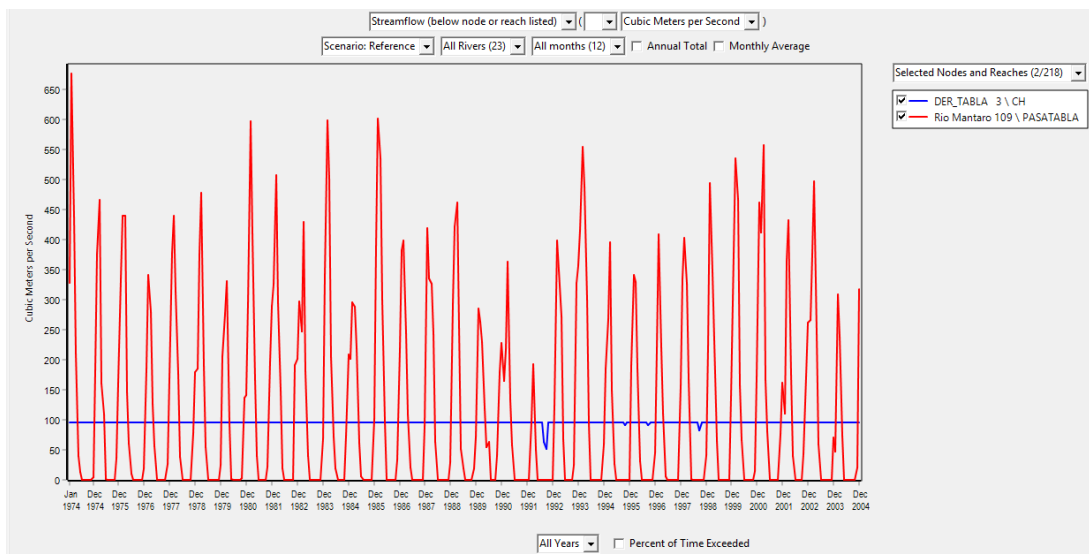
**Figura 193.** Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



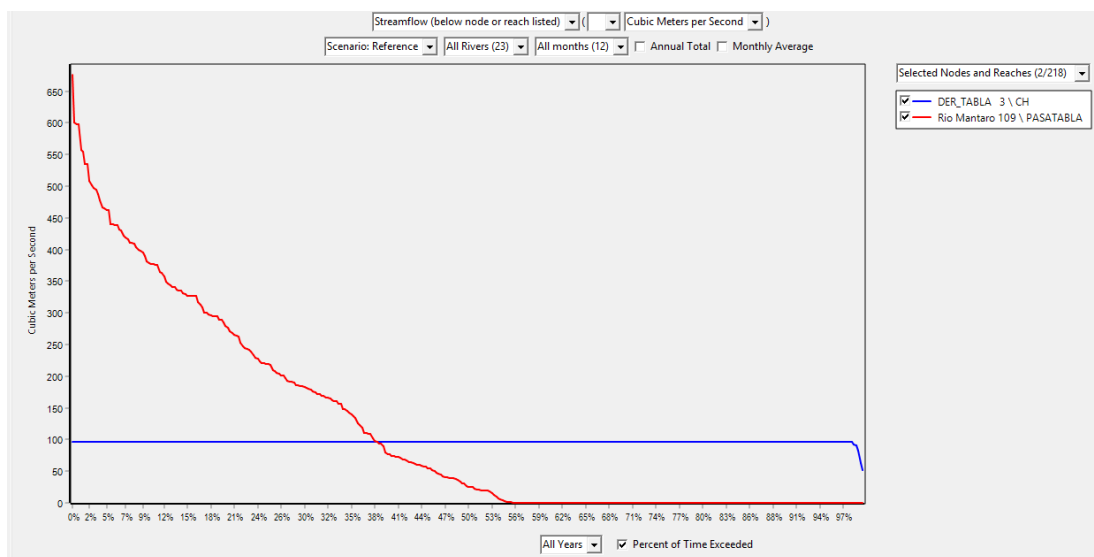
**Figura 194.** Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 195.* Relación de los caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.



*Figura 196.* Curva de persistencia de la Relación de los Caudales efluentes de Tablachaca y los Caudales derivados a la central hidroeléctrica del Mantaro en el modelo de gestión de la cuenca del Mantaro considerando represamientos de afluentes.

Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.5.6. Operación de la represa de puente stuar propuesto

Sin sistema Vilca

Tabla 14. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	85.14	89.93	77.15	87.62	95.98	95.98
1975	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	81.15	74.17	95.98	95.98	95.98	95.98
1976	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	78.54	76.68	95.98	83.60	95.26	95.98
1977	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.44	65.18	51.46	82.96	95.98	95.98	95.98
1978	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	89.41	73.56	55.32	95.98	95.98	95.98	95.98
1979	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	90.89	68.81	60.01	64.58	90.00	95.98	95.98
1980	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	80.18	65.58	58.58	66.39	95.98	95.98	95.98
1981	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.59	61.43	84.29	95.35	95.98	95.98	95.98
1982	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	83.63	63.83	67.25	95.57	95.98	95.98	95.98
1983	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	67.05	52.44	86.30	94.16	95.98	95.98
1984	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.56	73.29	69.81	95.98	95.98	95.98
1985	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	81.31	58.98	95.98	76.64	95.98	95.98
1986	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	86.55	79.40	95.98	95.98	95.98	95.98
1987	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	88.32	67.71	61.69	73.17	86.15	95.98	95.98
1988	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	88.10	66.14	49.32	69.93	95.98	95.98	95.98
1989	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	79.51	78.05	84.95	95.98	95.98	95.98
1990	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	87.06	81.91	95.98	95.98	95.98	95.98
1991	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.69	63.68	46.43	75.32	80.07	95.98	95.98
1992	95.98	95.98	95.98	95.98	58.22	66.04	48.31	51.54	51.91	95.98	95.98	95.98
1993	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	83.63	70.91	95.98	95.98	95.98	95.98
1994	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	81.62	60.32	80.73	95.98	95.98	95.98
1995	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	77.72	62.58	46.04	72.01	90.32	95.98	95.98
1996	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	76.17	57.00	54.20	63.48	95.98	95.98	95.98
1997	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	71.12	53.12	65.43	90.51	95.98	95.98	95.98
1998	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.57	54.28	48.61	55.06	95.98	95.98	95.98
1999	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	76.89	53.93	95.98	95.98	95.98	95.98
2000	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	90.59	82.09	78.31	77.62	95.98	95.98	95.98
2001	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.98	64.88	92.79	95.98	95.98	95.98
2002	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.68	88.33	80.04	95.98	95.98	95.98	95.98
2003	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	89.70	67.96	76.64	80.61	83.77	95.98	95.98
2004	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	89.56	67.97	58.73	95.91	95.98	95.98	95.98
PROMEDIO	95.98	95.98	95.98	95.98	94.76	89.10	72.40	64.80	82.77	93.03	95.96	95.98
MAXIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.98	89.93	95.98	95.98	95.98	95.98
MINIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	58.22	66.04	48.31	46.04	51.91	76.64	95.26	95.98

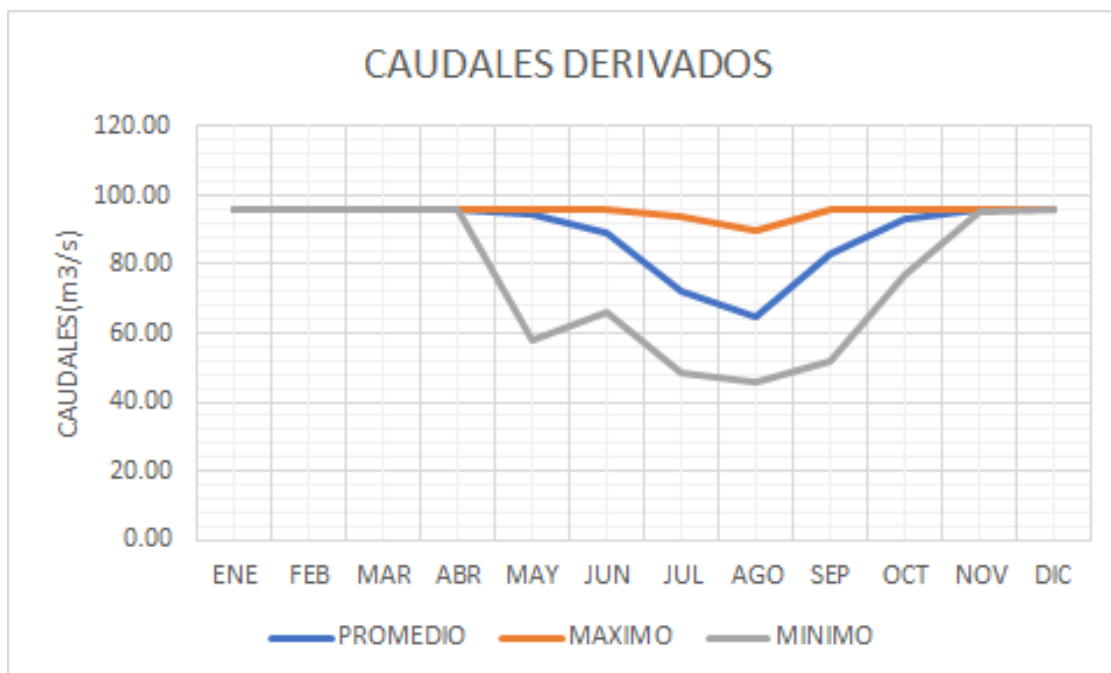


Figura 197. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro sin vilca y OMM3 represamiento puente Stuar

Tabla 15. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	443.51	675.94	438.24	209.84	38.86	11.56	0.00	0.00	0.00	0.00	7.08	48.43
1975	176.92	376.30	465.72	160.76	108.73	0.00	0.00	0.00	0.00	12.68	59.44	164.13
1976	335.58	439.59	439.90	144.59	58.26	9.98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.30
1977	178.84	338.72	279.07	126.11	53.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	122.06	177.48
1978	378.19	439.19	313.24	174.40	37.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	148.65	182.74
1979	185.61	377.03	478.23	189.59	53.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.56	107.46
1980	209.20	277.03	331.44	93.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	112.73	140.66	141.89
1981	295.11	597.62	410.75	166.79	37.48	0.00	0.00	0.00	0.00	87.42	190.90	291.23
1982	327.27	508.09	294.65	147.90	16.40	0.00	0.00	0.00	0.00	52.51	212.13	203.63
1983	297.26	247.79	429.54	181.60	39.44	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.25	129.91
1984	342.05	598.15	500.92	203.79	69.86	19.84	0.00	0.00	0.00	9.79	124.62	211.96
1985	201.35	295.49	288.53	218.94	59.12	6.24	0.00	0.00	12.23	0.00	18.70	148.23
1986	387.55	601.13	534.79	299.80	97.05	0.00	0.00	0.00	0.00	14.53	51.28	215.15
1987	382.01	399.15	244.68	107.85	18.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.88	161.52
1988	422.21	334.71	326.47	241.99	61.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	123.85
1989	306.73	428.19	461.82	253.38	50.46	18.83	0.00	0.00	0.00	35.75	28.93	73.45
1990	284.89	263.33	229.17	118.40	54.21	61.78	0.00	0.00	0.00	70.55	174.59	228.76
1991	163.27	217.33	363.20	132.66	55.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.48
1992	63.30	140.23	199.24	47.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.80
1993	230.01	410.33	348.68	271.47	65.49	0.00	0.00	0.00	0.00	65.63	324.67	359.70
1994	416.14	554.08	487.99	300.07	92.85	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.94	110.29
1995	185.93	268.10	395.64	148.32	23.46	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.26	78.69
1996	212.12	341.49	328.98	184.97	29.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	13.97	142.18
1997	238.34	409.27	220.26	109.90	2.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	57.21	206.84
1998	336.04	403.58	326.28	168.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.52	34.31	107.85
1999	225.37	494.79	346.19	232.94	64.88	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	27.98	166.72
2000	377.81	535.25	467.03	156.86	63.86	0.00	0.00	0.00	0.00	46.14	28.69	169.04
2001	462.12	411.21	557.62	165.91	78.92	0.00	0.00	0.00	0.00	19.76	94.89	161.57
2002	109.88	364.75	432.04	174.51	38.80	0.00	0.00	0.00	5.52	75.07	170.67	262.54
2003	265.86	376.01	497.36	243.07	56.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.61
2004	49.22	308.63	238.88	73.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.13	72.43	318.70
PROMEDIO	273.86	401.05	376.66	175.77	46.04	4.14	0.00	0.00	0.57	21.25	71.73	159.65
MAXIMO	462.12	675.94	557.62	300.07	108.73	61.78	0.00	0.00	12.23	112.73	324.67	359.70
MINIMO	49.22	140.23	199.24	47.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.80

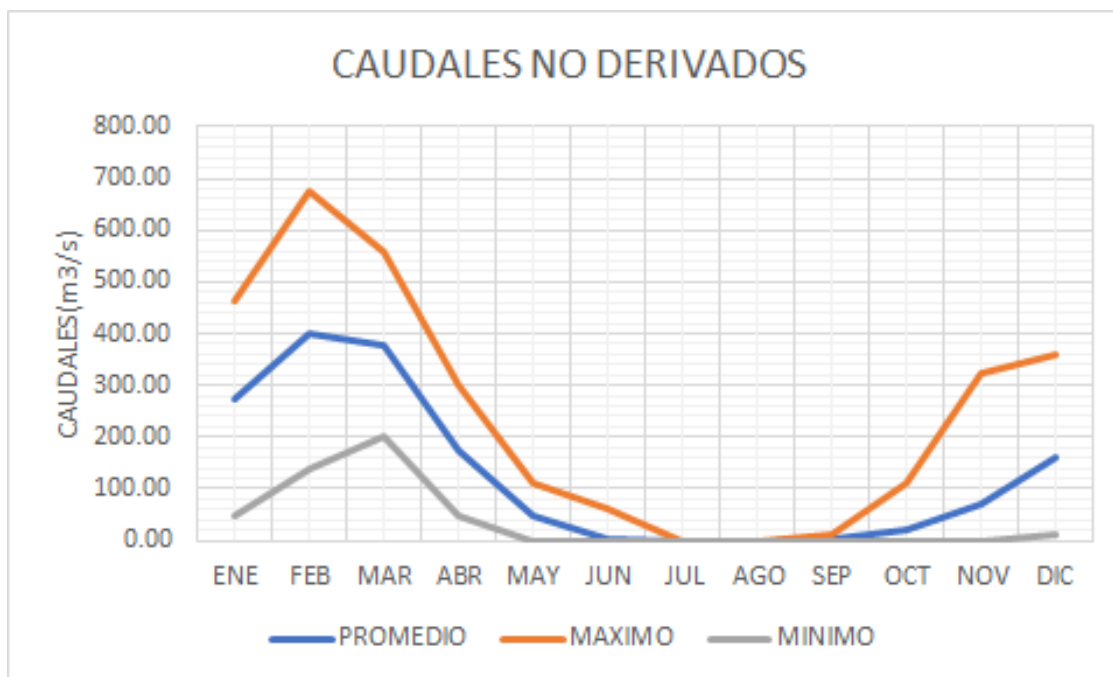


Figura 198. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro sin vilca y OMM3 represamiento puente stuar

Tabla 16. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.75	93.48	95.98	95.98
1975	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.06	85.53	95.98	95.98	95.98	95.98
1976	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.26	86.92	95.98	95.98	95.98	95.98
1977	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	81.85	63.62	87.92	94.49	95.98	95.98
1978	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.41	69.81	95.98	95.98	95.98	95.98
1979	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	91.36	71.53	72.07	90.41	95.98	95.98
1980	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.49	79.48	69.48	71.39	95.98	95.98	95.98
1981	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	77.75	92.87	95.98	95.98	95.98	95.98
1982	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.56	76.22	95.98	95.98	95.98	95.98
1983	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	89.68	71.27	91.69	94.14	95.98	95.98
1984	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.71	84.20	95.98	95.98	95.98
1985	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	76.79	95.98	94.65	95.98	95.98
1986	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1987	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	90.69	73.57	75.78	86.15	95.98	95.98
1988	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	87.12	62.29	74.10	95.98	95.98	95.98
1989	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.67	88.58	91.97	95.98	95.98	95.98
1990	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1991	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	88.46	61.40	79.26	80.06	95.98	95.98
1992	95.98	95.98	95.98	95.98	71.93	82.24	63.73	51.54	51.90	95.98	95.98	95.98
1993	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.46	95.98	95.98	95.98	95.98
1994	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	80.30	91.99	95.98	95.98	95.98
1995	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.08	81.19	56.40	72.01	90.31	95.98	95.98
1996	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	90.63	74.32	67.20	65.11	95.98	95.98	95.98
1997	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	88.09	72.28	74.66	90.51	95.98	95.98	95.98
1998	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	72.49	64.29	55.56	95.98	95.98	95.98
1999	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	72.84	95.98	95.98	95.98	95.98
2000	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	85.90	95.98	95.98	95.98
2001	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.89	95.98	95.98	95.98	95.98
2002	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2003	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	90.74	90.37	82.88	83.80	95.98	95.98
2004	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.99	73.13	95.96	95.98	95.98	95.98
PROMEDIO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.21	94.97	88.71	78.70	85.99	94.16	95.98	95.98
MAXIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
MINIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	71.93	82.24	63.73	51.54	51.90	80.06	95.98	95.98

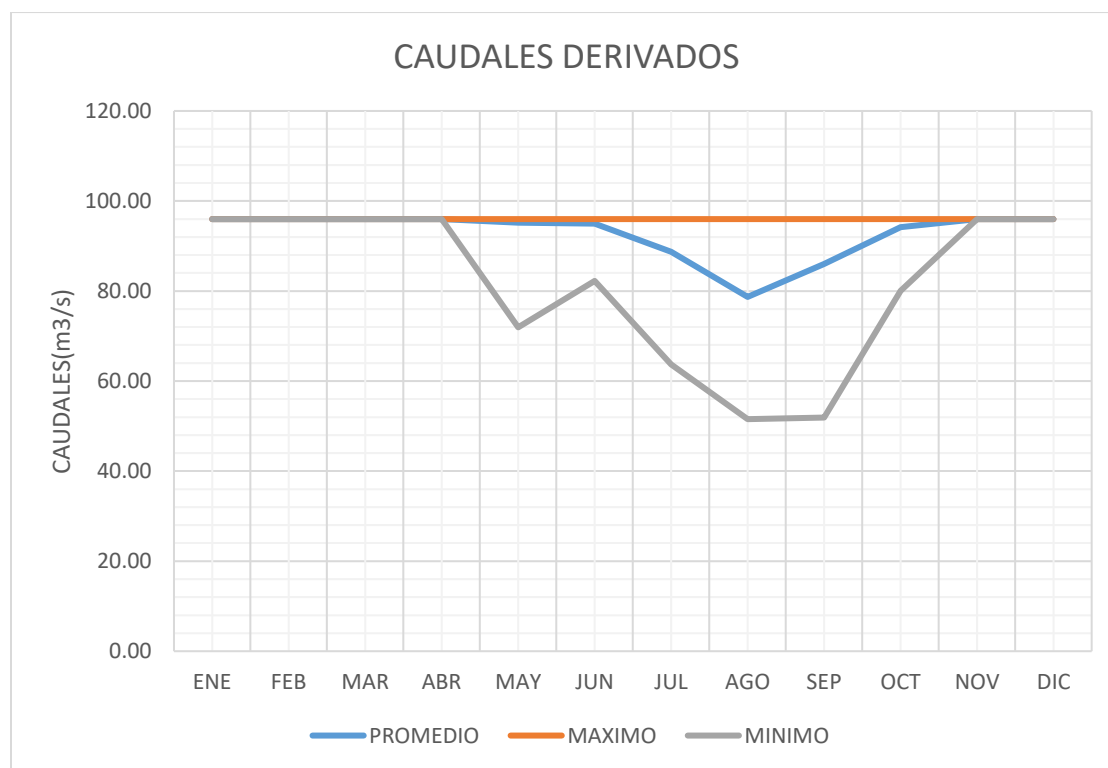


Figura 199. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro OMM3 represamiento puente stuar

Tabla 17. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	409.91	675.94	438.24	209.84	39.61	12.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.03
1975	166.46	376.30	465.72	160.76	108.73	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	49.14	161.67
1976	335.58	439.59	439.90	145.31	59.91	10.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	51.63
1977	165.88	340.90	279.07	126.11	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.36	163.32
1978	378.08	439.19	313.24	176.35	38.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	105.66	179.49
1979	185.61	377.03	478.23	189.59	53.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	81.05
1980	205.67	277.03	331.44	94.25	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	72.47	136.64	141.33
1981	295.11	597.62	410.75	166.79	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	59.72	182.07	289.00
1982	327.27	508.09	294.65	147.90	19.02	0.00	0.00	0.00	0.00	32.90	189.16	200.80
1983	297.26	247.79	429.54	181.60	40.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.38	108.39
1984	329.58	598.15	500.92	203.79	72.48	19.84	0.00	0.00	0.00	0.00	91.34	206.59
1985	201.35	295.49	288.53	218.94	61.44	6.55	0.00	0.00	2.21	0.00	12.11	117.56
1986	381.19	601.13	534.79	299.80	97.80	0.00	0.00	0.00	0.00	6.35	43.47	204.12
1987	382.01	399.15	244.68	108.62	20.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.98	138.43
1988	418.11	334.71	326.47	241.99	63.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	95.00
1989	293.90	421.84	461.82	253.38	51.21	18.83	0.00	0.00	0.00	19.54	18.58	68.45
1990	284.89	263.33	229.17	119.17	54.21	63.71	0.00	0.00	0.00	46.49	172.61	228.18
1991	164.22	217.33	363.20	133.43	57.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	44.38	126.55	195.03	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	199.75	403.30	348.68	271.47	68.11	0.00	0.00	0.00	0.00	46.61	308.26	357.09
1994	416.14	554.08	487.99	300.07	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.83	82.64
1995	178.34	268.10	395.64	148.32	26.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.60	53.21
1996	212.13	341.49	328.98	184.97	31.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	112.70
1997	233.93	409.27	220.26	109.90	5.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.19	191.77
1998	335.65	403.58	326.28	168.38	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	8.99	12.21	100.33
1999	225.37	494.79	346.19	232.94	64.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.71	156.30
2000	377.81	535.25	467.03	156.86	66.47	0.00	0.00	0.00	0.00	18.31	11.17	166.41
2001	462.12	411.21	557.62	165.91	80.20	0.00	0.00	0.00	0.00	2.61	77.56	161.11
2002	109.88	364.75	432.04	174.51	39.55	0.00	0.00	0.00	0.00	47.45	168.59	262.23
2003	265.86	376.01	497.36	243.07	59.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	118.00
2004	36.41	308.63	238.88	74.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.99	316.06
PROMEDIO	268.38	400.25	376.53	176.07	47.48	4.28	0.00	0.00	0.07	11.66	57.42	146.38
MAXIMO	462.12	675.94	557.62	300.07	108.73	63.71	0.00	0.00	2.21	72.47	308.26	357.09
MINIMO	36.41	126.55	195.03	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

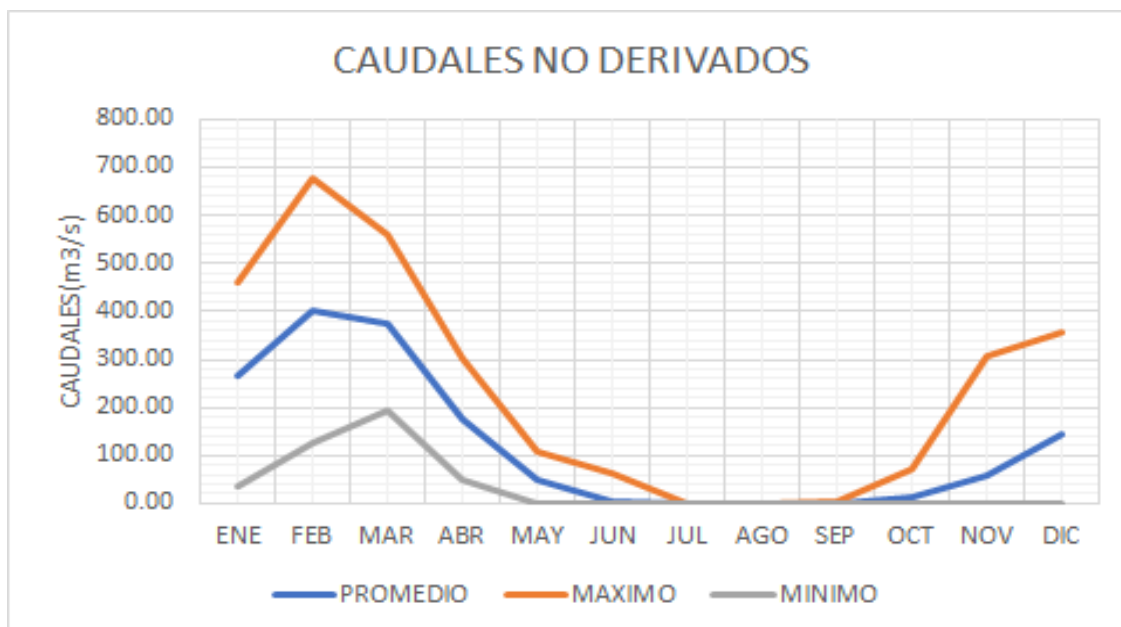


Figura 200. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro OMM3 represamiento puente stuar

Tabla 18. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1975	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1976	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1977	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	66.28	87.93	94.49	95.98	95.98
1978	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.39	95.98	95.98	95.98	95.98
1979	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	83.71	72.05	90.42	95.98	95.98
1980	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.87	69.50	71.38	95.98	95.98	95.98
1981	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.56	92.87	95.98	95.98	95.98	95.98
1982	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	81.60	95.98	95.98	95.98	95.98
1983	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	81.09	92.38	94.16	95.98	95.98
1984	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1985	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.95	95.98	95.98	95.98	95.98
1986	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1987	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	83.91	76.98	86.15	95.98	95.98
1988	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	70.25	74.09	95.98	95.98	95.98
1989	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1990	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1991	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	69.45	80.53	80.06	95.98	95.98
1992	95.98	95.98	95.98	95.98	88.73	82.24	63.73	51.54	51.90	95.98	95.98	95.98
1993	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1994	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.97	95.98	95.98	95.98
1995	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	56.57	72.01	90.31	95.98	95.98
1996	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	85.91	67.21	65.13	95.98	95.98	95.98
1997	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	81.45	74.65	90.51	95.98	95.98	95.98
1998	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	89.30	64.29	55.55	95.98	95.98	95.98
1999	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	88.62	95.98	95.98	95.98	95.98
2000	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2001	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2002	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2003	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	89.03	83.78	95.98	95.98
2004	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	86.49	95.98	95.98	95.98	95.98
PROMEDIO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.75	95.54	93.82	84.29	87.23	94.29	95.98	95.98
MAXIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
MINIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	88.73	82.24	63.73	51.54	51.90	80.06	95.98	95.98

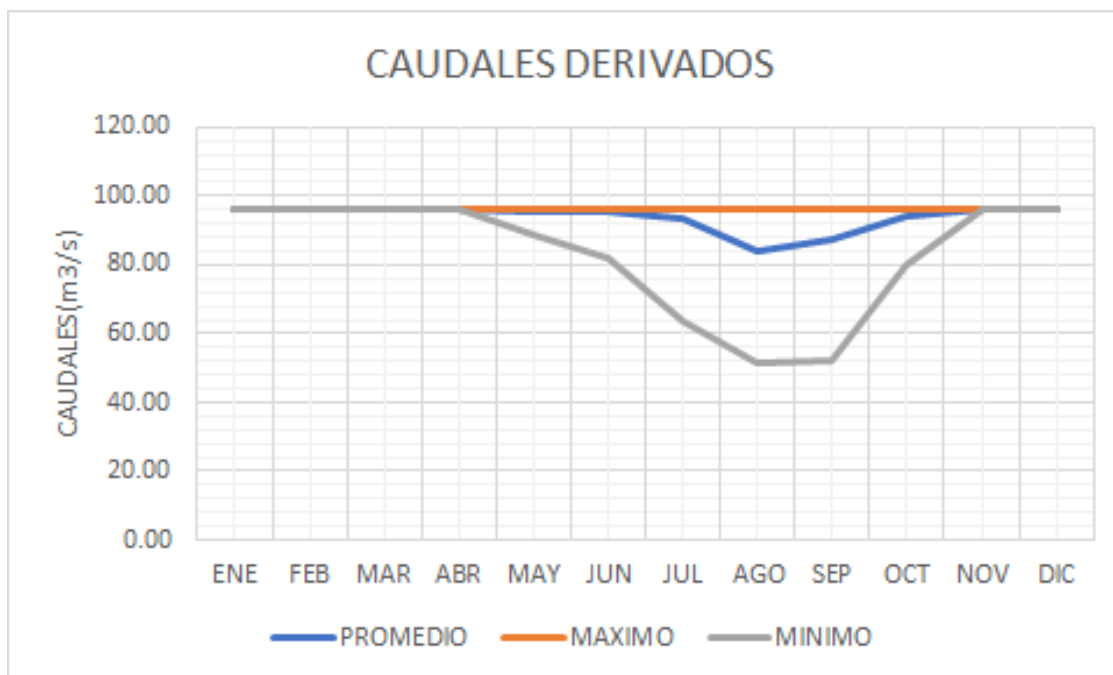


Figura 201. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 50MM3 represamiento puente stuar

Tabla 19. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	391.61	675.94	438.24	209.84	39.61	12.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.68
1975	171.15	376.30	465.72	160.76	108.73	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	36.51	161.52
1976	335.58	439.59	439.90	145.31	59.91	10.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	37.40
1977	167.29	340.94	279.07	126.11	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	72.00	163.32
1978	378.07	439.19	313.24	176.35	38.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.19	179.32
1979	185.61	377.03	478.23	189.59	53.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	66.89
1980	204.49	277.03	331.44	94.25	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	55.67	136.64	141.33
1981	295.11	597.62	410.75	166.79	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	44.54	180.79	288.62
1982	327.27	508.09	294.65	147.90	19.02	0.00	0.00	0.00	0.00	16.70	188.72	200.63
1983	297.26	247.79	429.54	181.60	40.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	102.61
1984	329.57	598.15	500.92	203.79	72.48	19.84	0.00	0.00	0.00	0.00	79.66	203.21
1985	201.35	295.49	288.53	218.94	61.44	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	107.09
1986	388.03	601.13	534.79	299.80	97.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.29	212.58
1987	382.01	399.15	244.68	108.62	20.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	131.30
1988	418.11	334.71	326.47	241.99	63.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	80.82
1989	292.11	420.92	461.82	253.38	51.21	18.83	0.00	0.00	0.00	3.49	18.59	69.90
1990	284.89	263.33	229.17	119.17	54.21	63.71	0.00	0.00	0.00	41.79	177.47	228.18
1991	164.22	217.33	363.20	133.43	57.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	30.59	125.28	193.21	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	184.35	401.75	348.68	271.47	68.11	0.00	0.00	0.00	0.00	36.88	315.71	357.09
1994	416.14	554.08	487.99	300.07	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.26
1995	176.81	268.10	395.64	148.32	26.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	42.80
1996	212.12	341.49	328.98	184.97	31.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.83
1997	229.99	409.27	220.26	109.90	5.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.77	191.09
1998	335.42	403.58	326.28	168.38	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.47	99.06
1999	225.37	494.79	346.19	232.94	64.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	147.02
2000	377.81	535.25	467.03	156.86	66.47	0.00	0.00	0.00	0.00	3.05	15.42	167.81
2001	462.12	411.21	557.62	165.91	80.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.06	161.11
2002	109.88	364.75	432.04	174.51	39.55	0.00	0.00	0.00	0.00	45.70	170.09	262.54
2003	265.86	376.01	497.36	243.07	59.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.37
2004	34.23	308.63	238.88	74.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.05	314.17
PROMEDIO	266.92	400.13	376.47	176.07	47.48	4.28	0.00	0.00	0.00	7.99	53.14	142.18
MAXIMO	462.12	675.94	557.62	300.07	108.73	63.71	0.00	0.00	0.00	55.67	315.71	357.09
MINIMO	30.59	125.28	193.21	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

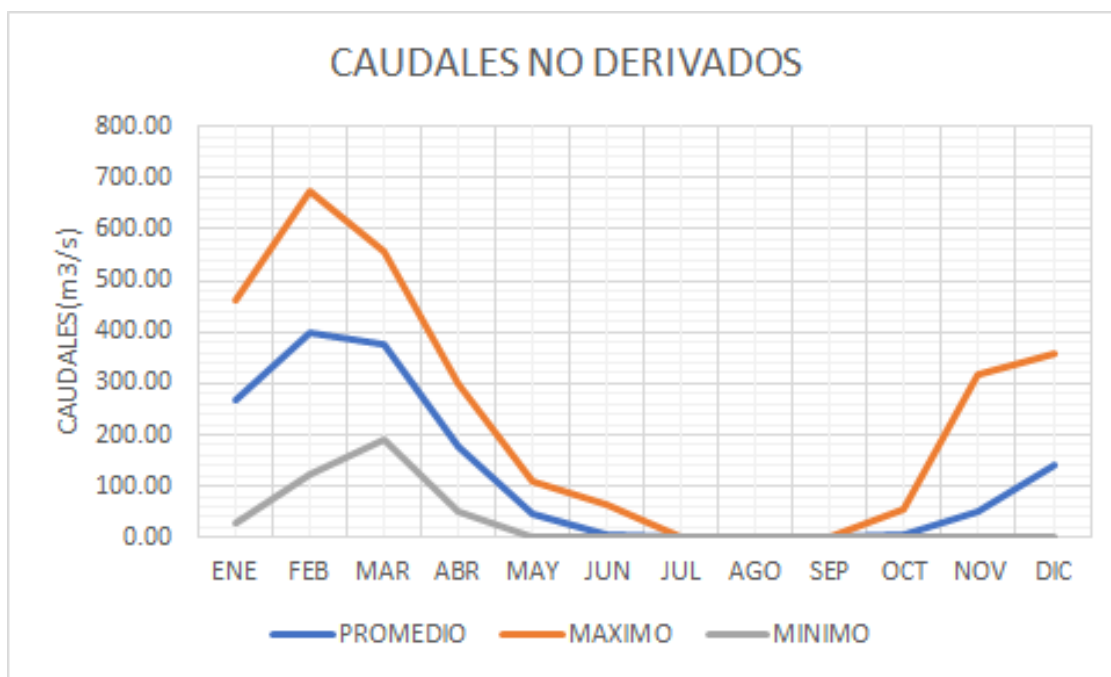


Figura 202. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 50MM3 represamiento puente stuar

Tabla 20. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1975	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1976	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1977	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	84.53	88.34	94.51	95.98	95.98
1978	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1979	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	78.59	90.51	95.98	95.98
1980	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	86.05	71.38	95.98	95.98	95.98
1981	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1982	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1983	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.43	95.98	95.98
1984	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1985	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1986	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1987	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	83.78	86.15	95.98	95.98
1988	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	88.54	74.48	95.98	95.98	95.98
1989	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1990	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1991	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	87.21	81.48	80.06	95.98	95.98
1992	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.02	63.73	51.54	51.90	95.98	95.98	95.98
1993	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1994	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1995	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	75.21	72.01	90.31	95.98	95.98
1996	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	75.79	65.16	95.98	95.98	95.98
1997	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	78.78	90.51	95.98	95.98	95.98
1998	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	75.92	55.92	95.98	95.98	95.98
1999	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2000	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2001	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2002	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2003	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.69	95.98	95.98
2004	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
PROMEDIO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.92	94.94	90.81	88.17	94.68	95.98	95.98
MAXIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
MINIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.02	63.73	51.54	51.90	80.06	95.98	95.98

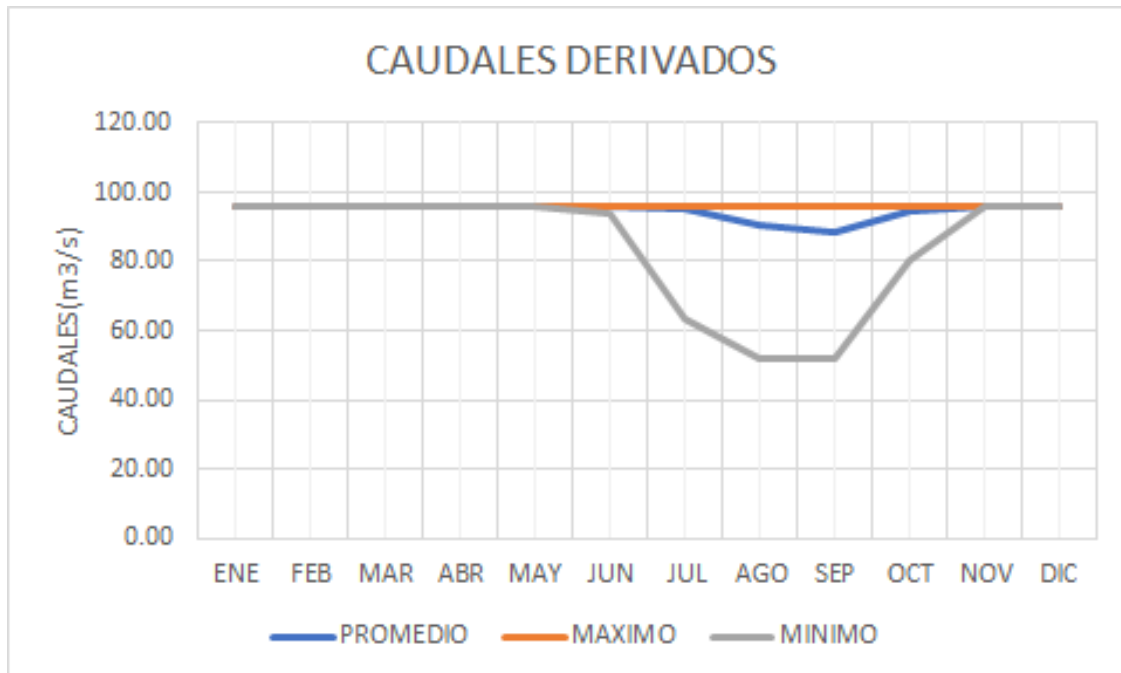


Figura 203. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 100MM3 represamiento puente stuar

Tabla 21. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	372.94	675.94	438.24	209.84	39.61	12.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.14
1975	175.69	376.30	465.72	160.76	108.73	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	36.51	161.52
1976	335.58	439.59	439.90	145.31	59.91	10.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	27.46
1977	177.23	340.94	279.07	126.11	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	52.70	163.31
1978	378.09	439.19	313.24	176.35	38.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.29	179.24
1979	185.61	377.03	478.23	189.59	53.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.17
1980	202.53	277.03	331.44	94.25	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	37.01	136.64	141.33
1981	295.11	597.62	410.75	166.79	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	32.83	187.44	289.36
1982	327.27	508.09	294.65	147.90	19.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	190.66	201.02
1983	297.26	247.79	429.54	181.60	40.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.06
1984	327.48	598.15	500.92	203.79	72.48	19.84	0.00	0.00	0.00	0.00	76.17	206.58
1985	201.35	295.49	288.53	218.94	61.44	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.78
1986	390.30	601.13	534.79	299.80	97.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.69	217.03
1987	382.01	399.15	244.68	108.62	20.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113.60
1988	417.14	334.71	326.47	241.99	63.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.22
1989	290.71	420.20	461.82	253.38	51.21	18.83	0.00	0.00	0.00	0.00	19.26	72.73
1990	284.89	263.33	229.17	119.17	54.21	63.71	0.00	0.00	0.00	40.50	178.81	228.18
1991	164.22	217.33	363.20	133.43	57.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	13.24	124.15	192.94	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	166.94	400.36	348.68	271.47	68.11	0.00	0.00	0.00	0.00	31.26	321.51	357.09
1994	416.14	554.08	487.99	300.07	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	64.92
1995	180.23	268.10	395.64	148.32	26.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.91
1996	211.37	341.49	328.98	184.97	31.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	84.66
1997	226.48	409.27	220.26	109.90	5.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	180.09
1998	335.27	403.58	326.28	168.38	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	85.67
1999	225.37	494.79	346.19	232.94	64.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	139.65
2000	377.81	535.25	467.03	156.86	66.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.76	170.52
2001	462.12	411.21	557.62	165.91	80.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.06	161.10
2002	109.88	364.75	432.04	174.51	39.55	0.00	0.00	0.00	0.00	44.19	171.65	262.54
2003	265.86	376.01	497.36	243.07	59.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	86.23
2004	32.74	308.63	238.88	74.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.63	314.77
PROMEDIO	265.45	400.02	376.46	176.07	47.48	4.28	0.00	0.00	0.00	5.99	51.70	137.00
MAXIMO	462.12	675.94	557.62	300.07	108.73	63.71	0.00	0.00	0.00	44.19	321.51	357.09
MINIMO	13.24	124.15	192.94	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

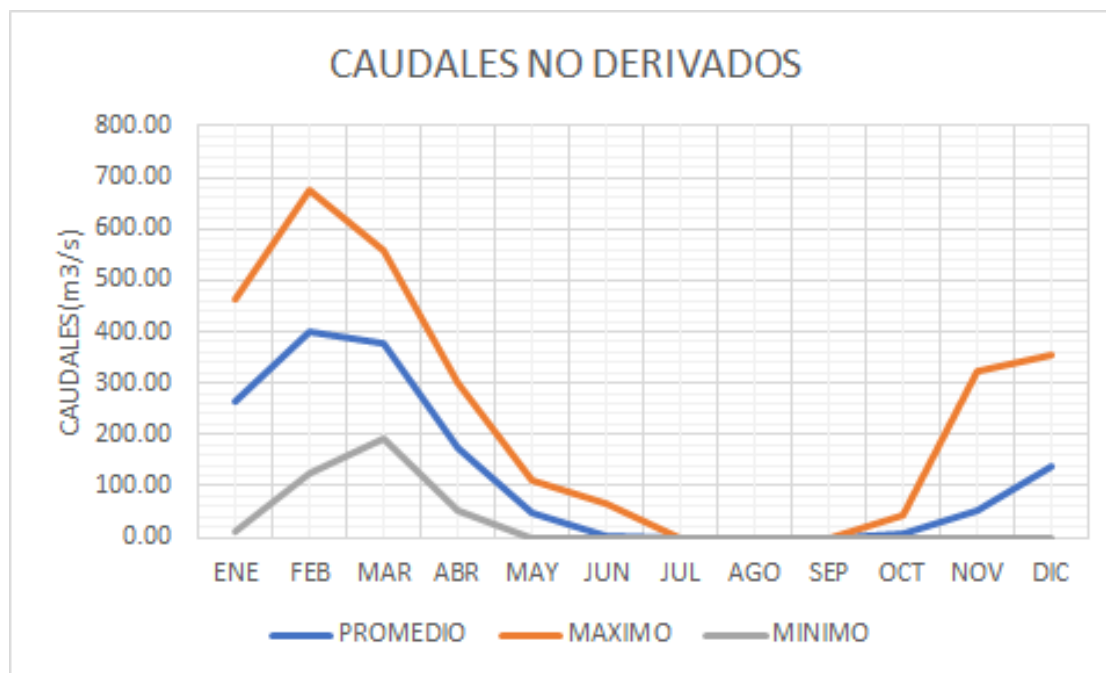


Figura 204. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 100MM3 represamiento puente stuar

Tabla 22. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1975	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1976	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1977	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.70	94.51	95.98	95.98
1978	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1979	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.33	95.98	95.98
1980	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	80.36	95.98	95.98	95.98
1981	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1982	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1983	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1984	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1985	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1986	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1987	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.04	95.98	95.98
1988	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	86.08	95.98	95.98	95.98
1989	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1990	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1991	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	91.70	80.06	95.98	95.98
1992	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	80.51	51.54	51.90	95.98	95.98	95.98
1993	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1994	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1995	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.90	72.01	90.32	95.98	95.98
1996	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.45	65.17	95.98	95.98	95.98
1997	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	92.02	95.98	95.98	95.98
1998	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	93.49	57.03	95.98	95.98	95.98
1999	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2000	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2001	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2002	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2003	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2004	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
PROMEDIO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.48	94.35	90.41	95.03	95.98	95.98
MAXIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
MINIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	80.51	51.54	51.90	80.06	95.98	95.98

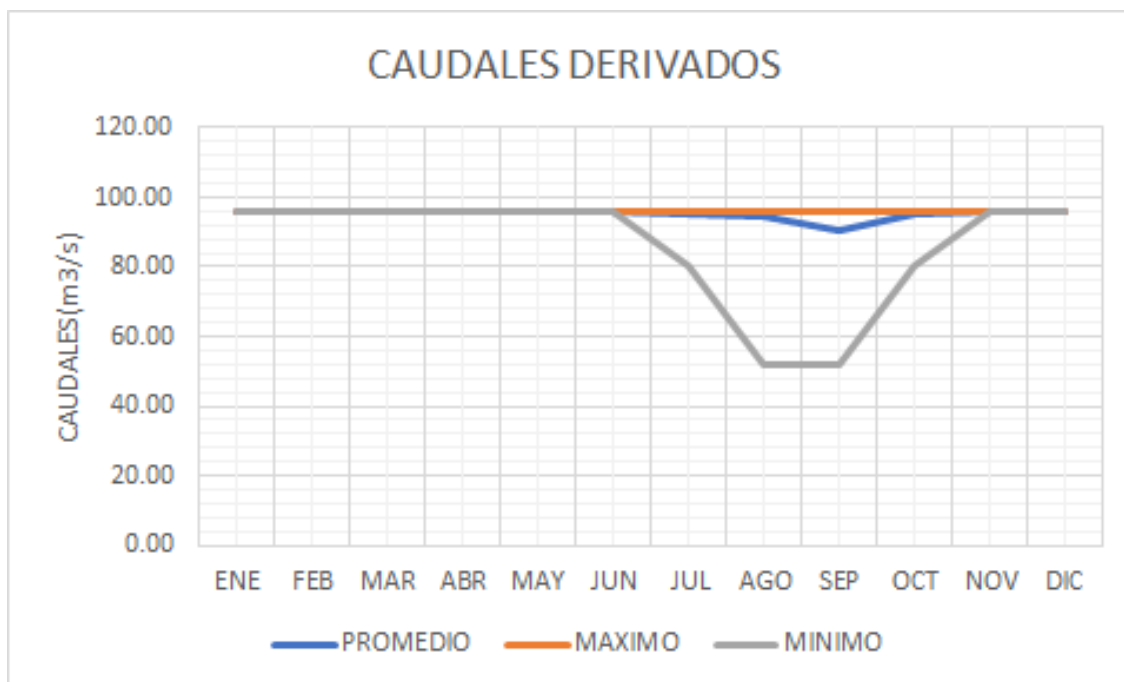


Figura 205. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 150MM3 represamiento puente stuar

Tabla 23. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	354.28	675.94	438.24	209.84	39.61	12.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.89
1975	178.94	376.30	465.72	160.76	108.73	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	36.51	161.52
1976	335.58	439.59	439.90	145.31	59.91	10.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.67
1977	181.02	340.94	279.07	126.11	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.53	163.31
1978	378.08	439.19	313.24	176.35	38.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	78.03	179.49
1979	185.61	377.03	478.23	189.59	53.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.94
1980	201.11	277.03	331.44	94.25	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	18.38	136.64	141.33
1981	295.11	597.62	410.75	166.79	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	27.10	193.35	289.36
1982	327.27	508.09	294.65	147.90	19.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.71	201.02
1983	297.26	247.79	429.54	181.60	40.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	76.49
1984	335.49	598.15	500.92	203.79	72.48	19.84	0.00	0.00	0.00	0.00	75.86	206.88
1985	201.35	295.49	288.53	218.94	61.44	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.78
1986	390.30	601.13	534.79	299.80	97.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.47	219.19
1987	382.01	399.15	244.68	108.62	20.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	96.43
1988	415.63	334.71	326.47	241.99	63.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.93
1989	289.50	420.00	461.82	253.38	51.21	18.83	0.00	0.00	0.00	0.00	19.27	72.73
1990	284.89	263.33	229.17	119.17	54.21	63.71	0.00	0.00	0.00	40.50	178.81	228.18
1991	164.22	217.33	363.20	133.43	57.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	118.34	192.95	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	149.30	399.21	348.68	271.47	68.11	0.00	0.00	0.00	0.00	28.21	324.66	357.09
1994	416.14	554.08	487.99	300.07	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	62.42
1995	182.73	268.10	395.64	148.32	26.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.03
1996	209.54	341.49	328.98	184.97	31.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.02
1997	223.45	409.27	220.26	109.90	5.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	161.55
1998	335.15	403.58	326.28	168.38	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.05
1999	225.34	494.79	346.19	232.94	64.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	139.65
2000	377.81	535.25	467.03	156.86	66.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.82	171.43
2001	462.12	411.21	557.62	165.91	80.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.06	161.10
2002	109.88	364.75	432.04	174.51	39.55	0.00	0.00	0.00	0.00	44.19	171.65	262.54
2003	265.86	376.01	497.36	243.07	59.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.58
2004	41.10	308.63	238.88	74.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	21.12	317.20
PROMEDIO	264.39	399.79	376.46	176.07	47.48	4.28	0.00	0.00	0.00	5.11	51.21	132.38
MAXIMO	462.12	675.94	557.62	300.07	108.73	63.71	0.00	0.00	0.00	44.19	324.66	357.09
MINIMO	0.00	118.34	192.95	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

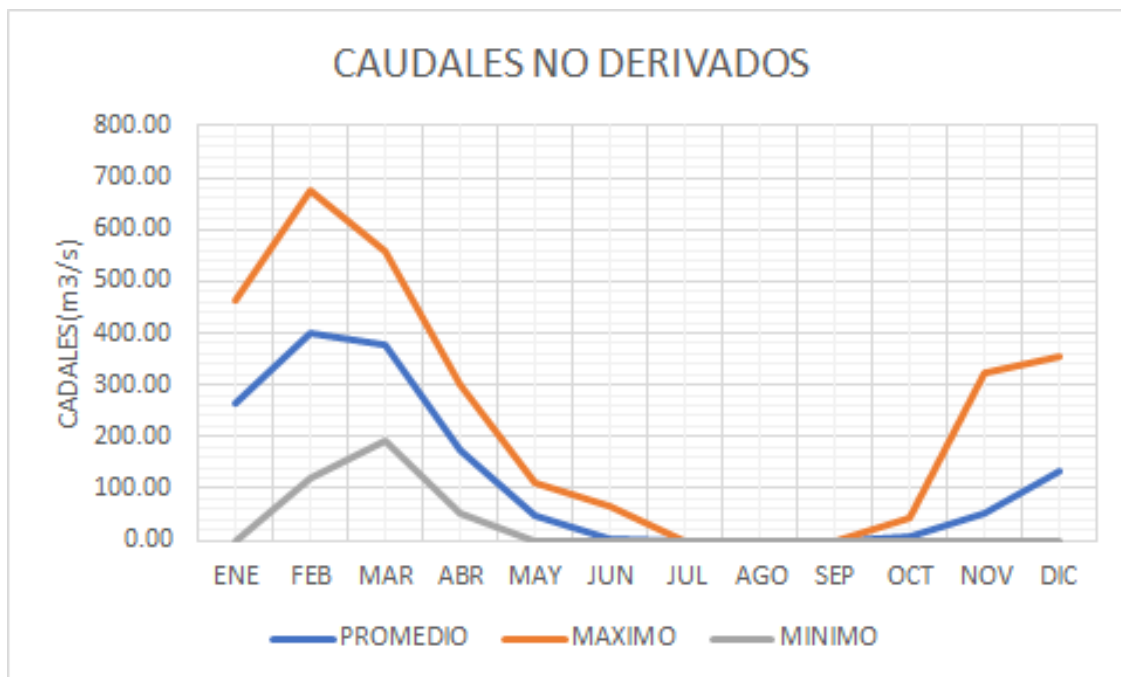


Figura 206. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 1500MM3 represamiento puente stuar

Tabla 24. Caudales medios mensuales aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1975	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1976	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1977	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1978	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1979	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1980	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1981	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1982	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1983	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1984	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1985	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1986	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1987	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1988	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1989	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1990	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1991	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1992	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	62.96	51.90	95.98	95.98	95.98
1993	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1994	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1995	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	91.93	95.98	95.98
1996	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	91.35	95.98	95.98	95.98
1997	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
1998	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	82.24	95.98	95.98	95.98
1999	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2000	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2001	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2002	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2003	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
2004	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
PROMEDIO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	94.92	93.97	95.85	95.98	95.98
MAXIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98
MINIMO	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	95.98	62.96	51.90	91.93	95.98	95.98

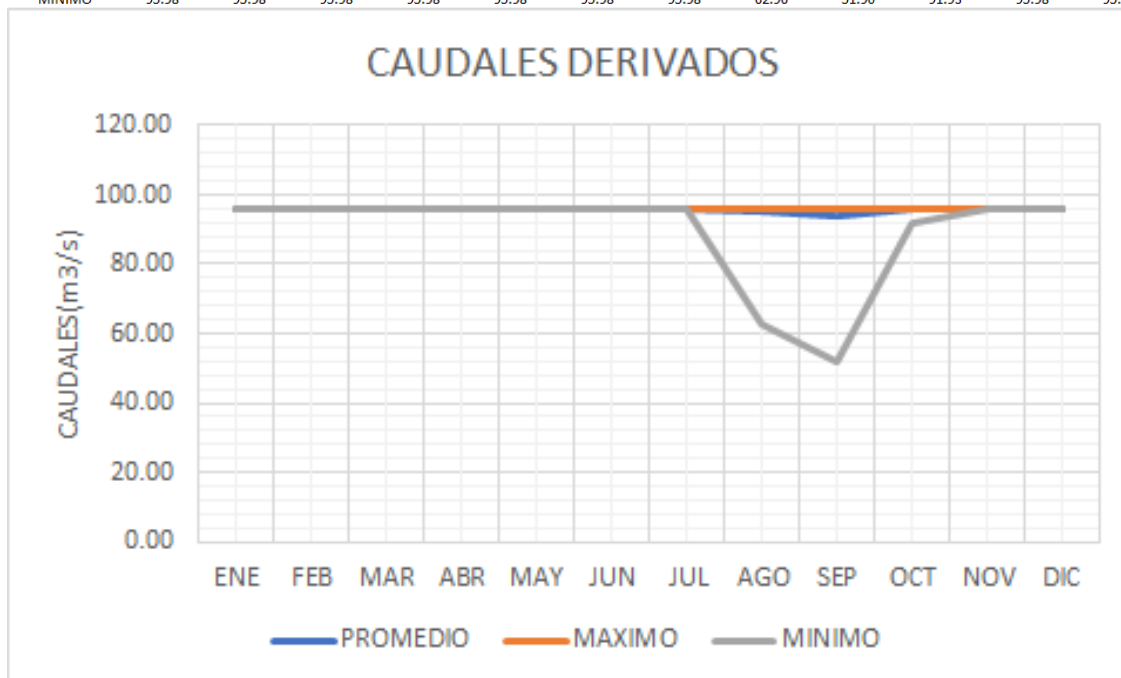


Figura 207. Caudales Aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 200MM3 represamiento puente stuar

Tabla 25. Caudales medios mensuales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1974	327.40	675.94	438.24	209.84	39.61	12.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.26
1975	182.57	376.30	465.72	160.76	108.73	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	36.51	161.52
1976	335.58	439.59	439.90	145.31	59.91	10.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.65
1977	185.04	340.94	279.07	126.11	56.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.75	169.09
1978	378.08	439.19	313.24	176.35	38.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.38	180.12
1979	185.61	377.03	478.23	189.59	53.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.50
1980	205.89	277.03	331.44	94.25	1.44	0.00	0.00	0.00	0.00	2.85	136.50	141.89
1981	295.11	597.62	410.75	166.79	39.42	0.00	0.00	0.00	0.00	22.73	197.51	289.72
1982	327.27	508.09	294.65	147.90	19.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	190.71	201.02
1983	297.26	247.79	429.54	181.60	40.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	68.58
1984	343.40	598.15	500.92	203.79	72.48	19.84	0.00	0.00	0.00	0.00	73.88	208.80
1985	201.35	295.49	288.53	218.94	61.44	6.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	101.78
1986	390.30	601.13	534.79	299.80	97.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.13	219.52
1987	382.01	399.15	244.68	108.62	20.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	90.06
1988	419.06	334.71	326.47	241.99	63.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	30.08
1989	294.71	422.27	461.82	253.38	51.21	18.83	0.00	0.00	0.00	0.00	19.26	72.73
1990	284.89	263.33	229.17	119.17	54.21	63.71	0.00	0.00	0.00	40.50	178.81	228.18
1991	164.22	217.33	363.20	133.43	57.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1992	0.00	96.90	192.95	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1993	123.55	397.96	348.68	271.47	68.11	0.00	0.00	0.00	0.00	25.47	327.50	357.09
1994	416.14	554.08	487.99	300.07	93.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	59.86
1995	185.29	268.10	395.64	148.32	26.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1996	190.69	341.49	328.98	184.97	31.34	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.46
1997	220.15	409.27	220.26	109.90	5.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	156.82
1998	336.04	403.58	326.28	168.38	2.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.52
1999	224.00	494.79	346.19	232.94	64.88	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	139.65
2000	377.81	535.25	467.03	156.86	66.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.82	171.43
2001	462.12	411.21	557.62	165.91	80.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.06	161.10
2002	109.88	364.75	432.04	174.51	39.55	0.00	0.00	0.00	0.00	44.19	171.65	262.54
2003	265.86	376.01	497.36	243.07	59.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.13
2004	47.55	308.63	238.88	74.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.64	317.66
PROMEDIO	263.19	399.13	376.46	176.07	47.48	4.28	0.00	0.00	0.00	4.38	51.04	128.90
MAXIMO	462.12	675.94	557.62	300.07	108.73	63.71	0.00	0.00	0.00	44.19	327.50	357.09
MINIMO	0.00	96.90	192.95	50.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

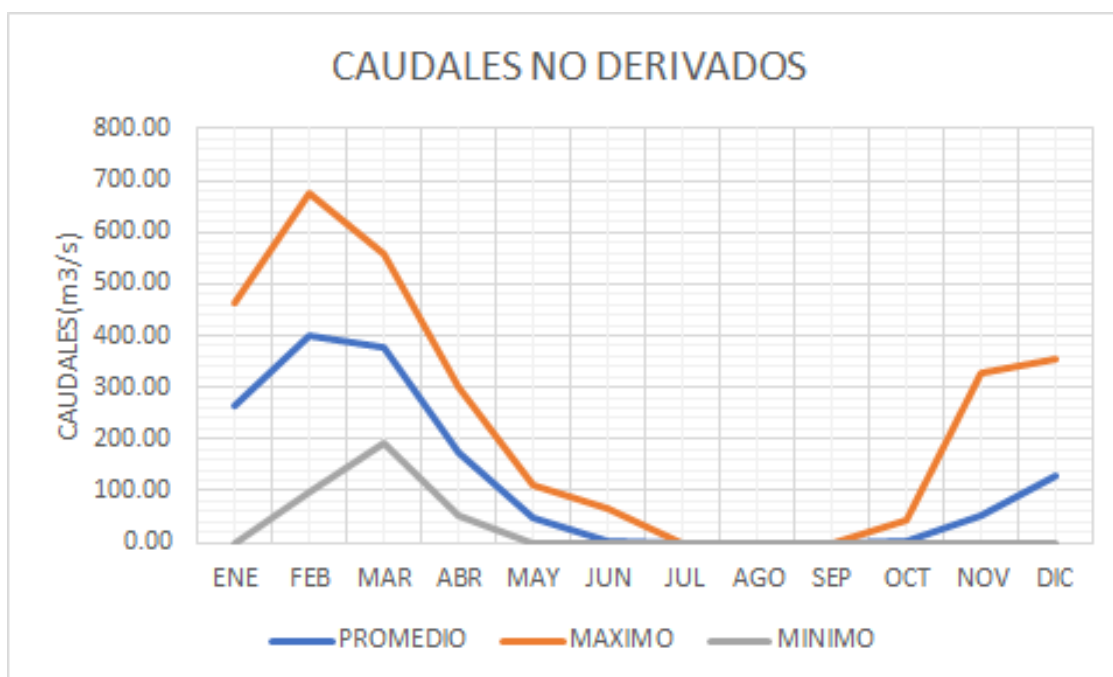


Figura 208. Caudales no aprovechados por la central hidroeléctrica Mantaro 200MM3 represamiento puente stuar

## V.-DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Con la ayuda del sistema ArcGIS se obtuvo la delimitación de las subcuencas del sistema Mantaro, así mismo se obtuvo los parámetros áreas, perímetros, coeficiente de compacidad, longitud de ríos, curva hipsométrica y los mapas de subcuencas y ríos del sistema Mantaro

A partir del mapa de subcuencas y ríos, utilizando el sistema informático WEAP se formuló y desarrollo el modelo hidrológico y modelo de gestión del agua tomando en cuenta los represamientos en Upamayo, Malpaso, Pomacocha, Pachacayo, Vilca, Quillón y finalmente Puente Stuar.

El modelo hidrológico formulado se alimentó la base de datos de cada subcuenca con datos de Áreas, coeficientes tomando en cuenta el modelo de Esgurrimiento de Lluvia (método de la humedad del suelo), Precipitaciones, Temperaturas, Humedad relativa, Velocidad de viento, y los parámetros de suelo y con ello se pudo obtener los hidrogramas de caudales para subcuenca. A partir de estos hidrogramas se ha calculado los volúmenes hidrológicos para cada punto de control estos se muestran en la Tabla N° 8.

Ubicando los represamientos en el modelo de gestión se ha establecido los escenarios de almacenamientos Upamayo, Malpaso, Pomacocha, Pachacayo, Vilca, Quillón y finalmente Puente Stuar se ha encontrado los resultados en el mejoramiento del caudal disponible para la derivación hacia las centrales hidroeléctricas haciendo funcionar en el modelo de gestión cada uno de los represamientos se encontró los valores de persistencia mayor.

Finalmente se ha hecho funcionar los escenarios diferentes de Puente Stuar 0MM3, 50MM3, 100MM3, 150MM3 y 200MM3. Incrementándose la persistencia de acuerdo a la cantidad de MM3, lográndose con 200MM3 la persistencia más alta.

## VI. CONCLUSIONES

Se desarrolló el modelo hidrológico de la cuenca del Mantaro con el sistema WEAP con la delimitación de subcuencas tales como Upamayo, Malpaso, Pomacocha, Marcapomacocha, Pachacayo, Vilca, Quillón, etc. Y se obtuvo los caudales promedios mensuales de caudales de acuerdo a la ocurrencia de las lluvias que se trabajaron con las y se procesaron mediante los polígonos de Thiessen así mismo se pudo realizar la calibración con la estación limnimétrica de Upamayo.

Para el sistema de gestión se agregó los elementos de represamientos Upamayo, Malpaso, Pomacocha, Marcapomacocha, Pachacayo, Vilca, Quillón, así mismo la de Puente Stuart como propuesta se realizó la evaluación de la influencia de cada uno de los represamientos con su regla de operación cerrado las compuertas en el periodo de lluvias y abierto en el periodo de estiaje de acuerdo a su demanda potencial.

Con los caudales generados por el modelo hidrológico se procedió a calcular la demanda potencial de una de las subcuencas consideradas y a partir de estos datos se desarrolló el método de picos secuenciales y se halló la capacidad hidrológica de cada uno de los represamientos existentes inclusive la del futuro reservorio que estaría ubicado en el puente Stuart y podemos decir de estos resultados que hay agua disponible para almacenar y hacer que el sistema pueda satisfacer todas las demandas incluyendo la de la central del Mantaro que es nuestro objetivo de análisis.

A través del modelo de operación en conjunto se puede probar la influencia de la regulación de las represas en la satisfacción de la demanda de la central hidroeléctrica del Mantaro lo que nos muestra que el sistema WEAP es una herramienta muy importante en este tipo de evaluación.

Con el Modelo de gestión se realizó las corridas de simulación en el sistema de modelación

WEAP para encontrar las mejores reglas de operación con el represamiento Puente Stuart para 0MM3, 50MM3, 100MM3, 150MM3 y 200MM3 donde la de 200MM3 resulto con una persistencia de satisfacción del 98%.

## VII. RECOMENDACIONES

Después de haber realizado esta investigación podemos realizar las siguientes recomendaciones:

Que las instituciones encargadas de la medición de los datos Hidrometeorológicos SENAMHI disponga de los datos de una manera más efectiva en su página WEB

Que se realice la instalación de estaciones automáticas de medición de precipitaciones, temperaturas, humedad relativa y velocidad de viento de una manera planificada que permita la mejor cuantificación de dichas variables meteorológicas.

Que para próximas investigaciones se realice modelos parciales para cada punto de control de una manera más exhaustiva y poder minimizar los errores.

Así mismo se pueda realizar una investigación con datos a tiempo real y pueda operarse el sistema de una manera más optima

Que el sistema WEAP sirva para realizar el análisis de cuencas similares a través de todo el territorio peruano dado que posee una base de datos de ingreso de datos, así como la base de datos de reportes bastante eficiente porque los tiene en tablas y figuras, Sistema de Información Gerencial.

## VIII.-BIBLIOGRAFÍA

- Aquino Meneses, L. G. (2019). *Evaluación del potencial hídrico del río Cajamarca con fines de regulaciones futuras, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca*. Lima.
- Aquino Meneses, L. G. (2019). *Evaluación del potencial hídrico del río Cajamarca con fines de regulaciones futuras, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca*. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima.
- Axel Dourojeanni, A. J. (Agosto de 2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL, Santiago de Chile.
- Cordova Gonzales, J. D. (2016). *Determinación del volumen útil del embalse Purapa en la subcuenca Vichaycocha*. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima.
- De la Orden Gómez, J., Pérez Zabaleta, A., & López, J. (2006). *El análisis económico en la Directiva Marco del Agua: Incidencias e implicaciones para España*. (I. G. España, Ed.) España.
- ELECTROPERU S.A. (2004). *Servicio de medición de la potencia efectiva del complejo hidroeléctrico del Mantaro*. Centro de Conservación de Energía y del Ambiente, Lima. Obtenido de [http://www2.osinerg.gob.pe/procreg/tarifasbarra/ProcNov04-Abril05/pdf/Absoluciones/Anexo%20E\\_1.pdf](http://www2.osinerg.gob.pe/procreg/tarifasbarra/ProcNov04-Abril05/pdf/Absoluciones/Anexo%20E_1.pdf)
- Escalante, Miguel. (2016). *Simulación hidrológica de la laguna Aricota y optimización de la central hidroeléctrica Aricota III*. Lima.
- Escalante Varona, M. M. (2016). *Simulación hidrológica de la laguna Aricota y optimización de la central hidroeléctrica Aricota III*. Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima.
- Escobar, M., Flores López, F., & Clark, V. (2011). *Planificación de Energía, Agua y Clima para el Desarrollo sin Carbono en Latinoamérica y el Caribe*. Stockholm Environment Institute, Somerville, Massachusetts.
- García Olivera, C. V. (2018). *Evaluación de la Incidencia del reservorio Vilcazán para satisfacción de las demandas actuales del sistema de irrigación San Lorenzo*. Tesis de grado, Lima.
- Guevara, A. (2008). *Derechos y conflictos de agua en el Perú*.
- Hacha Chuctaya, E., & Tacusi Calla, C. J. (2015). *Modelación Hidrológica en la subcuenca de Pitumarca con la aplicación del modelo WEAP (Sistema de Evaluación y Planeación de Agua) Canchis-Cusco*. Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco. Obtenido de <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/130>
- Infraestructura peruana. (2014). *Central Hidroeléctrica del Mantaro (Santiago Antúnez de Mayolo)*. Obtenido de <http://infraestructuraperuana.blogspot.pe/2014/03/central-hidroelectrica-del-mantaro.html>
- MINAGRI. (2013). *Sector agrario, recurso agua, uso y manejo de agua*. Obtenido de <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/42-sector-agrario/recurso-agua>
- MINAGRI. (2013). *Sector agrario, recursos naturales, vertientes y disponibilidad de agua*. Obtenido de <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/42-sector-agrario/recurso-agua/324-vertientes-y-disponibilidad-de-agua>
- Molnar, P. (2011). *"Calibration". Watershed Modelling*. ETH Zürich, Institute of Environmental Engineering, Chair of Hydrology and Water Resources Management, Zürich.
- Moriasi, D. (2007). *Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations*. Obtenido de [www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/30980000/graphics/MoriasiModelEval.pdf](http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/30980000/graphics/MoriasiModelEval.pdf)
- National Geographic. (2013). *Medio Ambiente, Calentamiento Global, Energía Hidroeléctrica*. Obtenido de <http://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/calentamiento-global/hydropower-profile>
- Parra Ullauri, M. A. (2016). *Implementar el sistema de modelación WEAP como herramienta que determine*

- el impacto del Cambio Climático sobre la disponibilidad del agua en la cuenca del río Machágara*. Tesis de grado, Cuenca. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25834>
- Pilares Hualpa, I. A. (2018). *Disponibilidades hídricas reguladas del reservorio Lagunillas y río Verde para usos múltiples en la cuenca del río Cabanillas*. Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Roca, J. A. (2015). *Las 10 hidroeléctricas más grandes del mundo*. Obtenido de El periódico de la energía.com: <https://elperiodicodelaenergia.com/las-10-centrales-hidroelectricas-mas-grandes-del-mundo/>
- SEI. (2009). *Guía Metodológica, Modelación Hidrológica y de recursos hídricos con el modelo WEAP*. Obtenido de <http://www.weap21.org>
- Ticona Mamani, A. C. (2016). *Modelación Hidrológica de escenarios futuros de caudales medios con la aplicación del modelo hidrológico WEAP en la cuenca del río Llave - Puno*. Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4617>
- Yates, D. (2005). *WEAP21 - A Demand, Priority and Preference-Driven Water planning model, Part 1, Model Characteristic*. Obtenido de <http://www.weap21.org/downloads/WEAPDSS.pdf>